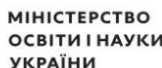


Міністерство освіти і науки України  
 Національний університет «Чернігівська політехніка» (Україна)  
 Асоціація випускників Національного університету «Чернігівська політехніка»  
 Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»  
 Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України (Україна)  
 Херсонський національний технічний університет (Україна)  
 Луцький національний технічний університет (Україна)  
 Донбаська державна машинобудівна академія (Україна)  
 Національний авіаційний університет (Україна)  
 Сумський державний університет (Україна)  
 Oerlikon Barmag GmbH (Німеччина)  
 Інженерна академія України  
 Академія наук вищої освіти України  
 Лодзький технічний університет (Польща)  
 Технічний університет в Кошице (Словаччина)  
 Thyssenkrupp Materials International GmbH (Німеччина)  
 Національний університет «Львівська політехніка» (Україна)  
 Батумський державний університет ім. Шота Руставелі (Грузія)  
 Київський національний університет технологій та дизайну (Україна)  
 Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»  
 Українське товариство механіки ґрунтів, геотехніки і фундаментобудування  
 Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та  
 військової техніки (Україна)



Матеріали XIII міжнародної  
 науково-практичної конференції  
**«КОМПЛЕКСНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
 ЯКОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ  
 ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ»**

Том 1

25 - 26 травня 2023 р.  
 м. Чернігів

УДК 621; 624; 674; 684; 621.22; 621.51-54; 661; 664; 620.268; 621.791; 004  
К63

*Рекомендовано до друку вченою радою Національного університету  
«Чернігівська політехніка» (протокол № 7 від 29.05.2023)*

К63 Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2023) : матеріали тез доповідей XIII Міжнародної науково-практичної конференції (м. Чернігів, 25–26 травня 2023 р.) : у 2 т. / Національний університет «Чернігівська політехніка» [та ін.] ; відп. за вип.: Єрошенко Андрій Михайлович [та ін.]. – Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2023. – Т. 1. – 366 с.

ISBN 978-617-7932-46-7

### **ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ**

канд. техн. наук, доцент Єрошенко Андрій Михайлович, (Секція №1)  
канд. техн. наук, доцент Космач Олександр Павлович, (Секція №2)  
докт. техн. наук, професор Сахно Євгеній Юрійович, (Секція № 3)  
канд. техн. наук, доцент Хребтань Олена Борисівна, (Секція № 4)  
канд. техн. наук, доцент Прибисько Ірина Олександрівна, (Секція №5)  
канд. техн. наук, доцент Корзаченко Микола Миколайович, (Секція №6)  
канд. техн. наук, професор Терещук Олексій Іванович, (Секція № 6)  
канд. техн. наук, доцент Приступа Анатолій Леонідович, (Секція №7)  
канд. екон. наук, доцент Базилевич Володимир Маркович, (Секція № 8)  
канд. пед. наук, доцент Захаріна Тетяна Іванівна (Секція №9)

#### **Відповідальний координатор конференції:**

канд. техн. наук, доцент Сапон Сергій Петрович, тел. (097) 3844197, e-mail:  
[s.sapon@gmail.com](mailto:s.sapon@gmail.com) або [kzyatps@gmail.com](mailto:kzyatps@gmail.com)  
<https://www.facebook.com/kzyatps/>  
[www.conference-chernihiv-polytechnik.com](http://www.conference-chernihiv-polytechnik.com)

\*За зміст матеріалів, викладених в тезах доповідей персональну відповідальність несуть автори



УДК 621; 624; 674; 684; 621.22; 621.51-54; 661; 664; 620.268; 621.791; 004  
ISBN 978-617-7932-46-7

© Національний університет  
«Чернігівська політехніка»

**МІЖНАРОДНИЙ ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ**

доктор Шефер Клаус (Oerlikon Barmag, Німеччина)  
Дітмар Йенке (BBEngineering GmbH, Німеччина)  
Штильгер Мартін (ThyssenKrupp, Німеччина)  
д-р. наук, проф. Бадіда Мирослав, (Технічний університет Кошице, Словаччина)  
д-р. наук, проф. Вархола Міхал, (Президент Академічного співтовариства М. Балудянського, Словаччина)  
д.т.н., проф. Голетіані Кетаван (Батумський навчальний університет навігації, Грузія)  
д.т.н., проф. Ісмаїлов Нізамі (Азербайджанський технічний університет, Азербайджан)  
д-р. наук, проф. Келемен Міхал, (Кошицький університет охоронного менеджменту, Словаччина)  
д.ф.н., проф. Новрузов Рафік (Бакинський слов'янський університет, Азербайджан)  
д.т.н., проф. Радзевич С.П., (EATON Corp., США)  
проф. Сандак Ян-Урбан (Ректор інституту ім. д-ра Яна-Урбана Сандака, Норвегія)  
д.т.н., проф. Федориненко Д. Ю. (Tohoku University, Японія)

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ**

д.т.н., проф. Новомлинець О.О. (м. Чернігів, ректор НУ «Чернігівська політехніка»)  
д.т.н., проф. Ступа В.І. (м. Чернігів, засновник конференції, почесний член національного програмного комітету)  
д.т.н., проф. Анісімов В.М. (м. Дніпро, Український державний університет науки і технологій)  
д.т.н., проф. Антонюк В.С. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Банзак О.В. (м. Одеса, Державний університет інтелектуальних технологій та зв'язку)  
д.т.н., проф. Білик С.І. (м. Київ, Київський національний університет будівництва і архітектури)  
д.т.н., проф. Бобир М.І. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Болотов Г.П. (м. Чернігів, НУ «Чернігівська політехніка»)  
д.т.н., проф. Васильченко Я.В. (м. Краматорськ, Донбаська державна машинобудівна академія)  
д.т.н., проф. Веселовська Н.Р. (м. Вінниця, Вінницький національний аграрний університет)  
д.т.н., проф. Винников Ю.Л. (м. Полтава, Національний університет «Полтавська політехніка ім. Юрія Кондратюка»)  
д.т.н., проф. Воронцов Б.С. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Головка Л.Ф. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., доц. Грибков Е.П. (м. Краматорськ, Донбаська державна машинобудівна академія)  
д.т.н., проф. Грицай І.Є. (м. Львів, Національний університет «Львівська політехніка»)  
д.т.н., проф. Данильченко Ю.М. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Денисов Ю.О. (м. Чернігів, НУ «Чернігівська політехніка»)  
д.т.н., с.н.с. Джала Р.М. (м. Львів, Фізико-механічний інститут ім.Г.В.Карпенка НАН України)  
д.т.н., проф. Дмитрієв Д.О. (м. Херсон, Херсонський національний технічний університет)  
д.т.н., проф. Долгов М.А. (м. Київ, Інститут проблем міцності ім. Г.С.Писаренка НАН України)  
д.т.н., проф. Дубенець В.Г. (м. Чернігів, почесний член національного програмного комітету)  
д.т.н., проф. Дубровський М.П. (м. Одеса, Одеський національний морський університет)  
д.т.н., проф. Єременко В.С. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Залога В.О. (м. Суми, Сумський державний університет)  
д.т.н., проф. Заріцький О.В. (м. Київ, Національний авіаційний університет)  
д.т.н., проф. Звірко О.І. (м. Львів, Фізико-механічний інститут ім.Г.В.Карпенка НАН України)  
д.т.н., доц. Зінко Р.В. (м. Львів, Національний університет «Львівська політехніка»)  
к.т.н., проф. Іванов М.І. (м. Вінниця, Вінницький національний аграрний університет)  
д.т.н., проф. Іванов В.О. (м. Суми, Сумський державний університет)  
д.геол.н., проф. Іванишин В.А. (м. Чернігів, НУ «Чернігівська політехніка»)  
д.т.н., проф. Іскович-Лотоцький Р.Д. (м. Вінниця, Вінницький національний технічний університет)  
д.т.н., проф. Казимир В.В. (м. Чернігів, НУ «Чернігівська політехніка»)  
д.т.н., доц. Казимиренко Ю.О. (м. Миколаїв, Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова)  
д.т.н., проф. Калафатова Л.П. (м. Покровськ, Донецький національний технічний університет)  
д.т.н., проф. Кальченко В.І. (м. Чернігів, НУ «Чернігівська політехніка»)  
д.т.н., проф. Кальченко В.В. (м. Чернігів, НУ «Чернігівська політехніка»)

д.т.н., проф. Квасніков В.П. (м. Київ, Національний авіаційний університет)  
д.т.н., проф. Кириченко А.М. (м. Кропивницький, Центральноукраїнський національний технічний університет)  
д.т.н., проф. Клименко Г.П. (м. Краматорськ, Донбаська державна машинобудівна академія)  
д.т.н., проф. Клименко С.А. (м. Київ, Інститут надтвердих матеріалів ім. Бакуля НАН України)  
д.т.н., проф. Клочко О.О. (м. Харків, НТУ «Харківський політехнічний інститут»)  
д.т.н., проф. Ковалевський С.В. (м. Краматорськ, Донбаська державна машинобудівна академія)  
д.т.н., проф. Ковальов В.Д. (м. Краматорськ, Донбаська державна машинобудівна академія)  
д.т.н., проф. Козловський В.В. (м. Київ, Національний авіаційний університет)  
д.т.н., проф. Копей В.Б. (м. Івано-Франківськ, Івано-Франківський національний університет нафти і газу)  
д.т.н., проф. Копилов В.І. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)  
к.т.н., проф. Корнієнко М.В. (м. Київ, Київський національний університет будівництва і архітектури)  
д.т.н., проф. Корченко О.Г. (м. Київ, Національний авіаційний університет)  
д.т.н., проф. Криворучко О.В. (м. Київ, Державний торговельно-економічний університет)  
д.т.н., проф. Кузнєцов Ю.М. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Лаврінєнко В.І. (м. Київ, Інститут надтвердих матеріалів ім. Бакуля НАН України)  
д.т.н., проф. Лебедев В. О. (м. Київ, Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України)  
д.т.н., проф. Луців І.В. (м. Тернопіль, Тернопільський національний технічний університет ім. І Пулюя)  
д.т.н., проф. Маєвський В.О. (м. Львів, Національний лісотехнічний університет України)  
д.т.н., проф. Мазанко В.Ф. (м. Київ, Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України)  
д.т.н., проф. Майборода В.С. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Марков О.Є. (м. Краматорськ, Донбаська державна машинобудівна академія)  
д.т.н., доц. Мачуга О.С. (м. Львів, Національний лісотехнічний університет України)  
д.т.н., проф. Мелешко Є.В. (м. Кропивницький, Центральноукраїнський національний технічний університет)  
д.т.н., проф. Мироненко Є.В. (м. Краматорськ, Донбаська державна машинобудівна академія)  
д.філ. н., проф. Москаленко В.В. (м. Київ, Інститут психології імені Г.С. Костюка НАПН України)  
д.т.н., проф. Огінський Й.К. (м. Запоріжжя, Запорізький національний університет)  
д.т.н., проф. Онисько О.Р. (м. Івано-Франківськ, Івано-Франківський національний університет нафти і газу)  
д.т.н., проф. Онищенко В.В. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Орловський Б.В. (м. Київ, Київський національний університет технологій та дизайну)  
д.т.н., проф. Охріменко О.А. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Павленко П.М. (м. Київ, Національний авіаційний університет)  
д.т.н., проф. Пальчевський Б.О. (м. Луцьк, Луцький національний технічний університет)  
д.т.н., проф. Панчук В.Г. (м. Івано-Франківськ, Івано-Франківський національний університет нафти і газу)  
д.т.н., проф. Пасічник В.А. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Пермяков О.А. (м. Харків, НТУ «Харківський політехнічний інститут»)  
д.т.н., проф. Петраков Ю.В. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Певцов Г.В. (м. Черкаси, Державний НДІ випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки)  
д.т.н., проф. Пінчевська О.О. (м. Київ, Національний університет біоресурсів і природокористування України)  
д.т.н., проф. Пилипенко О.І. (м. Чернігів, почесний член національного програмного комітету)  
д.т.н., проф. Плаван В.П. (м. Київ, Київський національний університет технологій та дизайну)  
д.т.н., проф. Повстяной О.Ю. (м. Луцьк, Луцький національний технічний університет)  
д.т.н., проф. Похмурська Г.В. (м. Львів, Національний університет «Львівська політехніка»)  
д.т.н., проф. Равська Н.С. (м. Київ, почесна членкиня національного програмного комітету)  
д.т.н., проф. Рудь В.Д. (м. Луцьк, Луцький національний технічний університет)  
д.т.н., проф. Савенко В.І. (м. Київ, Київський національний університет будівництва і архітектури)  
д.т.н., проф. Савченко О.В. (м. Чернігів, НУ «Чернігівська політехніка»)  
д.т.н., проф. Саленко О.Ф., (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Сахно Є.Ю. (м. Чернігів, Національний університет «Чернігівська політехніка»)



д.т.н., проф. Семенов С.Г. (м. Харків, Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця)  
д.т.н., проф. Середа Б.П. (м. Кам'янське, Дніпровський державний технічний університет)  
д.т.н., проф. Сиза О.І. (м. Чернігів, Національний університет «Чернігівський колегіум ім. Т.Г.Шевченка»)  
д.т.н., проф. Смирнов І.В. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Струтинський В.Б. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Ступницький В.В. (м. Львів, Національний університет «Львівська політехніка»)  
д.т.н., проф. Тітов В.А. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Тіхенко В.М. (м. Одеса, Національний університет «Одеська політехніка»)  
д.пед.н., проф. Ткач Ю.М. (м. Чернігів, НУ «Чернігівська політехніка»)  
д.т.н., проф. Тонконогий В.М. (м. Одеса, Національний університет «Одеська політехніка»)  
д.т.н., с.н.с. Тристан А.В. (м. Черкаси, Державний НДІ випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки)  
д.т.н., проф. Фальченко Ю.В. (м. Київ, Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України)  
д.т.н., проф. Філоненко С.Ф. (м. Київ, Національний авіаційний університет)  
д.т.н., проф. Хавін Г.Л. (м. Харків, НТУ «Харківський політехнічний інститут»)  
д.т.н., проф. Цюцюра С.В. (м. Київ, Київський національний університет будівництва і архітектури)  
к.т.н., доц. Чередніков О.М. (м. Черкаси, Державний НДІ випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки)  
д.т.н., доц. Чуприна В.М. (м. Черкаси, Державний НДІ випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки)  
д.т.н., проф. Чухліб В.Л. (м. Харків, НТУ «Харківський політехнічний інститут»)  
д.т.н., проф. Цибуля С.Д. (м. Чернігів, НУ «Чернігівська політехніка»)  
д.т.н., проф. Шахбазов Я.О. (м. Львів, Українська академія друкарства)  
д.т.н., проф. Шевченко О.В. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Шинкаренко В.Ф. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Широков В.В. (м. Львів, Українська академія друкарства)  
д.т.н., проф. Юдін О.К. (м. Київ, Київський національний університет ім. Тараса Шевченка)  
д.т.н., проф. Яхно О.М. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)

*Організатори конференції висловлюють щире подяку членам програмного комітету конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» за вагомий внесок в зростання авторитету і досягнення рівня найбільшої мультидисциплінарної міжнародної науково-практичної конференції України.*

## ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ СЕКЦІЙНИХ ЗАСІДАнь

### СЕКЦІЯ 1.

#### ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ТА СИСТЕМИ МАШИНОБУДІВНОГО ВИРОБНИЦТВА

- Stephen Radzevich** Specifics in kinematics of gearing with intermediate balls 21  
*EATON Corp., USA*
- Volodymyr Chupryna** Parameterization of complete spindle units models in CAD 23  
*State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification, Cherkasy*
- Natalia Karyachenko** Numerical solution of the problem of transverse oscillations of 25  
movable flexible working bodies transporting concentrated loads  
*Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro*
- Vadim Medvedev, Olga Dubinina** The special form's modeling of inductore for 26  
magnetic-pulse processing  
*National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute». Kyiv*
- Borys Sereda, Dmytro Sereda, Dmytro Kiforuk, Igor Bilozir, Anton Prolomov** 28  
Increasing the durability of the rear axle reducer of trucks  
*Dnipro State Technical University, Kamianske*
- Irina Kruglyak<sup>1</sup>, Ruslan Kryvko<sup>1</sup>, Kiril Guliaev<sup>1</sup>, Dmytro Sereda<sup>1</sup>, Igor Chyzhov<sup>2</sup>** 29  
Increasing the reliability of the pressure mechanism of rolling mill  
<sup>1</sup>*Dnipro State Technical University, Kamianske*  
<sup>2</sup>*Zaporizhzhya Foundry and Mechanical Plant LLC, Zaporizhzhya*
- Andrii Polishchuk<sup>1</sup>, Oleh Polishchuk<sup>1</sup>, Mykola Rubanka<sup>2</sup>, Svitlana Lisevich<sup>1</sup>** 30  
Equipment for recycling crushed polyethylene terephthalate into consumables for 3D  
printing  
<sup>1</sup>*Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi*  
<sup>2</sup>*Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv*
- Andrii Polishchuk<sup>1</sup>, Oleh Polishchuk<sup>1</sup>, Mykola Rubanka<sup>2</sup>, Svitlana Lisevich<sup>1</sup>** 32  
Development of 3D printing equipment using a mixture of polymer material and metal  
powder  
<sup>1</sup>*Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi*  
<sup>2</sup>*Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv*
- Anna Ben, Anton Matiukhin** Analysis of the temperature factor influence on the titanium 34  
alloys deformation character during extrusion  
*National University "Zaporizhzhia Polytechnic", Zaporizhzhia*
- Клименко С.Ан., Клименко С.А., Манохін А.С.** Температура на плямах спалаху в 36  
зоні контакту стружки із передньою поверхнею інструменту із РСВН  
*Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, м. Київ*
- Хавін Г.Л., Хоу Чживень** Математична моделювання взаємозв'язку зміни форми 38  
інструменту і втрати ваги при механічній обробці полімерних композиційних  
матеріалів  
*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків*
- Ковальов В.Д., Кметь І.А., Коваленко А.В.** Вимірювання геометричних параметрів 39  
та параметрів шорсткості деталі в процесі обробки на важких токарних верстатах  
для реалізації системи адаптивного оптимального управління процесом різання  
*Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ*

- Лавріненко В.І.<sup>1</sup>, Полторацький В.Г.<sup>1</sup>, Скрыбін В.В.<sup>1</sup>, Солод В.Ю.<sup>2</sup>, 40**  
**Кашинський І.С.<sup>2</sup>, Гумаров О.В.<sup>2</sup>** Сучасні розробки в нанесенні функціональних  
 покриттів із наявністю борвмісних сполук на зерна шліфпорошків алмазів  
<sup>1</sup>Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, м. Київ  
<sup>2</sup>Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське
- Калафатова Л. П., Носов Р. О.** Аналіз варіантів підвищення продуктивності 42  
 механічної обробки корпусних деталей в умовах сучасних автоматизованих  
 виробництв  
 Донецький національний технічний університет, м. Покровськ, м. Луцьк
- Тонконогий В.М., Голофєєва М.О., Левинський О.С., Клімов С.В.** Підвищення 44  
 точності дефектоскопії виробів з неметалевих гетерогенних матеріалів методом  
 активної термографії  
 Національний університет «Одеська політехніка», м. Одеса
- Петраков Ю.В., Романов Я.С.** Корекція управляючої програми контурного 46  
 фрезерування  
 Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ
- Луців І.В., Волошин В.Н., Лось І.Г.** Широкодіапазонні плунжерно-клинові токарні 48  
 патрони з пружними ланками  
 Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя, м. Тернопіль
- Шевченко О.В., Бєляєва А.Ю.** Ефективність вібраційного дроблення стружки при 50  
 токарній обробці  
 Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ
- Клименко Г.П., Васильченко Я.В., Шаповалов М.В., Хорошайло В.В., 52**  
**Сікорський А.О.** Оптимальні стратегії заміни інструменту для забезпечення  
 надійності технологічних системи  
 Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ
- Четвержук Т.І., Повстяной О.Ю., Редько Р.Г., Полінкевич Р.М., Залета О.М. 53**  
 Проектування малого вертикально-фрезерного верстата з ЧПУ на модульній основі  
 за допомогою CAD/CAM систем  
 Луцький національний технічний університет, м. Луцьк
- Широков В.В.<sup>1</sup>, Максимук О.В.<sup>2</sup>, Шахбазов Я.О.<sup>1</sup>, Широков О.В.<sup>1</sup>** Вплив свинцю 55  
 та інших легуючих елементів на зносотривкість струмоз'ємних вставок з  
 алюмінієвих псевдосплавів  
<sup>1</sup>Українська академія друкарства, м. Львів,  
<sup>2</sup>Львівський національний університет ім. Івана Франка, м. Львів
- Кузнєцов Ю.М., Столярчук Д.П.** Автоматизовані системи зварювання з 58  
 маніпулюванням  
 Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ
- Рудь В. Д., Самчук Л. М.** Експериментальне дослідження механічних 60  
 характеристик композиційного пористого матеріалу  
 Луцький національний технічний університет, м. Луцьк
- Пальчевський Б.О.** Принципи визначення надійності мехатронних технологічних 63  
 комплексів  
 Луцький національний технічний університет, м. Луцьк
- Майборода В.С., Джулій Д.Ю., Косянчук В.В.** Зміна мікротвердості 65  
 твердосплавного інструменту з покриттям при магнітно-абразивному обробленні  
 Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Буріков О. О., Майборода В. С.</b> Залежність напружень поверхневого шару від зміни робочого зазору та часу обробки магнітно-абразивного полірування<br><i>Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ</i>                                                                                                                                                                                                                                          | 66 |
| <b>Заставський К.О., Майборода В.С.</b> Вплив форми оброблюваної деталі на сили опору при магнітно-абразивному обробленні<br><i>Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ</i>                                                                                                                                                                                                                                                                        | 68 |
| <b>Охріменко О.А.<sup>1</sup>, Клочко О.О.<sup>2</sup>, Фролов В.К.<sup>1</sup>, Шуплєцов Д.К.<sup>1</sup>, Сухіна Є. В.<sup>3</sup></b> Інноваційна технологія виготовлення зуборізного довбача<br><sup>1</sup> <i>Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ</i><br><sup>2</sup> <i>Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків</i><br><sup>3</sup> <i>Науково-технічний центр «СодікоМ-Дніпро», м. Київ</i> | 70 |
| <b>Бабенко А.Є., Боронко О.О., Трубачев С. І., Лавренко Я. І.</b> Програмний комплекс розрахунку коливань пластинчасто-оболонкових систем<br><i>Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ</i>                                                                                                                                                                                                                                                        | 72 |
| <b>Четербух О.Ю., Шахбазов Я. О., Широков В. В., Паламар О.О.</b> Порівняльна силова характеристика плоскоштанцювального преса<br><i>Українська академія друкарства, м. Львів</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 73 |
| <b>Четербух О.Ю.<sup>1</sup>, Шахбазов Я. О.<sup>1</sup>, Мельников О.В.<sup>2</sup>, Олянишен Т.В.<sup>3</sup></b> Дослідження величини пружної деформації деталей плоскоштанцювального преса<br><sup>1</sup> <i>Українська академія друкарства, м. Львів,</i><br><sup>2</sup> <i>ІТ СТЕП Університет, м. Львів</i><br><sup>3</sup> <i>Національний лісотехнічний університет України, м. Львів</i>                                                                                       | 74 |
| <b>Ковальов Ю.А., Плешко С.А., Рубанка М.М., Савенко А.А.</b> Аналіз конструкцій гальмівних роликів гравітаційних конвеєрів<br><i>Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 75 |
| <b>Кондрашев П.В.</b> Вплив магнітного поля на якість внутрішньої мікроструктури при лазерному сплавленні порошку<br><i>Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», м. Київ</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 77 |
| <b>Пірогов Д.О., Воронцов Б.С.</b> Перспективи використання та оброблення заготовок із титану отриманих за технологією xBeam 3D metal printing<br><i>Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», м. Київ</i>                                                                                                                                                                                                                                                       | 79 |
| <b>Цибуленко В.О., Воронцов Б.С.</b> Планування процесу адитивного та субтрактивного гібридного виробництва процесу плавлення в порошковому шарі (PBF)<br><i>Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», м. Київ</i>                                                                                                                                                                                                                                               | 81 |
| <b>Тітов В.А., Злочевська Н.К., Максимів І.М., Корева В.О.</b> Моделювання процесу профілювання внутрішньої поверхні трубчастої заготовки<br><i>Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ</i>                                                                                                                                                                                                                                                        | 82 |
| <b>Бельмас І.В., Задорожній В.А.</b> Абразивна безкінцева шліфувальна стрічка<br><i>Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 84 |
| <b>Малєгін Р.Д., Алієв Е.Б.</b> Методика проведення експериментальних досліджень роботи диспергатора-гомогенізатора рідких кормів<br><i>Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро</i>                                                                                                                                                                                                                                                                              | 85 |
| <b>Роїк Т. А., Гавриш О. А., Віцюк Ю. Ю., Бровкин А. О.</b> Вибір абразивних матеріалів для шліфування зносостійких деталей з легованих композитів для друкарських машин<br><i>Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ</i>                                                                                                                                                                                                                         | 88 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Тулупов В.І., Онищук С.Г. Дослідження енергоефективних способів обробки деталей машин<br><i>Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ</i>                                                                                                                                                                                                                  | 90  |
| Gao Xingmin. Current state and price policy of vice production in China<br><i>National Technical University of Ukraine «Ihor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv</i>                                                                                                                                                                                                | 92  |
| Дядя С.І., Козлова О.Б., Тришин П.Р., Яхно Д.А. Контроль коливань при кінцевому фрезеруванні розподілом їх на швидкісні зони<br><i>Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя</i>                                                                                                                                                                     | 94  |
| Симонюк В.П., Тимошук А.А. До технології селективного лазерного спікання<br><i>Луцький національний технічний університет, м. Луцьк</i>                                                                                                                                                                                                                                    | 95  |
| Стецько А.Є. Метод підвищення ресурсу деталей із кольорових сплавів формуванням Ni-Co-P зміцнювальних поверхневих шарів<br><i>Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів</i>                                                                                                                                                                               | 97  |
| Нечаєв В.П., Рязанцев А.О. Вдосконалення технології нанесення захисних плазмових покриттів<br><i>Криворізький національний університет, м. Кривий ріг</i>                                                                                                                                                                                                                  | 98  |
| Залюбовський М.Г. <sup>1</sup> , Панасюк І.В. <sup>2</sup> , Кошель О.С. <sup>2</sup> Аналіз машин з рухомими робочими ємкостями для обробки деталей виробів легкої промисловості<br><sup>1</sup> Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна», м. Київ<br><sup>2</sup> Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ                   | 99  |
| Філатов Ю.Д. <sup>1</sup> , Сідорко В.І. <sup>1</sup> , Ковальов С.В. <sup>1</sup> , Ковальов В.А. <sup>2</sup> , Юрчишин О.Я. <sup>2</sup> Полірування полімерних оптичних матеріалів<br><sup>1</sup> Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, м. Київ<br><sup>2</sup> Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ | 101 |
| Солнцев О.В. Теоретичні дослідження 3D-принтера на основі механізму паралельної структури<br><i>Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ</i>                                                                                                                                                                                        | 103 |
| Кошель С.О. <sup>1</sup> , Кошель Г.В. <sup>2</sup> Дослідження структури механізму з структурною групою четвертого класу третього порядку<br><sup>1</sup> Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ<br><sup>2</sup> Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна», м. Київ                                                          | 105 |
| Щербина К. К., Торчілов Д. Р. Динамічний аналіз хонінгувальної головки<br><i>Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький</i>                                                                                                                                                                                                                | 107 |
| Валецький Б. П. Реінжинірінг мехатронного складу<br><i>Луцький національний технічний університет, м. Луцьк</i>                                                                                                                                                                                                                                                            | 109 |
| Лещенко О. І. 3D-модельовання кінцевих радіусних фрез<br><i>Приазовський державний технічний університет, м. Маріуполь (м. Дніпро)</i>                                                                                                                                                                                                                                     | 110 |
| Биков М.С., Нешта А.О., Дегтярьов І.М., Марков Р.В. Проблеми рівномірності шпилькових з'єднань у місцях стику кришки та корпусу відцентрових насосів<br><i>Сумський державний університет, м. Суми</i>                                                                                                                                                                     | 111 |
| Авраменко С. Є., Доленко О. В., Дегтярьов І. М. Перспективи застосування циклоїдних передач у механізмах наведення озброєння на безпілотних наземних мобільних роботизованих платформах<br><i>Сумський державний університет, м. Суми</i>                                                                                                                                  | 112 |
| Колос В.О., Іванов В.О., Павленко І.В. Причинно-наслідкова діаграма ішикави процесу проектування верстатних пристроїв<br><i>Сумський державний університет, м. Суми</i>                                                                                                                                                                                                    | 113 |



- Кононович В.М., Дегтярьов І.М., Корнієнко А.О.** Вдосконалення штифтових конічних з'єднань деталей насосного обладнання 114  
Сумський державний університет, м. Суми
- Денисюк В.Ю.** Визначення похибок обробки деталей при використанні засобів активного контролю 115  
Луцький національний технічний університет, м. Луцьк
- Долгов М.А.<sup>1</sup>, Смирнов І.В.<sup>2</sup>, Тарасовська С.О.<sup>1</sup>, Скиба В.А.<sup>2</sup>** Міцність зчеплення плазмових покриттів при дослідженнях на відрив та зсув 117  
<sup>1</sup> Інститут проблем міцності імені Г.С.Писаренка НАН України, м. Київ  
<sup>2</sup> Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського», м. Київ
- Шепеленко І.В.<sup>1</sup>, Немировський Я.Б.<sup>2</sup>, Магопєць С.О.<sup>1</sup>, Красота М.В.<sup>1</sup>** Проведення прискорених зносостійких випробувань гільз циліндрів 118  
<sup>1</sup> Центральнотураїнський національний технічний університет, м. Кропивницький  
<sup>2</sup> Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир
- Бойко С.В., Соловей В.В.** Використання вторинних полімерів у 3D-друці 120  
Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів
- Ковалевський С.В., Ковалевська О.С., Коваленко О.М., Сидюк Д.М.** 122  
Моделювання розпізнавання багатовимірних об'єктів в векторному просторі  
Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ
- Ковалевський С.В., Ковалевська О.С., Сидюк Д.М., Коваленко О.М.,** 125  
Концептуальні завдання машинобудування для забезпечення життєвого циклу виробу  
Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ
- Ашкелянєць А.В.<sup>1</sup>, Миронова Т.М.<sup>2</sup>, Бондарев С.В.<sup>1</sup>, Сех В.І.<sup>1</sup>** Моделювання процесу кування для розробки технології отримання багатошарових поковок 127  
<sup>1</sup> Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків  
<sup>2</sup> Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро
- Луста Ю. Р., Мачуга О. С.** Розв'язування задач взаємодії лісових машин з робочим середовищем за допомогою принципу суперпозиції сил 129  
Національний лісотехнічний університет України, м. Львів
- Хворостяний В. В., Бодунов В. Є., Качинська І. Р.** Методика оцінки ступеню локалізованого пошкодження елементів конструкцій з багатошарового скла методом статичного продавлювання пуансоном 131  
Інститут проблем міцності імені Г. С. Писаренка НАН України, м. Київ
- Фришев С.Г.<sup>1</sup>, Лукач В.С.<sup>1</sup>, Василюк В.І.<sup>1</sup>, Ікальчик М.І.<sup>1</sup>, Волоха М.П.<sup>2</sup>, Яблонський П.М.<sup>2</sup>** Моделювання процесу транспортування коренеплодів цукрових буряків після викопування 133  
<sup>1</sup> Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України «Ніжинський агротехнічний інститут», м. Ніжин  
<sup>2</sup> Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ
- Венжега В.І.<sup>1</sup>, Пасов Г. В.<sup>1</sup>, Рудик А.В.<sup>2</sup>** Дослідження особливостей обробки поверхонь при двосторонньому торцевому шліфуванні 134  
<sup>1</sup> Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів  
<sup>2</sup> Державний науково-дослідний інститут випробувань та сертифікації озброєння та військової техніки, м. Черкаси
- Литвиняк Я.М., Юрчишин І.І., Литвиняк О.Я.** Синтез профілю зубців площинного зачеплення 135  
Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів

- Стахова А.П.<sup>1</sup>, Ігнатенко П.Л.<sup>2</sup>** Дослідження резонансу та характеристик 136  
коливальної системи  
<sup>1</sup> Національний авіаційний університет, м. Київ  
<sup>2</sup> Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів
- Пасов Г.В., Венжега В.І., Кологойда А.В., Кужельний Я.В.** Сільськогосподарські 139  
самоскиди та їх особливості  
Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів
- Мурашкова В.П., Остапенко О.В.** Розв'язок задачі на прогин струни в 141  
середовищі MathCad  
Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів
- Цивінда Н.І., Пікільняк А.В., Зюган У.І., Зуєв І. О.** Аналіз вибору оптимальних 143  
параметрів технологічної системи в виробничих умовах  
Криворізький національний університет, м. Кривий ріг
- Петрина Д. Ю.** Порівняння вимог до характеристик твердості цементованого шару 144  
бурової шарошки світових фірм виробників  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-  
Франківськ
- Макруха Т. О., Пузирьов О. Л., Кисельова Ю. О.** Використання адитивних 146  
технологій в освітньому процесі для спеціальності 131 «Прикладна механіка»  
Економіко-технологічний інститут імені Роберта Ельворті, м. Кропивницький
- Олійник С.Ю.** Дослідження зміни динамічних характеристик технологічної 148  
системи при використанні магнітом'яких еластомерів в вузлах пристосувань  
Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ
- Юрковець В.І., Вислоух С.П.** Моделювання процесу складання вісесиметричних 150  
деталей для вертикальної схеми типу «втулка-вал»  
Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ
- Кальченко В. В., Кальченко В. І., Венжега В. І., Машковцев Д. С.** Аналіз методів 152  
шліфування зі схрещеними осями розподільного валу та круга  
Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів
- Качан О. Я., Уланов С. О., Шаломєєв А. В., Шаломєєв В. В.** Підвищення 154  
довговічності дисків компресорів гтд із титанових сплавів  
Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя
- Банзак О.В., Банзак Г.В., Лещенко О.І., Жеребцова Л.Н.** Розробка методів і 156  
засобів контролю ядерних матеріалів і стан захисних бар'єрів на АЕС  
Державний університет інтелектуальних технологій та зв'язку, м. Одеса
- Яровий Ю.В.** Дослідження питомої роботи формоутворення при фрезеруванні 158  
Національний університет «Одеська політехніка», м. Одеса
- Стрельчук Р. М.** Моделювання міжелектродного зазору при електроерозійному 159  
шліфуванні зі змінною полярністю електродів  
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків
- Лупкін Б.В.<sup>1</sup>, Антонюк В.С.<sup>1</sup>, Андреев О.В.<sup>2</sup>, Толстой С.А.<sup>2</sup>, Майорова К.В.<sup>3</sup>** 160  
Вплив температурного фактору на міцність під час свердління полімерних  
композиційних матеріалів  
<sup>1</sup> Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ  
<sup>2</sup> Державне підприємство «АНТОНОВ», м. Київ  
<sup>3</sup> Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», м. Харків

- Лаврінєнков А.Д., Миронєнко В.А.** Моделювання процесу осаджування заготовок із порошкового матеріалу штампуванням обкочуванням 162  
*Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ*
- Рубанка М.М.<sup>1</sup>, Манойленко О.П.<sup>1</sup>, Ставрук С.В.<sup>2</sup>** Доцільність використання системи автоматизованого проєктування TopSolid в інженерній практиці 164  
<sup>1</sup> *Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ*  
<sup>2</sup> *Інженерна компанія «Технополіс», м. Київ*
- Сергєєв О.С.** Удосконалення технології механічної обробки гідро- і пневмоциліндрів 166  
*Військовий інститут танкових військ НТУ «ХПІ», м. Харків*
- Мєдведєв Б.В., Серебрянський А.А., Алексєєв О.М. Євтухов А.В.** Побудова та аналіз імітаційної моделі електродвигуна постійного струму як функціонального елемента привода обертання заготовки круглошліфувального верстата 168  
*Сумський державний університет, м. Суми*
- Заяць І.А., Довгополов А.Ю.** Розроблення прототипу механізованого робота для транспортування озброєння 170  
*Сумський державний університет, м. Суми*
- Панченко А.В., Довгополов А.Ю.** Підвищення антикорозійних властивостей сталей аустенітного класу методом високотемпературної обробки в розплавах солей 171  
*Сумський державний університет, м. Суми*
- Некрасов Ю.О., Довгополов А.Ю.** Дослідження впливу вмісту кисню на швидкість насичення поверхні деталі атомами азоту та вуглецю при карбонітрації 172  
*Сумський державний університет, м. Суми*
- Майданюк С.В., Адаменко Ю.І., Плівак О.А., Марченко О.М.** Вплив радіуса заокруглення різальної кромки на якість обробки отворів у композиційних матеріалах 173  
*Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ*
- Адаменко Ю.І., Майданюк С.В., Плівак О.А., Прокопчук Д.В.** Інструмент для контурного різання композиційних матеріалів 175  
*Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ*
- Акимов О.О., Міщенко М.В., Федєнко В.М., Шевченко Д.Т.** Оцінювання впливу неявних відмов кульок підшипника на його ресурс 177  
*Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Черкаси*
- Дєркач О. Л., Кобзар В. Л.** Застосування характеристик розсіювання енергії для вібродіагностики пошкоджень у полімерних композитних матеріалах 178  
*Інститут проблем міцності імені Г.С. Писарєнка НАН України, м. Київ*
- Сила І.М., Боднар С.І., Ряполов І.Є.** Методика оцінки характеристик аеродинамічного навантаження двошарових плануючих парашутів 179  
*Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Черкаси*
- Сила І.М., Боднар С.І., Ряполов І.Є.** Пропозиції щодо створення парашутної системи із застосуванням пружної ланки 180  
*Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Черкаси*

- Кириченко А.М., Завгородній Б.М.** Утворення деталей методом 3D-друку з просторових шарів 181  
*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький*
- Дуванський О.М., Чухліб В.Л.** Зміна довжини уступу поковки в залежності від початкових параметрів кування при виробництві корпусів запірної арматури 182  
*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків*
- Молчанов В. Ф. , Часов Д. П. , Латишев Д. В.** Підвищення точності обробки деталей на шліфувальних верстатах 184  
*Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське*
- Мозговий О.В.** Вплив структурних елементів на розсіювання механічної енергії композитами Al-SiC 186  
*Вінницький державний педагогічний університет ім. М. Коцюбинського, м. Вінниця*
- Єпішкін О. В., Бень А. М.** Тепле штампування в автомобільній промисловості 188  
*Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя*
- Романенко В.В., Блощин М.С., Жегет І.М.** Інтенсифікація процесу лазерного різання металічних матеріалів 190  
*Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», м. Київ*
- Блощин М.С., Головка Л.Ф., Романенко В.В., Юрченко Ю.В.** Застосування лазерного термоциклування для покращення характеристик зносостійких покриттів деталей спеціального призначення 192  
*Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ*
- Романенко В.В., Блощин М.С., Жегет І.М.** Вдосконалення процесу лазерного різання металів при застосуванні додаткових технологічних операцій 193  
*Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ*
- Блощин М.С., Головка Л.Ф., Романенко В.В., Гаряжа А.О.** Особливості застосування лазерного випромінювання для видалення татуювань та дефектів шкіри 195  
*Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ*
- Кушнірчук А.С.** Аналіз геометричної точності після механічної обробки деталей отриманих FDM друком 196  
*Хмельницький національний університет, м. Хмельницький*
- Мазур М.П., Ткачук В.П., Соколан К.С.** Визначення розмірів нерівностей при обробці торових поверхонь дисковим багатокромковим інструментом 198  
*Хмельницький національний університет, м. Хмельницький*
- Калініченко В.В.** Формування комплексу енергоефективних умов процесу токарної обробки на важких верстатах 200  
*Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, м. Тернопіль*
- Зінько Р.В., Глобчак М.В., Демчук І.Б.** Виготовлення безповітряного колеса з еластичного поліуретану 201  
*Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів*
- Кошовий М.Д.<sup>1</sup>, Ащепкова Н.С.<sup>2</sup>** Дистанційне керування автономним мобільним роботом 203  
<sup>1</sup> *Національний аерокосмічний університет «ХАІ ім. М.С. Жуковського», м. Харків*  
<sup>2</sup> *Дніпровський національний університет ім. О. Гончара, м. Дніпро*

- Руденко Н.В., Руденко О.Л.** Особливості фазових та структурних перетворень при лазерному нагріванні 204  
*Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», м. Харків*
- Ягліньський В.П.<sup>1</sup>, Гутиря С.С.<sup>1</sup>, Аніченко А.К.<sup>2</sup>** Орієнтація руху платформи гексаподу за додатковими векторами 205  
<sup>1</sup> *Національний університет «Одеська політехніка», м. Одеса*  
<sup>2</sup> *Одеський національний технологічний університет, м. Одеса*
- Оборський Г.О., Ягліньський В.П., Гутиря С.С.** Силові діаграми демпферних систем гексаподу 206  
*Національний університет «Одеська політехніка», м. Одеса*
- Пасічник В.А.<sup>1</sup>, Бурбурська С.В.<sup>1,2</sup>, Лашина Ю.В.<sup>1</sup>** Моделювання і адитивне виготовлення хірургічних навігаторів для кастомних ортопедичних імплантатів 207  
<sup>1</sup> *Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ*  
<sup>2</sup> *ТОВ «Остеоніка», м. Львів*
- Мандровська С.О., Стельмах Н.В.** Огляд, аналіз і прогноз систем керування малогабаритними БПЛА 209  
*Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ*
- Чурсов С.О.** Прогнозування властивостей гумокордних матеріалів пневматичних шин при накопиченні механічних пошкоджень властивості корду при випробуванні на розтяг 210  
*Херсонський національний технічний університет, м. Херсон*
- Палієнко В.О., Чухліб В.Л.** Класифікація колінчастих валів 213  
*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків*
- Пилипенко О.І.** Вібраційний контроль зубчастих передач редукторів газотурбінних двигунів 214  
*Почесний член національного програмного комітету конференції, м. Чернігів*
- Макатьора А.В., Макатьора Д.А., Зенкін М.А.,** Механізм переміщення ножа, що здійснює рух по замкнутій траєкторії 216  
*Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ*
- Гончар Н.В.<sup>1</sup>, Гребенніков М.О.<sup>2</sup>, Криворученко В.Л.<sup>1</sup>, Слободян А.Г.<sup>1</sup>** Оптимізація технологічного процесу виготовлення лопаток в умовах одиничного виробництва ГТД 218  
<sup>1</sup> *Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя*  
<sup>2</sup> *ЗМКБ «Івченко-Прогрес», м. Запоріжжя*
- Пермяков О.А.<sup>1</sup>, Шепеленко І.В.<sup>2</sup>, Przemysław Józkowicz<sup>3</sup>** Технологічне проектування процесів відновлення деталей та реверсивний інжиніринг 219  
<sup>1</sup> *Національний технічний університет «ХПІ», м. Харків*  
<sup>2</sup> *Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький,*  
<sup>3</sup> *HERMES TECHNIC, м. Легніца, Польща,*
- Кологойда А.В., Пасов Г.В., Сіра Н.М.** Адитивне виробництво та використання 3D технологій в автомобільному транспорті та галузевому машинобудуванні. 221  
*Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів*
- Онисько О.Р., Лукань Т.В., Левицький Є.М.** Основи автоматичного розрахунку формоутворення профілю ходових валів 223  
*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ*

- Динник О.Д., Приходько О.М., Майба А.О.** Дослідження впливу швидкості різання на на якість обробленої поверхні під час хонінгування 224  
*Відокремлений структурний підрозділ «Класичний фаховий коледж» Сумського державного університету, м. Конотоп, Сумська область.*
- Данильченко Ю.М.<sup>1</sup>, Кривошея А.В.<sup>2</sup>, Щоголь А.О.<sup>1</sup>** Формоутворення зубчастого профіля черв'ячним інструментом 226  
<sup>1</sup> Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ  
<sup>2</sup> Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, м. Київ
- Музичка Д.Г., Солод В.Ю., Музичка В.А.** Дослідження впливу концентрації зерен шліфувального круга на теоретичну довжину твірної головного різального конусу 228  
*Дніпровський державний технічний університет м. Кам'янське*
- Музичка Д.Г.<sup>1</sup>, Чернишов О.В.<sup>1</sup>, Коваленко О.К.<sup>1</sup>, Музичка А.Р.<sup>1</sup>, Дербаба В.А.<sup>2</sup>, Щербіна Є.Ю.<sup>2</sup>** Дослідження впливу зернистості шліфувального круга на теоретичну довжину твірної головного різального конусу 230  
<sup>1</sup> Дніпровський державний технічний університет м. Кам'янське  
<sup>2</sup> Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро
- Майборода В.С., Гаврушкевич Н.В., Овсієнко Л.Г.** Характер витіснення порошка відновлювальним стрижневим елементом з робочої зони при магнітно-абразивному обробленні 232  
*Національний технічний університет України "КПІ імені Ігоря Сікорського", м. Київ*
- Неженцев О.Б.** Розвиток системи моніторингу енергоспоживання вантажопідйомних машин 233  
*Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ*
- Жирний А. В., Кайдаш К. І.** Модернізація танку Т-64 під час капітального ремонту 235  
*Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Черкаси*
- Яворський І.М.<sup>1,2</sup>, Юзефович Р.М.<sup>1,3</sup>, Мацько І.Й.<sup>1</sup>, Личак О.В.<sup>1</sup>** Аналіз вібраційних сигналів від тонкої пластини з тріщиною 237  
<sup>1</sup> Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, м. Львів  
<sup>2</sup> Бидгощська політехніка, Бидгощ, Польща  
<sup>3</sup> Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів

## СЕКЦІЯ 2.

### ТЕХНОЛОГІЇ ДЕРЕВООБРОБКИ І МЕБЛЕВОГО ВИРОБНИЦТВА

- Касянчук І.О., Цапко Ю.В., Горбачова О.Ю., Мазурчук С.М.** Встановлення теплоізоляційних параметрів деревинно-полімерного матеріалу 238  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ*
- Яремчук Л.А.** Товщина плівки захисно-декоративного покриття на термодеревині 240  
*Національний лісотехнічний університет України, м. Львів*
- Дацків Г.М., Кшивецький Б. Я.** Щодо зміни міцності клейових з'єднань термічно модифікованої деревини ясеня і сосни немодифікованої при впливі природних факторів 241  
*Національний лісотехнічний університет України, м. Львів*
- Буйських Н. В.** Щодо питань термінології на деревинні та паливні тріски 242  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ*

|                                                                                                                                                                        |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Жежик К. В., Сапон С.П.</b> Технології виготовлення плінтусів із застосуванням універсального деревообробного обладнання                                            | 243 |
| <i>Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів</i>                                                                                                |     |
| <b>Полева Ю.І.</b> Системи автоматизованого проектування столярних виробів                                                                                             | 245 |
| <i>Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів</i>                                                                                                |     |
| <b>Попівнич В.В.</b> Технології гнуття деревини при виготовленні столярних виробів                                                                                     | 248 |
| <i>Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів</i>                                                                                                |     |
| <b>Лопатько Л.С.</b> Використання наночастинок металів для удосконалення характеристик дерево-композитних матеріалів                                                   | 249 |
| <i>Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ</i>                                                                                     |     |
| <b>Копанський М.М., Козак Р.О., Ортинська Г.Є., Кусняк І.І.</b> Вплив питомого вмісту ріпакових частинок у вихідній композиції на властивості паливних брикетів        | 250 |
| <i>Національний лісотехнічний університет України, м. Львів</i>                                                                                                        |     |
| <b>Козак Р.О., Бірук В.С.</b> Водопоглинання та набрякання за товщиною легких стружкових плит із вмістом стружки з стебел соняшника                                    | 252 |
| <i>Національний лісотехнічний університет України, м. Львів</i>                                                                                                        |     |
| <b>Чернецький О.М., Кусняк І.І., Бехта Н.С.</b> Вплив модифікування шпону на водостійкість фанери                                                                      | 254 |
| <i>Національний лісотехнічний університет України, м. Львів</i>                                                                                                        |     |
| <b>Ортинська Г.Є., Лютий П.В.</b> Дослідження властивостей соєво-протеїнів клеїв для виготовлення фанери                                                               | 256 |
| <i>Національний лісотехнічний університет України, м. Львів</i>                                                                                                        |     |
| <b>Маєвський В.О., Ференц О.Б., Копинець З.П., Сторожук В.М., Гончар І.М., Кобринович М.С.</b> Вихід та нормування струганого шпону                                    | 258 |
| <i>Національний лісотехнічний університет України, м. Львів</i>                                                                                                        |     |
| <b>Маєвський В.О., Мороз Р.О., Воронович С.В., Копинець З.П., Миськів Є.М.</b> Дослідження виходу клеєних щитів з дубових пиломатеріалів                               | 260 |
| <i>Національний лісотехнічний університет України, м. Львів</i>                                                                                                        |     |
| <b>Кшивецький Б.Я., Кіндзера А.Р., Сомар Г.В.</b> Дослідження стану поверхні термічно модифікованої деревини ясеня для формування полівінілацетатних клейових з'єднань | 261 |
| <i>Національний лісотехнічний університет України, м. Львів</i>                                                                                                        |     |
| <b>Mariana Udovytska<sup>1</sup>, Volodymyr Mayevskyy<sup>2</sup>, Oleksandr Udovytskyi<sup>2</sup></b> Prediction of transverse hogging of lumber                     | 263 |
| <sup>1</sup> Technological College of the Ukrainian National Forestry University, Lviv                                                                                 |     |
| <sup>2</sup> Ukrainian National Forestry University, Lviv,                                                                                                             |     |
| <b>Кушніт А.С., Ільків М.М., Кушніт О.М.</b> Дослідження міцності рейкового щита личкованого hdf плитою на статичний згин                                              | 265 |
| <i>Національний лісотехнічний університет України, м. Львів</i>                                                                                                        |     |
| <b>Щупаківський Р.Б., Андрашек Й.В.</b> Закономірності зміни кольору шпону деревини бука та вільхи при термомеханічному ущільненні                                     | 266 |
| <i>Національний лісотехнічний університет України, м. Львів</i>                                                                                                        |     |
| <b>Лакида Ю.П., Губар С.М.</b> Щодо особливостей використання вживаних меблів як сировини для виготовлення ДСП                                                         | 269 |
| <i>Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ</i>                                                                                     |     |
| <b>Пінчевська О.О., Спірочкін А.К.</b> Вплив коефіцієнта вологопровідності на кінетику сушіння                                                                         | 270 |
| <i>Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ</i>                                                                                     |     |



### СЕКЦІЯ 3. ГІДРАВЛІЧНІ ТА ПНЕВМАТИЧНІ СИСТЕМИ

- Іскович-Лотоцький Р.Д.<sup>1</sup>, Веселовська Н.Р.<sup>2</sup>, Залізник Р.О.<sup>2</sup>, Шевченко В.В.<sup>1</sup>** 272  
Аналітичний огляд типових математичних моделей гідроприводів вібраційної та циклічної дії  
<sup>1</sup> Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця  
<sup>2</sup> Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця
- Веселовська Н.Р., Романов В.В., Пастушенко О.І.** Відомі конструкції насосів з гідрравлічним приводом 274  
Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця
- Гнатюк О.Ф.** Гідроімпульсний привід віброударного пристрою завантажувально-розвантажувального кузова однокадного клапана-пульсатора 277  
Житомирський агротехнічний фаховий коледж, м. Житомир
- Яхно О.М., Гнатів Р.М., Ночніченко І.В.** Явища переносу в навколишньому середовищі 279  
Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», м. Київ
- Куліков О. А., Ратушний О. В.** Дослідження залежності напірних та енергетичних характеристик від кількості лопатей в контрроторному ступені 281  
Сумський державний університет, м. Суми
- Куліков О. А., Ратушний О. В.** Дослідження залежності напірних та енергетичних характеристик контрроторного ступеня від збільшення діаметра лопатевого диску 283  
Сумський державний університет, м. Суми
- Аврунін Г.А., Мороз І.І.** Можливості застосування радіально-поршневих гідромоторів в якості мотор-колів для гідроприводів мобільних машин 285  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків
- Шалапай В.В., Мачуга О.С.** Втрати потужності у гідроциліндрі внаслідок протікання гідрравлічної рідини через нещільність 287  
Національний лісотехнічний університет України, м. Львів
- Кириченко А.М., Щербина К.К., Годорожа В.А.** Функціональний портрет шестеренного гідрравлічного насосу 289  
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький
- Апаракін А.Р.** Реалізація гідростатичних підшипникових опор цапф вала-сектора кульково-гвинтового гідропідсилювача руля 291  
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький
- Сіра Н.М., Кологойда А.В., Кужельний Я.В.** Регулювання швидкості руху вихідної ланки гідроприводу 292  
Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів
- Кривошеєв В.Є., Ночніченко І.В.** Експериментальне дослідження впливу магнітного поля на гідродинамічну кавітацію з ефектом люмінесценції 293  
Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ
- Начовний І.І.<sup>1</sup>, Павленко А.А.<sup>2</sup>, Осташко І.О.<sup>1</sup>** Дослідження напружено-деформованого стану дросельної втулки щільного ущільнення поршневих та плунжерних насосів високого тиску 295  
<sup>1</sup> ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет, м. Дніпро  
<sup>2</sup> Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро

#### СЕКЦІЯ 4.

### ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ТА СИСТЕМИ ХІМІЧНОЇ, ЛЕГКОЇ, ПЕРЕРОБНОЇ ТА ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

- Орловський Б.В.** Оптимізація параметрів робочого процесу пресу волого-теплової обробки виробів з текстилю за узагальненим показником якості 296  
*Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ*
- Орловський Б. В., Місяць М.В.** Аеродинамічний захват маніпулятора деталей крою з текстилю 297  
*Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ*
- Березненко С.М., Жданова О.А, Білоцька Л.Б.** Специфіка формоутворення деталей швейних виробів 300  
*Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ*
- Дворжак В. М.** Комп'ютерна симуляція маніпулятора 302  
*Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ*
- Орловський Б.В., Манойленко О. П., Безуглий Д. М.** Об'єктно-орієнтований аналіз каркасних 3D текстильних структур 304  
*Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ*
- Гуменюк О.Л., Сахута Л.А., Коленченко А.Ю.** Композиційна суміш горохового борошна і солоду житнього як поліпшувач для хлібобулочних виробів з борошна пшеничного вищого сорту 306  
*Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів*
- Гуменюк О.Л., Манжай В.П., Гайдай Т.О.** Пошук поліпшувача для хліба з пшеничного борошна вищого сорту з кукурудзяним борошном 309  
*Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів*
- Бусел О.В., Гуменюк О.Л., Іваненко К.М., Пасов Г.В.** Особливості використання розробленого сушильного агрегату для гарбузового насіння 311  
*Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів*
- Болховітіна О.І., Шидакова-Каменюка О.Г., Чубаха О.В.** Органолептичні та фізико-хімічні властивості хліба з додаванням борошна насіння гірчиці 314  
*Державний біотехнологічний університет, м. Харків*
- Гончарук О.О., Ототюк О.С.** Використання лазерних технологій в харчовій промисловості 315  
*Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ*
- Фабриченко К. Ю.** Вивчення впливу рослинної сировини на органолептичні та фізико-хімічні властивості безлактозного йогурту 317  
*Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів*
- Чинчик О.С., Сидорак І.Я.** Особливості технологічних процесів вирощування сої для потреб переробної промисловості 319  
*Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», м. Кам'янець-Подільський*
- Глушак В. С., Денисова Н.М.** Використання кербу в технології виробництва вершково-шоколадного морозива 321  
*Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів*
- Легейда А.В., Денисова Н.М.** Методи інтенсифікації процесу бродіння хлібобулочних напівфабрикатів. Використання електромагнітних випромінювань 323  
*Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів*

- Курочка А.М., Денисова Н.М.** Застосування гарбузового шроту та стевіазоїду в технології хлібобулочних виробів оздоровчого призначення 325  
*Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів*
- Семенов А.О., Скрипник В.О.** Методика інактивації бактерій порошкових продуктів харчування з використанням оптичного випромінювання ультрафіолетового діапазону 327  
*Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава*
- Савченко Б.М., Слепцов О.О., Савчук Б.П., Трашутін Є.І.** Вторинна переробка біорозкладних полімерних матеріалів 329  
*Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ*
- Савченко Б.М., Сова Н.В., Савчук А.П., Лімаз Я.Є.** Циклічна вторинна переробка полівінілхлориду 330  
*Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ*
- Рубанка М.М.<sup>1</sup>, Поліщук О.С.<sup>2</sup>, Демішонкова С.А.<sup>1</sup>** Зниження динамічних навантажень приводу рукавичного автомата 331  
<sup>1</sup> *Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ*  
<sup>2</sup> *Хмельницький національний університет, м. Хмельницький*
- Рубанка М.М.<sup>1</sup>, Поліщук О.С.<sup>2</sup>, Рубанка А.І.<sup>1</sup>** Сучасний стан обладнання розкрійного цеху швейного підприємства 333  
<sup>1</sup> *Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ*  
<sup>2</sup> *Хмельницький національний університет, м. Хмельницький*
- Савченко Б. М., Слепцов О. О., Пушкарьов Д. В., Василенко В. М.** Вплив параметрів 3D друку на теплопровідність полімерних композитів 335  
*Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ*
- Ковальов Ю.А., Плешко С.А., Рубанка М.М.** Доцільність використання в приводі в'язальної машини маховика з регульованим моментом інерції 336  
*Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ*
- Сова Н.В., Слепцов О.О., Розвора Л.В., Ходикін А.О.** Композиційні полімерні матеріали з хімічноактивними наповнювачами 338  
*Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ*
- Савченко Б.М., Сова Н.В., Федорів Т.Р., Слепченко Р.Ю.** Адитивні технології виробництва електропровідних полімерних композитів 339  
*Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ*
- Савченко Б.М., Слепцов О.О., Булгаков Є.С., Педченко Р.Р.** Створення нетканих матеріалів на основі полімерних композитів 340  
*Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ*
- Савченко Б.М., Слепцов О.О., Свістільнік Р.Ф.** Температурна залежність питомого електричного опору струмопровідних полімерних покриттів 341  
*Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ*
- Корнієнко І.М.<sup>1</sup>, Кузнєцова О.О.<sup>1</sup>, Гуляєв В.М.<sup>2</sup>, Непошивайленко Н.О.<sup>2</sup>, Анацький А.С.<sup>2</sup>, Філімоненко О.Ю.<sup>2</sup>, Коваленко А.Л.<sup>2</sup>, Корнієнко Ю.М.<sup>2</sup>** Біотехнологія використання прополісу в хлібопеченні 343  
<sup>1</sup> *Національний авіаційний університет, м. Київ*  
<sup>2</sup> *Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське*

- Пристинський С. В.<sup>1,2</sup>, Плаван В. П.<sup>1</sup>, Шуляк Р.О.<sup>2</sup>** Дослідження реологічних властивостей та морфології сумішей мультикомпонентних полімерних відходів 345  
<sup>1</sup> Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ  
<sup>2</sup> ТОВ «Костал Україна», м. Переяслав-Хмельницький
- Горобець В. А., Манойленко О. П., Дворжак В.М.** Порівняльний аналіз механізмів переміщення матеріалів швейних машин 347  
 Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ
- Ляшок І.О., Іщенко О.В., Соколовський В.А., Антоненко Д.О.** ПВХ-композиції з кальцій-цинковими стабілізаторами 349  
 Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ
- Бондаренко О.П.<sup>1</sup>, Цапко О.Ю.<sup>1,2</sup>, Цапко Ю.В.<sup>3</sup>, Ліхньовський Р.В.<sup>3</sup>** Обґрунтування теплоізоляційних параметрів вогнезахисної штукатурки для бетону 351  
<sup>1</sup> Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ  
<sup>2</sup> Український державний науково-дослідний інститут «Ресурс», м. Київ  
<sup>3</sup> Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ
- Yurij Khlibyshyn, Oleh Hrynyshyn, Iryna Pochapska.** Particularities of bitumen modification by oxidation of paraffin tars 353  
 Lviv Polytechnic National University, Lviv
- Дудченко О.В., Бутенко О.О.** Особливості нанесення нікелевого покриття 355  
 Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ
- Sergii Verbytskyi, Larysa Borsoliuk, Nataliia Patsera** Enhanced production technology of restructured meat products with the use of a microcutter 357  
 Institute of Food Resources of NAAS, Kyiv
- Хребтань О.Б., Волкова Р.М.** Особливості застосування печей для крафтових пекарень. 358  
 Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів.
- Рубанка А.І., Герасименко О.Д., Лобеко В.О.** Використання принципів трансформації при проектуванні дитячого одягу 359  
 Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ
- Самохвалова О.В., Касабова К.Р., Бабаєв С.О.** Плодоовочева паста як функціональний інгредієнт у технології рахат-лукуму 360  
 Державний біотехнологічний університет, м. Харків
- Кайдаш М.Д.** Аналіз механізму утворення кратного балона при осьовому змотуванні нитки з текстильного пакування 362  
 Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів

# СЕКЦІЯ 1. ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ТА СИСТЕМИ МАШИНОБУДІВНОГО ВИРОБНИЦТВА

UDK 621.9.02

Stephen Radzevich, Dr.Sci, Professor  
EATON Corp., USA, [radzevich@usa.com](mailto:radzevich@usa.com)

## SPECIFICS IN KINEMATICS OF GEARING WITH INTERMEDIATE BALLS

Geometrically-accurate gearing with intermediate balls were proposed in the second half of 2010s (in March 2, 2018; patent pending) [1]. They are originated from *conformal/Novikov gearing*. No intensive research of this gear system has been carried out so far. To this end, it is likely the monograph [2] is the only source where certain analysis of workable gearing that features intermediate balls is outlined. A bit more scientific results in this regard can be found out in the monograph [3].

In geometrically-accurate gearing with intermediate balls tooth profile of a gear,  $\mathcal{G}$ , is of concave geometry. All the gear teeth are shaped in a form of circular arc of a radius  $\rho_g$  (see Fig. 1a). Similarly, tooth profile of a pinion,  $\mathcal{P}$ , is also of concave geometry. All the pinion teeth are shaped in a form of circular arc of a radius  $\rho_p$ . Usually, an equality  $\rho_g = \rho_p$  is observed.

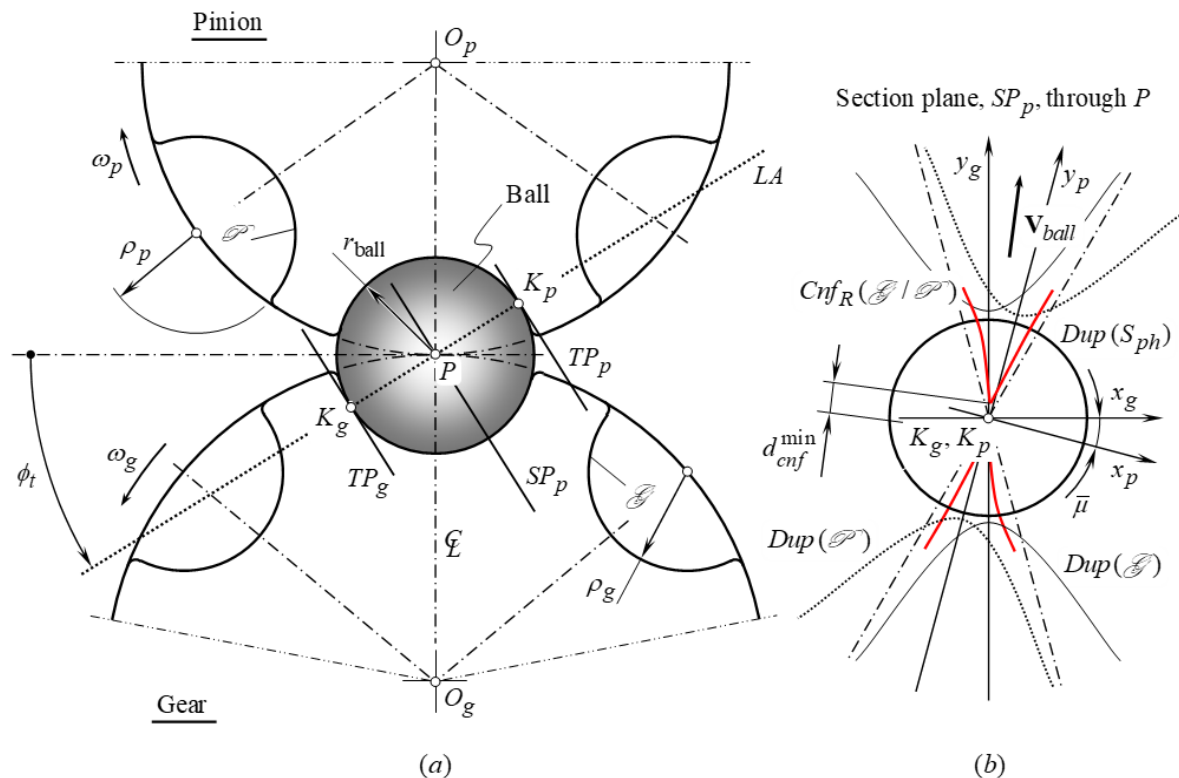


Fig. 1. – Conformal gearing with intermediate balls: (a) schematic, and (b) indicatrix of conformity at contact points.

The tooth flanks,  $\mathcal{G}$  and  $\mathcal{P}$ , interact with the intermediate balls of a radius,  $r_{ball}$ . The ball radius is slightly smaller compared to the radii  $\rho_g$  and  $\rho_p$  of the tooth flanks of a gear, and of a mating pinion. The smaller the difference  $[|\rho_g| - r_{ball}]$  (and the difference  $[|\rho_p| - r_{ball}]$ ), the higher the bearing capacity of the gear pair, and vice versa. Within the effective face width of a

gear pair, the balls are apart from one another at a distance  $p_{b,op} / \sin \psi_b$ . Here is designated:  $p_{b,op}$  – is the operating base pitch of the gear pair, and  $\psi_b$  – is the base helix angle of the gears.

*Conformal contact* (that is, *convex-to-concave contact*) between the interacting surfaces  $\mathcal{G}$  and  $\mathcal{P}$  is the first key advantage of gearing with intermediate balls. The second key advantage is due to the sliding friction in gearing with rolling balls is substituted with rolling friction between the interacting surfaces. These two advantages make clear that gearing of the proposed novel gear system possess a good perspective to occupy certain niche in the present-day engineering practice.

The direction of traveling of the intermediate balls in relation to the gear, and to the mating pinion is determined below in this text. *Dupin indicatrices* at point of smooth regular tooth flanks, and indicatrices of conformity at point of contact of two smooth regular surfaces,  $\mathcal{G}$  and  $\mathcal{P}$ , are used for this purpose [2, 3].

A tangent plane,  $TP_g$ , is a plane through the contact point,  $K_g$  (see Fig. 1b). The *Dupin indicatrices* at point  $K_g$  of the tooth flank,  $\mathcal{G}$ , is constructed in this plane. A tangent plane,  $TP_p$ , is a plane through the contact point,  $K_p$  (see Fig. 1, b). The *Dupin indicatrices* at point  $K_p$  of the tooth flank,  $\mathcal{P}$ , is constructed in the plane,  $TP_p$ .

Then, an advantage can be taken from the fact, that the intermediate ball is bounded by a sphere, which is symmetrical with respect to three arbitrary axes through the center of the sphere, and three planes (mirror symmetry) that also pass through the center of the sphere. Therefore, (a) the *Dupin indicatrices*  $Dup(S_{ph})$  at point of sphere of the intermediate ball can be ignored, and (b) all the further consideration can be executed within the plane,  $SP_p$ . The plane,  $SP_p$ , is a plane through the pitch point,  $P$ , and is parallel to the tangent planes,  $TP_g$  and  $TP_p$ .

Despite of the *Dupin indicatrices*  $Dup(\mathcal{G})$  and  $Dup(\mathcal{P})$  at points  $K_g$  and  $K_p$  of the tooth flanks,  $\mathcal{G}$  and  $\mathcal{P}$ , are located in different planes, in the particular case under consideration they can be projected onto the common plane,  $SP_p$ . The indicatrix of conformity,  $Cnf_R(\mathcal{G} \rightarrow \mathcal{P})$ , can be constructed in this plane,  $SP_p$ . There is no need to construct for this purpose the indicatrices of conformity  $Cnf_R(\mathcal{P} \rightarrow ball)$  and  $Cnf_R(ball \rightarrow \mathcal{G})$  at contact points  $K_g$  and  $K_p$  of a ball with the tooth flanks,  $\mathcal{G}$  and  $\mathcal{P}$ . The *Dupin indicatrices*,  $Dup(\mathcal{G})$  and  $Dup(\mathcal{P})$ , at points  $K_g$  and  $K_p$  of the tooth flanks,  $\mathcal{G}$  and  $\mathcal{P}$ , are employed when constructing the indicatrix of conformity,  $Cnf_R(\mathcal{G} \rightarrow \mathcal{P})$  [2, 3].

After indicatrix of conformity,  $Cnf_R(\mathcal{G} \rightarrow \mathcal{P})$ , is constructed, it is required to specify the direction along which the minimal diameter,  $d_{cnf}^{\min}$ , of this characteristic curve is measured. The vector,  $\mathbf{V}_{ball}$ , of linear velocity of the intermediate ball in relation to the gear, and to its mating pinion is aligned with the direction of the minimal diameter,  $d_{cnf}^{\min}$ , of indicatrix of conformity,  $Cnf_R(\mathcal{G} \rightarrow \mathcal{P})$ .

## References

1. Radzevich, S.P., “A Possible Way of Evolution of *Novikov Gearing*”, in: Proceedings of the IX International Conference “Complex Assurance of Quality of Technological Processes & Systems”, May 14-16, 2019, Chernihiv (Ukraine), Vol. 1, 2019, pp.39-40.
2. Radzevich, S.P., *High-Conformal Gearing: Kinematics and Geometry*, 2<sup>nd</sup> edition, Elsevier, Amsterdam, 2020, 506 pages.

3. Radzevich, S.P., Theory of Gearing: Kinematics, Geometry, and Synthesis, 3<sup>rd</sup> Edition, revised and expanded, CRC Press, Boca Raton, FL, 2022, 1154 pages.

UDC 621.9.06

**Volodymyr Chupryna, Doctor of technical sciences**

State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification, Cherkasy, Ukraine, voldchu@ukr.net

## PARAMETERIZATION OF COMPLETE SPINDLE UNITS MODELS IN CAD

Parameterization consists in the design of the object using variable parameters of the model, in particular, in the selection of the most significant parameters of the object that significantly affect its properties, establishing relationships between these parameters and purposefully changing their values during modeling. This allows you to obtain a set of identical product models based on a once-designed model, changing the specific numerical values of the selected variables, as well as quickly make changes to these models.

Constructions of a complete spindle unit (CSU) (Fig.1) can include from several units to hundreds of elements - parts and units [1].

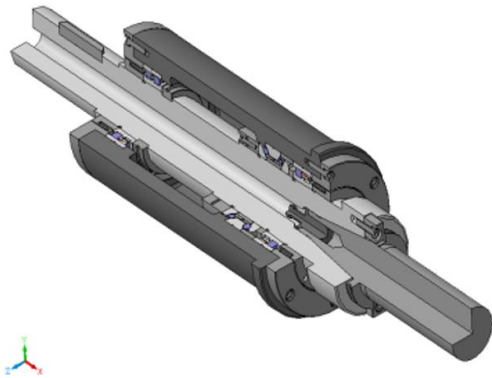


Fig.1 – 3D model of CSU

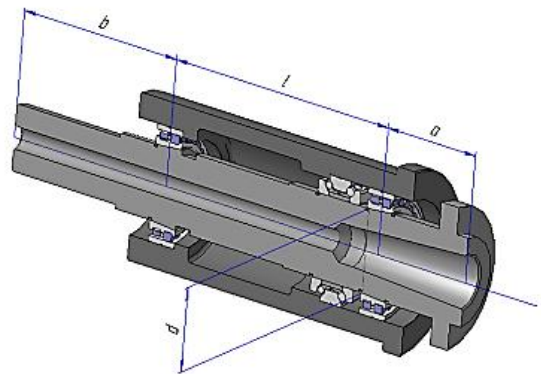


Fig.2 – Basic control dimensions of CSU

The CSU necessarily contains a spindle (spindle shaft) located on two (or more) supports, a drive element (coupling, gear wheel, pulley or others), an element for fixing the tool or workpiece (cartridge, center and others). In machine tool construction, only certain elements of CSU designs are standardized, in particular standard rolling bearings, front ends of spindles, diameters of necks for bearings, some gear elements (keys, splines, couplings). Therefore, in general, the parameterization of CSU is a rather difficult task. This problem can be solved only when moving to the aggregation of CSU, which narrows their nomenclature. If the basic parameters are set to normalized series of sizes, then with the help of one parametric model, it is possible to create an unlimited series of typical constructions of CSU, which covers the entire size series for a whole range of different types of machines.

In complete spindle units (CSU), the main basic parameters are the following (Fig. 2):  $a$  – spindle console projection,  $l$  – distance between radial supports,  $d$  – diameter of the spindle in the front support,  $b$  – length of the spindle shank. They are considered as the guiding variable parameters of the model. Changing the value of these parameters automatically changes all other related parameters. In this way, a parametric model of the node under study is obtained. After parametrization, it is enough to change the values of these variables to create another modification of the CSU. In this way, it is possible to model both the geometric dimensions of the node and its individual properties (for example, stiffness, mass-inertial characteristics, and others).



The scheme of forming a parametric 3D model of the CSU in CAD is shown in fig. 3 [2]. First, a layout diagram is developed for this type of node and the control parameters of the CSU are determined, then parametric 3D models of the component parts (spindle, body, and others) are built, which are entered into the database, and then a parametric assembly 3D model of the CSU is created.

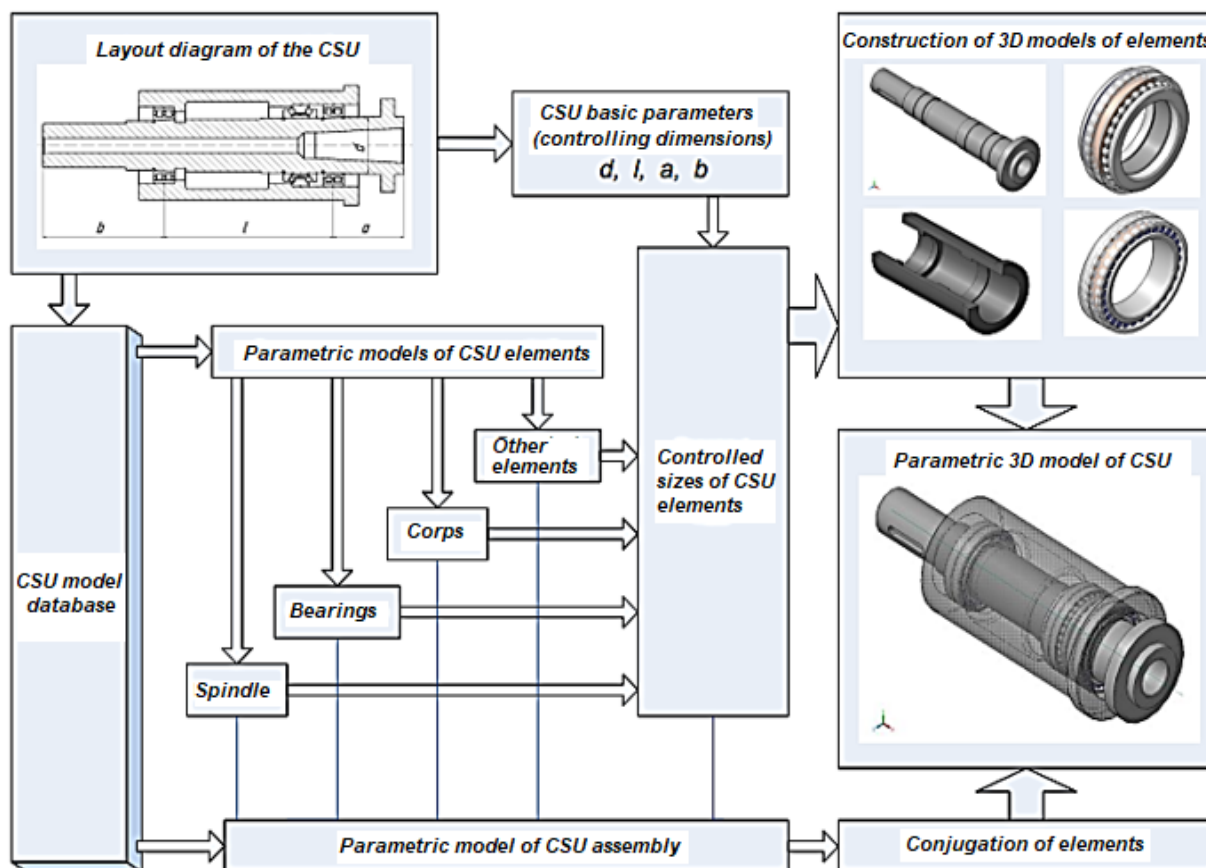


Fig.3 – Formation of parametric 3D model of CSU

The use of parametric models provides a quick reconstruction of the structure in accordance with the change of its variable parameters, which allows you to easily automate the optimization process and significantly speed up its implementation [3,4].

Thus, parameterization of CSU significantly shortens the design of new structures in CAD and opens wide opportunities for their rapid optimization according to various criteria.

### References

1. Yu.M. Danylchenko. Yu.M. Kuznetsov. Precision spindle assemblies on rolling bearings. – Ternopil: Economic Opinion, 2003 – 342 p.
2. Norenkov I.P. Fundamentals of CAD theory and design: Textbook for university students - M.: Izd. MGTU named after N. E. Bauman, 2009. – 430 p.
3. Chupryna V.M. Optimization of dynamic indicators of complete spindle assemblies in CAD-CAE system SolidWorks/CosmosWorks / Bulletin of ChDTU. – Chernihiv: ChDTU, 2012. – No. 1(55). - P. 88-95.
4. Chupryna V.M. Parametric optimization of layouts of spindle assemblies of metal-cutting machines on rolling bearings // Collection of scientific papers of the Kharkiv Air Force University. — 2016. — № 12(47). — С. 155-161.

UDC 539.391.4

Natalia Karyachenko, Ph.D., Associate Professor

Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, [natalik9189@gmail.com](mailto:natalik9189@gmail.com)

## **NUMERICAL SOLUTION OF THE PROBLEM OF TRANSVERSE OSCILLATIONS OF MOVABLE FLEXIBLE WORKING BODIES TRANSPORTING CONCENTRATED LOADS**

Flexible elastic elements, the oscillation model of which is a string, are found quite often in engineering, machines and technological equipment. These are such structures and details as ropes, cables, threads, tapes, chains, which are widely used in rope-lifting structures for the transport of goods, in which a rope stretched between supports is used to move carts and wagons; in lifting and transport machines of continuous action (conveyors, elevators, escalators); in devices of ground and suspended transport (funiculars, cable cars). In most of the works devoted to this problem, the study of dynamic processes in flexible working members is built on the basis of presenting the solution of solvable equations in the form of one group of standing waves. Such presentation of the solution does not allow to describe the full dynamic picture of transverse and longitudinal oscillations of flexible working members over the entire range of changes in their movement speeds, associated with the two-wave character of the processes occurring in such installations. If at low speeds of movement the results obtained with a single-wave presentation of solutions are suitable for solving technical problems, then with an increase in the speed of cargo flows, studies conducted on the basis of such a presentation lead to significant errors, both qualitative and quantitative.

Therefore, for the study of longitudinal and transverse vibrations of flexible traction bodies of cargo-transporting devices with a moving mass load, methods of solving systems of solvable equations are needed, which allow to more accurately describe the dynamic processes taking place in them. The mathematical model describing the transverse and longitudinal oscillations of flexible elastic threads under the influence of moving inertial loads has a more complex structure, in contrast to the classical theory of oscillations, and contains partial mixed derivatives in time that express the Coriolis inertia forces of the moving load. The presence of these derivatives does not allow applying the classical scheme of separation of variables in the real domain of the sought functions.

The separation of variables in a non-classical way, which is based on the choice of a solution in the form of a special two-wave representation, allows to more accurately describe the dynamic processes occurring in such structures, without which the correct design and safe operation of lifting and transport installations is impossible. Numerous studies have been devoted to the study of the dynamics of mechanical objects, such as a rope, string, beam, combined systems, individual cases of plates and shells under the influence of a moving inertial load. In works in which the solution of the equations of motion is built using the method of two-wave representation, systems with a mass load uniformly distributed along the length are mainly considered.

The presence in the moving inertial load of uniformly distributed concentrated loads, their number, differences in mass and location significantly affects the qualitative picture and quantitative characteristics of the dynamic processes of the studied objects.

In the work, a numerical solution to the problem of transverse oscillations of mobile flexible working members of installations transporting concentrated loads is constructed. When presenting the solution of the differential equation of motion in the form of the sum of two groups of standing waves describing their own and "accompanying" oscillations, a characteristic equation for determining frequencies is obtained, which is solved by numerical methods.

UDC 621.7

Vadim Medvedev, PhD., associate Professor

Olga Dubinina, PhD student

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

[olhadubinina777@gmail.com](mailto:olhadubinina777@gmail.com)

## THE SPECIAL FORM'S MODELINY OF INDUCTORE FOR MAGNETIC-PULSE PROCESSING

It is proposed to use a specially shaped inductor to strengthen the surface layer of the teeth of a large-sized gear wheel with the help of magnetic pulse processing. According to the dimensions obtained from the drawing of the representative part, a three-dimensional model of the inductor, shown in (Fig. 1), was designed in the SolidWorks software complex. For the in-depth calculation of the magnetic field, the turns on the model were grouped in 20 pieces, that is, 20 turns of the real coil are required for one turn of the three-dimensional model.

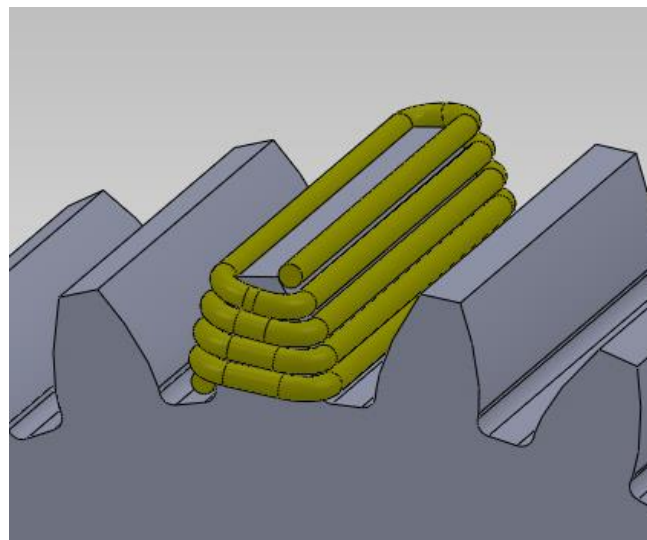


Fig. 1 – 3D model of the inductor

Applying the law of Biot - Savar - Laplace to calculate the magnetic fields of linear conductors [1], a detailed calculation of the inductor was carried out. It showed that the proposed design cannot provide strengthening over the entire plane of the tooth contact spot, where the greatest wear occurs during the operation of the wheel (Fig. 2).

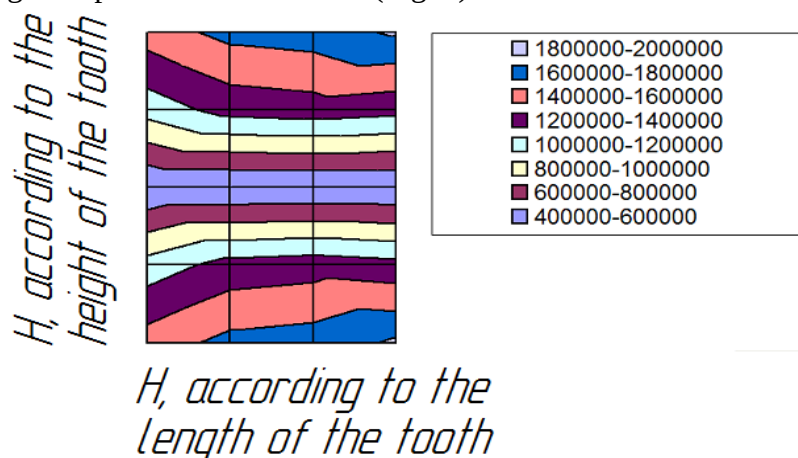


Fig. 2 – Topographic graph of the magnetic field strength distribution along the tooth surface

It can be seen from the graph that the magnetic field with the greatest force affects the edges of the tooth, and not the area of the contact patch. We conclude that the inductor with a parallel wire arrangement is not suitable for magnetic pulse processing of the tooth zones with the greatest wear. Therefore, a new three-dimensional model of the inductor for magnetic pulse processing was designed (Fig. 3).

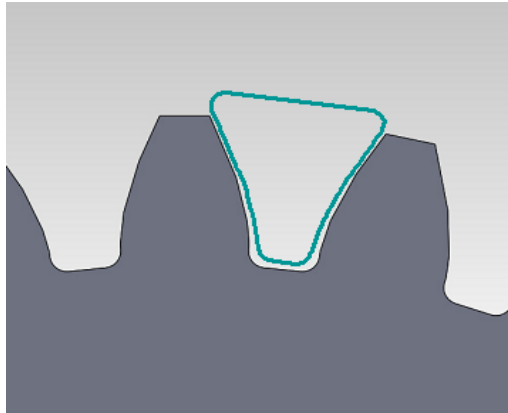


Fig. 3 – Location of the inductor between the teeth

In order to achieve the maximum strength of the magnetic field in the zone of the greatest wear, the turns of the inductor must be placed perpendicular to the surface of the tooth. This arrangement of the wire will allow processing of the side surfaces of two adjacent teeth (Fig. 3).

The axis of such an inductor should be parallel to the cavities of the tooth. A three-dimensional model of the new inductor was designed in the SolidWorks software complex (Fig. 4).

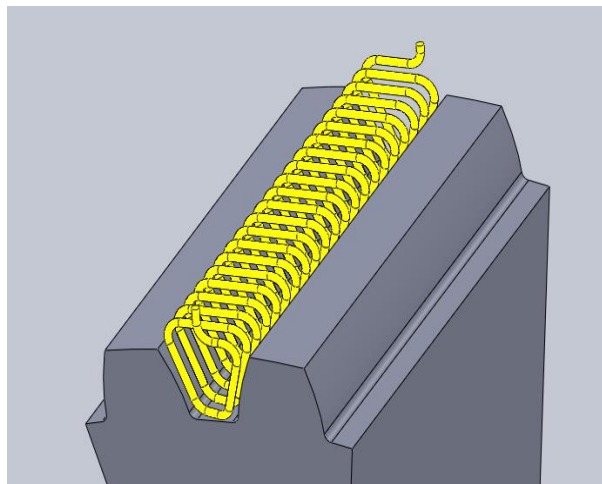


Fig. 4 – Inductor with a perpendicular arrangement of the wire

According to the schedule [fig. 2] it can be seen that the intensity of the magnetic field is much higher than the calculated one. This means that in practice, when determining the magnitude of the magnetic field strength for magnetically solid cores, smaller values of the current strength can be used.

Optimizing the shape and winding of the inductor makes it possible to reduce the requirements for electric generators, while maintaining the quality of the current at the same level.

### References

1. Zisman Z. A., Todes O. M. (1974). General physics course. Tom 2. Electricity and magnetism. Nauka.

UDC 621.7

**Borys Sereda, Doctor of technical sciences, professor**  
**Dmytro Sereda, Candidate of technical sciences, associate professor**  
**Dmytro Kiforuk, postgraduate student**  
**Igor Bilozir, postgraduate student**  
**Anton Prolomov, postgraduate student**  
Dnipro State Technical University, Kamianske, [seredabp@ukr.net](mailto:seredabp@ukr.net)

## INCREASING THE DURABILITY OF THE REAR AXLE REDUCER OF TRUCKS

Modern conditions of operation of parts of machines, equipment, tools, mechanisms, units of units of responsible purpose put forward increased requirements for their reliability, working life and physical and mechanical characteristics. In mechanical engineering, a significant part of the production cost is formed by the costs of repairing equipment, assemblies and units. At the same time, the raw materials used in the production of high-quality and alloyed steels are limited. An effective and economically feasible method of solving these problems is the creation of structural materials with various functional (heat-resistant, corrosion-resistant, wear-resistant) protective coatings on working surfaces.

The influence of residual stresses on the bearing capacity of structures under static and cyclic loading is well known [1]. It should be noted that during static loading of technological equipment, under conditions of normal temperatures, residual stresses have an insignificant effect on reducing the strength of materials. Residual stresses appear after SHS treatment under the conditions of thermal self-ignition of SHS charges. However, under conditions of cyclic loading, especially under loading with a low level of stress, under the conditions of operation of naval equipment, their influence is clearly manifested in a significant reduction of the endurance limit of the material and an increase in the rate of fatigue crack development. Tensile residual stresses are one of the main causes of corrosion cracking, as a result of which brittle destruction of the metal is observed under the simultaneous action of a corrosive-active environment and mechanical stresses. Protective coatings, which are obtained during the thermal self-ignition of SHS-charges, lead to a change in the phase and chemical composition of the doped coating, which causes residual stresses. During the cooling of the reactor as a result of the elastic interaction of the alloyed titanium coating and the structural material, we have thermal expansion due to the thermal effect [2].

The results of studies of the distribution of residual stresses over the thickness of the alloyed titanium coating obtained under the conditions of SHS on steel 45. It was established that compressive stresses occur on the surface of steel 45, which reach 120-150 MPa when alloyed with aluminum, 150-180 MPa when alloyed with silicon, chrome 180 - 210 MPa.

Research of the distribution of residual stresses along the thickness of the protective coating on structural materials, found that compressive stresses occur on their surface. Compared to the coatings obtained in isothermal conditions, they are 18–25% larger, which can be explained by the higher concentration of alloying elements in the SHS coatings and their penetration into the substrate to a greater depth.

## References

1. Improving the operational stability and efficiency of industrial transport in the conditions of a metallurgical enterprise: monograph / B.P. Sereda, S.M. Turpak, I.V. Kruglyak, O.O. Ostrohlyad, D.Y. Mukovska, D.B. Sereda, D.O. Kruglyak – Kamianske: DSTU, 2021. – 272 p.
2. Surface hardening of materials working in conditions of complex exposure to aggressive substances: monograph / B.P. Sereda, L.P. Bannikov, S.V. Nesterenko, I.V. Kruglyak et al. – Kamianske: DSTU, 2019. – 173 p.

UDC 621.77.06

**Irina Kruglyak, Doctor of technical sciences, associate professor**  
**Ruslan Kryvko, applicant for the third (educational and scientific) level of higher education**

**Kiril Guliaev, postgraduate student**  
**Dmytro Sereda, Candidate of technical sciences, associate professor**  
 Dnipro State Technical University, Kamianske [seredabp@ukr.net](mailto:seredabp@ukr.net)

**Igor Chyzhov, engineer**  
 Zaporizhzhya Foundry and Mechanical Plant LLC

## INCREASING THE RELIABILITY OF THE PRESSURE MECHANISM OF ROLLING MILL

The coating is a locally modified surface layer, characterized by a certain chemical and structural phase composition, which is qualitatively different from the base material. Among the methods of surface strengthening, titanium-based protective coatings obtained by various methods of surface modification are widely used. Currently, an urgent scientific task is the development and application of new highly effective technologies for surface strengthening of parts made of structural materials, which allow to reduce material and energy costs in the processing process[1]. A promising way to obtain coatings with adjustable composition, structure and operational characteristics with a limited or minimal time for their formation is the alloying of structural materials under the conditions of self-propagating high-temperature synthesis (SHS).

Table 1 – Adhesion strengths of the coatings obtained in the developed SHS-charges and in isothermal conditions

| Structural Material (processing mode)                                    | Type of coverage | Adhesion of the coatings obtained under the conditions of SHS, MPa | Adhesion of coatings obtained under isothermal conditions, MPa |
|--------------------------------------------------------------------------|------------------|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Steel 45<br>$t_{\pi} = 1050^{\circ}\text{C}$ ,<br>$\tau_B = 60 \times B$ | Ti-Cr            | 4,5                                                                | 3,6                                                            |
|                                                                          | Ti-Si            | 5,3                                                                | 4,2                                                            |
|                                                                          | Ti-Al            | 5,9                                                                | 4,5                                                            |

Table 1 presents the results of studies of the adhesion strength of titanium coatings obtained in the developed SBS-charges and obtained in isothermal conditions. As can be seen from the table, the highest adhesion strength of titanium coatings is obtained when alloyed with aluminum.

The conducted study shows that the saturation mode affects the magnitude and nature of the layer-by-layer distribution of residual stresses. Conducted studies of the adhesion strength of coatings revealed that the highest adhesion strength was obtained for coatings alloyed with aluminum. On steel 45, it increases from 4.5 (with Cr doping) to 5.9 MPa (Al doping), compared to coatings obtained in isothermal conditions, this indicator increases by 1.25-1.31. These results correlate with indicator of the total score of brittle fracture.

### References

1. Surface strengthening of structural materials working with the use of composite saturating media: monograph / B.P. Sereda, I.V. Kruglyak, O.S. Baskevych et al: – DSTU, 2019. – 246 p.
2. Surface hardening of materials working under conditions of complex influence of aggressive substances: monograph / B.P. Sereda, L.P. Bannikov, S.V. Nesterenko, Kruglyak I.V. et al: – DSTU, 2019. – 173 p.



UDC 678.05

**Andrii Polishchuk, PhD student**

**Oleh Polishchuk, Doctor of engineering, professor**

Khmelnytskyi National University, [opolishchuk71@gmail.com](mailto:opolishchuk71@gmail.com)

**Mykola Rubanka, Candidate of Technical Sciences, associate professor**

Kyiv National University of Technologies and Design, [nikolayrubanka@ukr.net](mailto:nikolayrubanka@ukr.net)

**Svitlana Lisevich, Senior lecturer**

Khmelnytskyi National University, [lisevichsv@gmail.com](mailto:lisevichsv@gmail.com)

## **EQUIPMENT FOR RECYCLING CRUSHED POLYETHYLENE TEREPHTHALATE INTO CONSUMABLES FOR 3D PRINTING**

Polymers are the most popular materials in the production of containers, packaging, tape, packaging film, clothes, shoes and other products. The widespread use of plastic has created the problem of its accumulation, which can be dealt with only by establishing its secondary processing, which is the main, rather even the only, way to solve the problem of environmental pollution.

Today, a global problem can become a global source of income and a real salvation for all living things. When mountains of plastic waste occupy entire landfills, there are more and more people who make money recycling it. It is important to understand that if you do not establish a timely process of collecting, sorting and processing plastic waste, very soon it will go far beyond landfills.

Accumulation of polymer waste is the main negative impact of humans on the environment. Trying to make modern life simple and comfortable, people think about harm to nature last. The problem of the accumulation of polymer waste is particularly acute today, as it has a deadly effect on the environment and its inhabitants, including people themselves.

Without solving the problem of recycling polymer materials, it is impossible to solve the environmental problems of any country, moreover, other methods of disposal of such waste can only worsen the situation. Combustion of plastic in primitive low-temperature plants and simply in landfills leads to the release of substances extremely dangerous to health, primarily dioxins. Modern waste incineration plants using pyrolysis partially solve this problem, but only recycling is a cardinal and, moreover, economically beneficial solution.

Moreover, as a result of processing by various methods, additional products are created for other industries, nature is polluted to a much lesser extent, and the use of secondary waste allows you to significantly reduce the use of primary non-renewable raw materials - oil and gas, reduce electricity consumption and reduce carbon dioxide emissions. Thus, the secondary processing of polymeric materials makes its contribution to combating global warming.

According to statistical data, the use of secondary raw materials in the world is steadily increasing. This is not surprising - according to some indicators, stocks of secondary raw materials already exceed the amount of available primary materials. Therefore, scientists of all countries are making significant efforts to create, develop and improve technologies for processing various types of waste.

Plastic is a material that is easily recycled and can be used in the second cycle without losing its basic properties. Many objects necessary in everyday life are made from secondary plastic. They are used to make: building materials (tiles, paving slabs, etc.); bags, suitcases and backpacks, which are in no way inferior to products made from primary raw materials; sports equipment, bicycles, etc.; packages, packaging materials; clothes (suits, jackets, t-shirts), shoes (sports sneakers); furniture (tables, chairs, benches); road surfaces and others.

Polyethylene terephthalate (PET) is a thermoplastic polyester used in the production of synthetic fibers, film and plastic packaging. With a market share of 18% of all manufactured plastic materials, it ranks third after polyethylene (33,5%) and polypropylene (19,5%). PET is known to the world under other names - mylar, thermoplastic or polyester.

The need to process plastic waste is caused not only by a large amount of garbage, but also by the need of many modern enterprises for secondary raw materials. Thus, the business built on the processing of plastic waste and the production of secondary raw materials is one of the most promising today.

Due to its physical and chemical properties, plastic, as already mentioned above, can go through an infinite number of cycles of production and processing. The development of new technologies and equipment for processing will help to solve the problem of excess plastic waste, and in the future eliminate the need for new plastic production.

One way to recycle plastics is to use recycled polyethylene terephthalate waste into consumables for 3D printers [1, 2]. The use of additive technologies is one of the most striking examples of how new developments and equipment can significantly improve traditional production.

In order to conduct an exploratory experiment to confirm that the crushed waste of polymer materials can be remelted, the extrusion machine shown in Fig. 6 was used.

Extrusion machine consists of the following parts: a housing with a heating system to the required melting temperature of the polymer; loading unit through which pre-prepared crushed polymer enters the body cavity ; housing cavity with an auger for moving raw materials from the loading unit to the forming nozzle; screw drive; extrusion head (Fig. 1); filament cooling and winding systems (Fig. 2); a control and management system that supports the necessary technological mode.

An auger design was developed and manufactured for feeding crushed polyethylene terephthalate in the form of small pieces.



Fig. 1 – Extrusion head



Fig. 2 – Systems of cooling and winding of polymer thread

The conducted experimental studies confirmed the possibility of re-processing the crushed waste of polymer materials into finished products using 3D printers, which use granules or crushed polymer waste as raw materials.

### References

1. Zozulya P.F., Polishchuk O.S., Polishchuk A.O. Prospects for the use of 3D printing in light industry. Bulletin of Khmelnytskyi National University, 2017. № 4. – P. 102-104, (in Ukraine).
2. Zozulya P.F., Polishchuk O.S., Nejmak V.S., Polishchuk A.O. Application of 3D printing technology in the footwear industry. Scientific notes. Lutsk National University, 2019. – Issue №67. – P.48-52, (in Ukraine).



UDC 678.05

**Andrii Polishchuk, PhD student**

**Oleh Polishchuk, Doctor of engineering, professor**

Khmelnytskyi National University, [opolishchuk71@gmail.com](mailto:opolishchuk71@gmail.com)

**Mykola Rubanka, Candidate of Technical Sciences, associate professor**

Kyiv National University of Technologies and Design, [nikolayrubanka@ukr.net](mailto:nikolayrubanka@ukr.net)

**Svitlana Lisevich, Senior lecturer**

Khmelnytskyi National University, [lisevichsv@gmail.com](mailto:lisevichsv@gmail.com)

## **DEVELOPMENT OF 3D PRINTING EQUIPMENT USING A MIXTURE OF POLYMER MATERIAL AND METAL POWDER**

In engineering practice, there is a tendency to gradually replace metals and other traditional structural materials with composite materials. However, the correct choice of composite materials for each specific case is complicated by the very strong difference in properties between traditional and composite materials.

In connection with the need to provide new technology with structural materials, in recent decades special attention has been paid to the study of the physical and mechanical properties of composite materials. The creation of various composite materials based on metal and polymer fibers makes it possible to obtain materials with high strength characteristics. The advantage of any composite material is that it can be given the necessary structural properties, as well as the ability to create materials with such indicators as high values of strength, deformability, and fracture toughness. The reliability of the structure depends primarily on the safety margin of the structural material, and even on such a characteristic as fracture toughness, that is, the ability of the material to prevent the propagation of a crack.

The use of composite materials instead of traditional materials allows you to significantly reduce the weight of the product, while not changing the strength characteristics of this material, which is especially important for the aviation and aerospace industry. In most cases, polymer materials very often do not have sufficient stiffness and strength to meet the requirements for structures. The introduction of a wide variety of reinforcing fillers is the most traditional way to improve the properties of composite materials sufficient for the composite polymer materials to be used as structural materials.

To date, the most promising for use as structural materials are polymer composite materials based on metal powders, high-strength organic (aramid) and carbon fiber fillers with a polymer matrix. The most promising direction for the use of metal, aramid and modern carbon materials is the direction associated with the creation of very high-strength composite materials for their use in various branches of industry and technology [1-3].

An extruder that prints with granules or composite mixtures of polymer materials was developed for experimental research. Using the SolidWorks software, the model of the extruder presented in Fig. 1 was developed [4].

The initial mixture of the composite material is poured into the loading hopper located outside. In the future, the mixture is fed through the nozzle 1, which is placed on the wall of the intermediate chamber 2. The rotating screw 4 is directly driven by the motor-reducer 3. Its main function is to transport the mixture from the intermediate chamber 2 to the heating chamber 5. A fan 6 is used to supply a flow of cold air to the intermediate chamber in order to maintain a constant temperature lower than that in the heating chamber. The chamber for heating the mixture 5 consists of an aluminum housing on which a radiator 8 is placed on the outside. It is used to dissipate the heat that flows from the heating element into the intermediate chamber.

The heat from the heater 9, which is placed in the lower part of the extruder, is transmitted up the aluminum cylinder and the screw, heats them to the set temperature and melts the connecting polymer (matrix). When rotating, the screw of the extruder increases the pressure on the molten

mixture, pushing it through the hole in the nozzle.

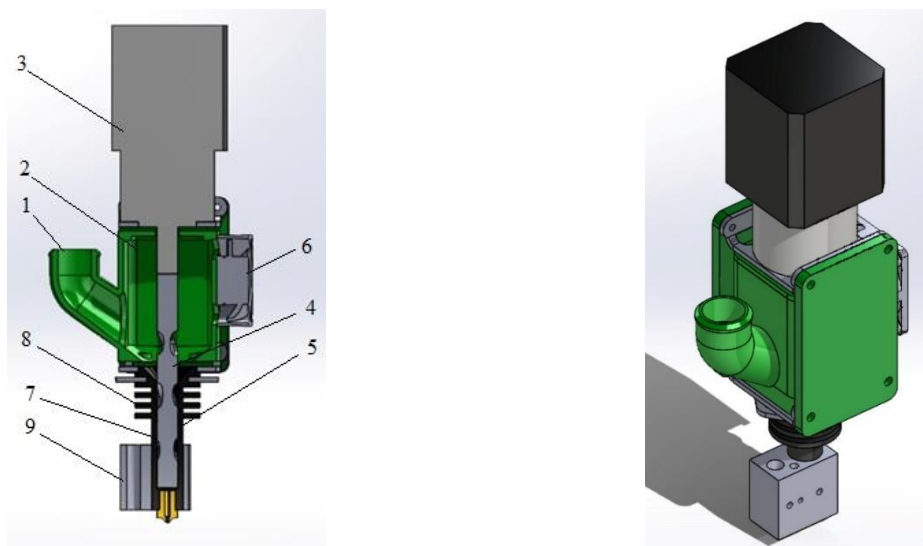


Fig.1 – Extruder modelin SolidWorks software environment

Developed extruder was installed on the Anycubic 3D printer Mega S. The general view of the experimental setup is shown in Fig. 2.

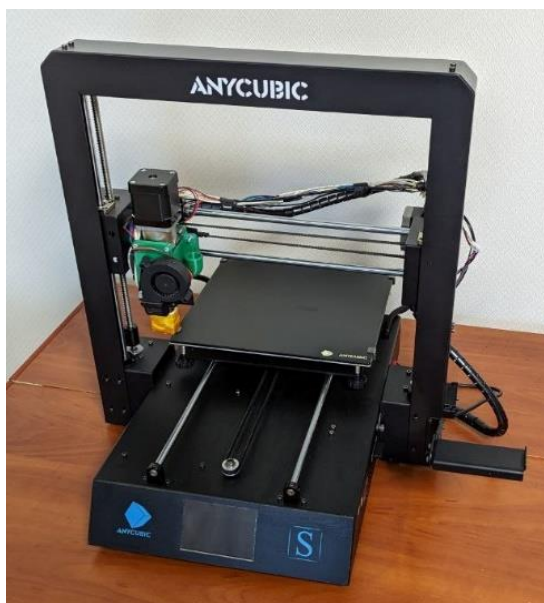


Fig.2 – General view of the Anycubic 3D printer Mega S with installed extruder for printing with a mixture of composite material

In the future, experimental studies will be conducted to confirm the functionality of the device for printing experimental samples and finished products with a mixture of composite materials, namely: plastic PLA + copper; PLA+ bronze; PLA+ stainless steel (nickel).

### References

1. Yuskaiev V.B. Composite materials: Study guide. / Yuskaiev V.B. – Sumy: Sumy State University Publishing House, 2006. – 199 p.
2. Dzhurka G.F. Polymer composite materials./ Dzhurka G.F. – Poltava: 2008 – 58 p.
3. Kopan V. Composite materials. / Kopan V. – K.: Publishing house «Pulsary»,2004. – 200 p.
4. Pustiulha S.I. Engineering graphics in SolidWorks: Study guide / S.I. Pustiulha, V.R. Samostian, Yu.V. Klak – Lutsk: Vezha, 2018. – 172 p.

**Anna Ben, senior lecture**  
**Anton Matiukhin, PhD in Technical Sciences, Associate Professor**  
National University "Zaporizhzhia Polytechnic", [benanna1985@gmail.com](mailto:benanna1985@gmail.com)

### **ANALYSIS OF THE TEMPERATURE FACTOR INFLUENCE ON THE TITANIUM ALLOYS DEFORMATION CHARACTER DURING EXTRUSION**

The paper determines the effect of deformation temperature on the stress-strain state and structural transformations of titanium alloys. Based on the calculation of the process by the finite element method (QForm) and experimental studies of structural transformations, the correlation between the stress-strain state and the state of the workpiece after deformation is shown.

The nature of the metal flow during hot extrusion largely depends on the following simultaneously acting factors: the intensity of the friction forces at the interface between the metal and the tool and the degree of inhomogeneity of the strength characteristics in the volume of the deformed workpiece. Depending on the action of these factors, different patterns of metal flow are observed, of which three main types can be distinguished (according to S.I. Gubkin):

- uniform flow, when the deformation zone is localized near the matrix;
- uneven flow with the spread of the deformation zone to the entire workpiece;
- even more uneven flow with pinching of the workpiece inner layers by the outer ones.

When titanium and its alloys are extruded, these factors manifest themselves most of all in comparison with other materials. The deformation of titanium alloys, as a rule, is characterized by a high friction coefficient between the metal and the tool, and often by seizure with the latter. At the same time, the low thermal conductivity of titanium contributes to the formation of a sharply inhomogeneous temperature field of the workpiece, which cools down due to contact with the tool. As a result, the deformation resistance of the central zone of the workpiece is much lower than in the annular zone adjacent to the container and the die, which, in turn, leads to an uneven metal flow.

As a calculation model, an extrusion stamp was chosen, shown in Fig. 1. The angle of entry of the matrix is 60 degrees, the ratio of the workpiece diameter to the extruded part is  $D:d=1.75$ .

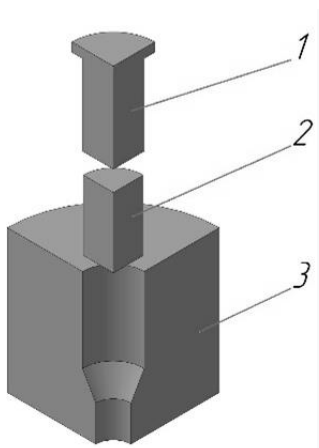


Fig. 1 – Stamp for extrusion: 1 – punch; 2 – blank; 3 – matrix

On Fig. 2 shows the characteristic distribution of the average stress on the workpiece depending on the initial heating temperature. At deformation temperatures of 600°C, 700°C, and 800°C, only compressive stresses are observed, which are explained by the presence of negative values on the scale. These stresses are most intense in the zone of contact with the punch and in the corner of the die. As the workpiece metal moves towards the matrix cell, the stresses decrease and at the exit the metal flow is pulsating in nature - from free flow to flow with low values of compressive stresses.

At a deformation temperature of 900°C and 1000°C, the stresses on the workpiece change their sign; therefore, tensile stress is present in the zone of metal outflow from the matrix cell. It is this nature of the deformation that is favorable for the extrusion process. It should be noted that the average stresses at the indicated deformation temperatures are twice as low, and the metal flow also has a pulsating character.

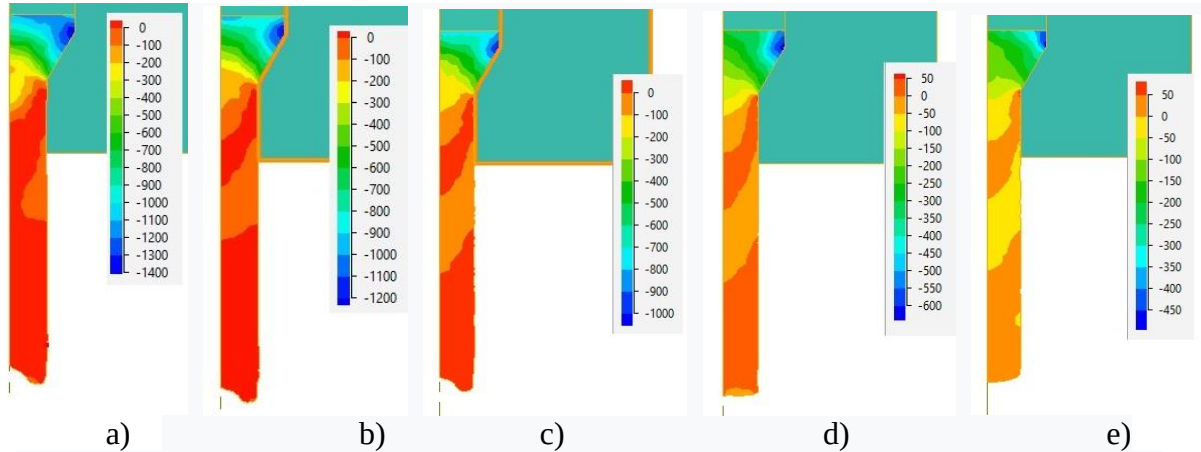


Fig. 2 – Average stresses in the workpiece a– 600°C, b – 700°C, c – 800°C, d – 900°C, e – 1000°C

Studies have shown that titanium has sufficient plasticity at temperatures of 800...900°C, and VT5D alloy - at temperatures of 850...1000°C. In practice, these are the temperature intervals for pressing titanium and its alloys. However, the pressing temperature range should take into account not only the ductility of the metal, but also the phase transformations occurring in it and affecting the mechanical properties of the pressed product. Titanium alloys having an  $\alpha+\beta$  structure have a lower comparative elongation if they are pressed in the  $\beta$ -phase region. Therefore, the pressing of these alloys must be completed at a temperature below the phase transition  $\alpha+\beta \rightarrow \beta$ .

Thus, the increase in the uniformity of the flow of titanium and its alloys during hot extrusion should be facilitated by:

- lowering the heating temperature of the workpiece before extrusion and, on the contrary, increasing the heating temperature of the tool;
- the use of an effective lubricant that reduces the coefficient of contact friction between the metal and the tool and has sufficient thermal insulation properties;
- an increase in the speed of pressing, that is, a reduction in the contact time of the workpiece with the tool.

Reducing the extrusion temperature of titanium alloys improves the structure and properties of the product, and also provides a more uniform metal flow. This increases the tool life and improves the surface quality of the profile.

### References

1. Kearns J. J. On the relationship among 'f' texture factors for the principal planes of zirconium, hafnium and titanium alloys // *Journal of Nuclear Materials*. 2001. – V. 299. – № 2. – P. 171–174.
2. Hubkyn S.Y. y dr. Osnovy teoryy obrabotky metallov davlenyem [Tekst] / S.Y. Hubkyn, B.P. Zvorono, V.F. Katkov – M.: MASHYZ, 1959
3. Titov V.A. Modeliuvannya tekhnologichnoho protsesu vydavliuvannya zahotovok kompresornykh lopatok / V.A. Titov, A.M. Ben // *Obrobka materialiv tyskom* – 2019. – № 1 (48). – S.53-57.

УДК 621.9.02

Клименко С.Ан., канд. техн. наук, ст. дослідник  
 Клименко С.А., чл.-кор. НАН України, докт. техн. наук, професор  
 Манохін А.С., канд. техн. наук, ст. дослідник  
 Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, м. Київ, atmu@meta.ua

### ТЕМПЕРАТУРА НА ПЛЯМАХ СПАЛАХУ В ЗОНІ КОНТАКТУ СТРУЖКИ ІЗ ПЕРЕДНЬОЮ ПОВЕРХНЕЮ ІНСТРУМЕНТУ ІЗ PсBN

Експериментальне визначення температури на плямах спалаху на контактній ділянці інструменту із кубічного нітриду бору (PсBN) в реальних умовах різання є складним завданням, зважаючи на малий розмір ділянок, великі значення навантажень та швидкоплинність контактних процесів. Для теоретичного визначення цієї температури пропонується спрощена схема контакту інструменту зі стружкою [1]:

- гребінці нерівностей є тільки на поверхні інструменту, а нижня поверхня стружки в початковий момент часу є абсолютно гладкою, так як характер її текстури формується після контакту із передньою поверхнею інструменту;
- в умовах різання відбувається пружно-пластичний контакт між поверхнею інструменту та стружкою.

Для оцінки температури на плямах спалаху скористуємось [2] з врахуванням особливостей інструменту з PсBN:

$$T_c = \frac{\sqrt{2} + 1}{2\sqrt{2}} \cdot \frac{\sqrt{\lambda_1 c_1 \rho_1}}{\sqrt{\lambda_1 c_1 \rho_1} + \sqrt{\lambda_2 c_2 \rho_2}} \cdot \frac{\mu P v_c d}{2 A_r \lambda_2}$$

де  $\lambda$ ,  $c$ ,  $\mu$  – коефіцієнти теплопровідності, теплоємності та тертя відповідно;

$\rho$  – густина;

$d$ ,  $A_r$  – діаметр плями та фактична площа контакту відповідно;

$b$  – активна довжина різальної кромки;

$P$  – навантаження на одиничний виступ;

$v_c$  – швидкість сходу стружки; індекс 2 відповідає матеріалу з більшою твердістю.

З врахуванням розподілу сили та площі контакту при обробці загартованої сталі інструментом із PсBN на пластичну і пружну складові, вираз набуває вигляду:

$$T_c = \frac{\sqrt{2} + 1}{2\sqrt{2}} \cdot \frac{\sqrt{\lambda_1 c_1 \rho_1}}{\sqrt{\lambda_1 c_1 \rho_1} + \sqrt{\lambda_2 c_2 \rho_2}} \cdot \frac{\mu U_{ij} P(v/\xi) d}{M_{ij} A_r \lambda_2},$$

де:  $U_{ij}$ ,  $M_{ij}$  – коефіцієнти, які визначають розподіл навантаження на пластичній ( $i$ ) та пружній ( $j$ ) ділянках контакту, відповідно;

$v$  – швидкість різання;

$\xi$  – усадка стружки.

Діаметра плями і фактична проща контакту за [2], після перетворення визначаються як

$$d = 2\sqrt{2} \left( \frac{\sqrt{r_1 r_2} \cdot R_{max}}{v} \cdot \left[ \frac{2\pi \sqrt{r_1 r_2}}{b} \right]^{\frac{1}{v}} \right)^{0.5}, \quad A_r = \frac{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{r_1 r_2} \cdot R_{max}}{v} \cdot \left( \frac{2\pi \sqrt{r_1 r_2}}{b} \right)^{\frac{1}{v}},$$

де  $N_o$  – навантаження на одиничний виступ;

$v$ ,  $b$  – параметри опорної кривої;

$r_1$  і  $r_2$  – радіус заокруглення одиничної мікронерівності в поперечному і поздовжньому напрямках.

Розрахунки проводилися для випадків чистового точіння загартованої сталі ШХ15 (60–62 HRC) інструментами із PcBN груп ВН (торгова марка «Борсиніт») і ВС (з аморфним покриттям BN<sub>ам</sub>) (табл.): для інструменту із PcBN груп ВН:  $U_i - 0,7; 0,3$ ,  $M_i - 0,6; 1,4$ ; для інструменту із PcBN груп ВС:  $U_i - 0,8; 0,2$ ,  $M_i - 0,6; 1,4$ .

Результати розрахунків показали, що зміна величини температури на плямах спалаху має екстремальний характер як для ділянки пластичного, так і пружного контактів. При цьому, максимальне значення температури на плямах спалаху перевищує 2000 і 1700 °С для ділянки пластичного контакту та 1000 і 800 °С – для ділянки пружного контакту на інструментах із PcBN груп ВН і ВС відповідно. Потрібно відмітити, що значення температури на плямах спалаху для інструментів, оснащених PcBN груп ВН і ВС, відрізняються на 260–370 °С і 90–140 °С відповідно.

Таблиця 1 – Температура на плямах спалаху на ділянках пластичного та пружного контактів інструментів із PcBN груп ВН (чисельник) і ВС (знаменник)

| $v$ , м/с | $S$ , мм/об | $t$ , мм | $T_{с.пл.}$ , °С | $T_{с.пр.}$ , °С |
|-----------|-------------|----------|------------------|------------------|
| 0,5       | 0,14        | 0,2      | 1324/1000        | 568/443          |
| 1,0       |             |          | 1673/1300        | 717/613          |
| 1,5       |             |          | 1865/1512        | 893/781          |
| 2,0       |             |          | 2036/1770        | 1044/893         |
| 2,5       |             |          | 1925/1601        | 865/754          |
| 3,0       |             |          | 1769/1498        | 688/592          |

Висока температура на плямах спалаху обумовлена тим, що фактична площа контакту стружки з передньою поверхнею інструменту на порядок менше номінальної, а також враховуючи те, що при різанні діють досить високі сили, навантаження на поверхні виступів мікронерівностей може досягати величини, достатньої для протікання глибокої пластичної деформації оброблюваного матеріалу, що супроводжується короткочасним виділення значної кількості теплоти в мікрооб'ємі. Теплота, яка виникає в зоні контакту стружки з передньою поверхнею інструменту, локалізується на коротко існуючих фактичних п'ятках контакту, які утворюють сітку теплових імпульсів.

Крім того, в процесі різання в зоні контакту відбувається адгезійна взаємодія інструментального матеріалу з оброблюваним. Результатом такої взаємодії є поява, на контактних ділянках інструменту адгезійних містків зварювання, які постійно виникають та руйнуються в процесі сходу стружки, що приводить до формування короткочасних, імпульсних джерел, теплота від яких доповнює теплоту, які виникає в процесі деформування матеріалу на мікронерівностях інструменту.

Висота та радіус заокруглення мікронерівностей на передній поверхні інструменту впливають по різному на рівень температури спалахів. Зі збільшенням висоти та зменшенням радіусу заокруглення мікронерівностей температура зростає. Це пов'язано з тим, що чим вищі та гостріші мікронерівності, тим менша фактична площа контакту стружки з ними, а тому зростають локальні напруження, наслідком чого збільшується інтенсивність деформації матеріалу стружки та зростає температура на плямах спалаху.

Результати розрахунків показують, що також, як і при різанні алмазним різцем алюмінієвих та титанових сплавів [3], при точінні загартованої сталі інструментами із PcBN груп ВН і ВС, температура на плямах спалаху суттєво перевищує середню температуру різання, а зниження температури на плямах спалаху для інструменту з PcBN групи ВС пов'язана з меншою величиною коефіцієнту тертя між покриттям та матеріалом стружки.

#### Список посилань

1. Клименко, С.А. Аналітична оцінка величини температурних спалахів на контактних поверхнях інструменту з полікристалічних надтвердих матеріалів на основі КНБ / С.А. Клименко, С.Ан. Клименко, В.В. Бурикін // Процеси механічної обробки в машинобудуванні : зб. наук. праць. – Житомир : ЖДТУ, 2012. – вип. 12. – С. 58–66.



2. Крагельский, И. В. Основы расчетов на трение и износ / И. В. Крагельский, М. Н. Добычин, В. С. Комбалов. – М.: Машиностроение, 1977. – 526 с.
3. Müller-Hummel, P. Temperature measurement on diamond-coated tools during machining/ P. Müller-Hummel, M. Lathres // Ind. Diam. Rev. – 1995. – vol. 55, № 2. – P. 78–83.

УДК 621.91

Хавін Г.Л., докт. техн. наук, професор  
Хоу Чживень, аспірант

Національний технічний університет «ХПІ», gennadii.khavin@gmail.com

### **МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ ЗМІНИ ФОРМИ ІНСТРУМЕНТУ І ВТРАТИ ВАГИ ПРИ МЕХАНІЧНІЙ ОБРОБЦІ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Головними особливостями механічної обробки полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) є: поява специфічних дефектів обробленої поверхні таких, як розшаровування, висмикування волокон, розтріскування та високий знос різальних кромek інструменту. Інтенсивне спотворення первісної форми вершини інструменту супроводжується різким погіршенням якості обробленої поверхні. Існує необхідність достовірного прогнозування стійкості інструменту для заданих механічних характеристик матриці та наповнювача, напряму та характеру армування, змісту наповнювача; типу інструменту та геометричних характеристик заточування та технологічних параметрів обробки.

Головним критерієм зношування вершини інструменту при обробці ПКМ в даний час є технологічний критерій, а саме величина зношування по задній поверхні інструменту, яка регламентована різними нормативними документами та стандартами. Ця величина визначається експериментально шляхом вимірювань, які у своїй більшості, трудомісткі та мають суб'єктивний характер. Інший шлях полягає у визначенні втрати ваги до та після обробки.

Базуючись на експериментальних дослідженнях, з ортогонального різання скло- і вуглепластиків, було зроблено ряд якісних висновків з фізичного характеру зношування ріжучої кромки інструменту. Прийнято, що зношування ріжучої кромки (заокруглення) носить асиметричний характер, величина та інтенсивність якого є функцією вихідної геометрії інструменту (початкового заточення), орієнтації армування та технологічних параметрів різання. Було зроблено припущення, що в процесі зношування відбувається зсув початкової вершини заточеного інструменту вздовж передньої поверхні. У процесі зношування змії початкового радіусу вершини інструмента немає, а має місце його переміщення. Тоді в площині вершини інструменту можна обчислити зміну площі і, приймаючи, наприклад, постійну ширину ріжучого інструменту, знайти втрату ваги за деякий проміжок часу.

Приймаючи викладені припущення, була розроблена математична модель, що дозволяє пов'язати величину втрати ваги інструменту та класичне визначення значення зносу по задній поверхні. Модель заснована на геометричних міркуваннях, є однопараметричною та лінійною. Аналітичний апарат математичної моделі дозволяє прогнозувати характер зміни форми та величину втрати ваги ріжучих кромek за рахунок розподілу втрати ваги за геометричною формою інструменту та, головне, по задній поверхні.

Використовуючи відомі експериментальні дані щодо визначення зносу по задній поверхні різця при точінні склопластиків та вуглепластиків, досліджено динаміку втрати ваги та зміну форми вершини різця для різних технологічних параметрів обробки – подачі, частоти обертання та глибини різання. Отримано залежності, що зв'язують експериментальні дані зношування по задній поверхні зі втратою ваги інструменту. Також отримані узагальнені залежності, що пов'язують величину втрати ваги інструменту з технологічними параметрами обробки та тривалістю точіння.



УДК 621.09.08: 681.5

Ковальов В.Д., докт. техн. наук, професор

Кметь І.А., аспірант

Коваленко А.В. аспірант

Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ

## **ВИМІРЮВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТА ПАРАМЕТРІВ ШОРСТКОСТІ ДЕТАЛІ В ПРОЦЕСІ ОБРОБКИ НА ВАЖКИХ ТОКАРНИХ ВЕРСТАТАХ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ СИСТЕМИ АДАПТИВНОГО ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ РІЗАННЯ**

Підвищення ефективності важких токарних верстатів невід’ємно пов’язано зі збереженням та підвищенням точності обробки. В процесі експлуатації важкого токарного верстата відбувається поступове зниження точності обробки аж до втрати паспортних характеристик, які були закладені при проектуванні верстата та досягнуті при виготовленні його деталей та вузлів з високою точністю, подальшого збирання з мінімізацією похибок, монтажу у замовника, налагодження та введення в експлуатацію.

Вирішення проблеми зниження точності обробки деталей на універсальних важких токарних верстатах досягалось за рахунок вибору стратегії обробки деталі, яка полягала у виконанні пробних робочих проходів інструменту, та вимірювань після кожного проходу. Кількість робочих проходів залежала від припуску, що зрізався з оброблюваної поверхні, а глибина різання та подача при кожному проході були однакові.

Так на Новокраматорському машинобудівному заводі при виготовленні корінного валу шахтної підйомної машини на верстаті моделі 1A660 виробництва ПрАТ КЗВВ (м. Краматорськ), проводилася обробка посадкової шийки під підшипник ( $\varnothing 480f7$ , довжина 165 мм, припуск на обробку 8 мм). Після першого проходу було виявлено відхилення на  $-0,02$  мм на початку шийки,  $+0,01$  мм в середині шийки, та  $-0,01$  мм в кінці шийки. Після кожного робочого проходу виконувалися контрольний вимір оброблюваної поверхні, аналіз отриманих вимірювань, розраховувалися поправки траєкторії різального інструменту. Виконувалась корекція глибини різання в контрольних точках безпосередньо в процесі наступного робочого ходу для отримання необхідної циліндричної форми обробки (якщо в результаті попереднього робочого ходу була виміряна бочкоподібність), або поворот верхніх салазок на кутову величину (якщо було виміряно конусність). Слід зазначити, що вираховані в результаті вимірювань поправки не враховували дії факторів, що знижують точність обробки, і при подальшому робочому проході знову з’являлися відхилення від заданих параметрів точності, але значно менші за попередні. Ця стратегія обробки повторювалась до моменту отримання циліндричної поверхні, та вирахування потрібних поправок (зміна глибини різання в контрольних точках, або кут повороту верхніх салазок). Лише після цього виконувався чистовий прохід з внесенням поправок.

Підвищення точності обробки деталей на важких токарних верстатах з ЧПК досягалось за рахунок схожої стратегії обробки, яка полягала у виконанні одного чи двох пробних робочих проходів інструменту та вимірювань після кожного проходу, з наступною корекцією керуючої програми шляхом прописування скоригованої траєкторії руху вершини різального інструменту. Кількість робочих проходів також залежала від припуску що зрізався з оброблюваної поверхні, а глибина різання та подача при кожному проході були однакові. Для підвищення ефективності важких токарних верстатів доцільно впроваджувати систему адаптивного оптимального управління, яка буде мати в собі систему з лазерних триангуляційних датчиків вимірювання відстані, яка в свою чергу буде поєднана з системою ЧПК верстата через PLC модуль. Це дозволить проводити вимірювання форми оброблюваної поверхні безпосередньо під час обробки деталі без зупинки процесу обробки та вираховувати величину відхилення, компенсувати її шляхом

збільшення або зменшення глибини різання. Діапазон виміру таких датчиків складає від 5 мм до 1000 мм, точність виміру до  $\pm 2,5$  мкм.

УДК 621.923

**Лавріненко В.І.,** докт. техн. наук, професор

**Полторацький В.Г.,** канд. техн. наук

**Скрябін В.В.,** канд. техн. наук

Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, м. Київ, lavrinen52@gmail.com

**Солод В.Ю.,** канд. техн. наук, доцент

**Кашинський І.С.,** асистент

**Гумаров О.В.,** аспірант

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське, v\_solod@ukr.net

## **СУЧАСНІ РОЗРОБКИ В НАНЕСЕННІ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПОКРИТТІВ ІЗ НАЯВНІСТЮ БОРВМІСНИХ СПОЛУК НА ЗЕРНА ШЛІФПОРОШКІВ АЛМАЗІВ**

Покриття із вмістом борвмісних сполук на зернах алмазів та у алмазних композитах є одним з важливих факторів впливу на зміну їх властивостей. Враховуючи, що цей напрямок активно розвивається, в даній роботі нами зупинена увага саме на сучасних напрацюваннях, які є у наукових публікаціях за останні 5 років, у введенні в функціональні покриття борвмісних сполук та на особливостях їх впливу на поверхню зерен алмазів.

Позитивна дія бору досліджена в статті [1], де алмаз, легований бором (0,2 % за масою), показав значно більшу стійкість до окислення, ніж чистий алмаз. Максимальна швидкість окислення змістилася з 773 °C для чистого алмазу до 1118 °C для алмаза, легованого бором. SEM-аналіз поверхні частково окислених алмазів засвідчив, навіть такого низького вмісту бору достатньо для утворення захисного шару  $B_2O_3$  і саме цей шар, за думкою авторів [1], є чинником підвищеної стійкості до окислення.

Це в певній мірі знайшло підтвердження і в статті [2], де були досліджені захисні покриття з карбиду титана-бора на алмазних частинках. Результати засвідчили, що вміст бора є важливим для адгезії Ti у покритті Ti–B–C. Таке покриття з вмістом бора 60 ат. % захищало алмаз від окислення більше 1 години при нагріві до 1000 °C у повітрі. В той час як втрата маси алмазу спостерігалася після нагріву до 1000° C для Ti–B–C-покриття із вмістом бору 11 ат. %. При відпалі алмаза з покриттям в повітрі апріорно утворені  $B_2O_3$  та  $TiO_2$  захищали алмаз від окислення, виступаючи у якості кисневонепроникних шарів. Крім того, утворенням рідкого  $B_2O_3$  вдалося уникнути розшарування  $TiO_2$ , викликаного об'ємним розширенням під час окислення. Тим часом, наявність  $TiO_2$  забезпечує тривалий захист за рахунок зменшення випаровування  $B_2O_3$  [2].

Борвмісні сполуки у покриттях можуть бути нанесені технологією термовибухового синтезу [3]. Застосовуючи змішаний порошок Cr/Al/B/алмаз у якості сировини, на поверхні алмаза методом термовибухового синтезу було сформоване багатокомпонентне композиційне покриття на основі CrB–AlN. Досліджений вплив захисної атмосфери (N або Ar), вміст Al у фазовому складі, мікроструктури зв'язуючого і покриття. Результати засвідчили, що під захистом Ar сировина не піддавалася реакції теплового вибуху. Рихла і пориста об'ємна структура може бути отримана внаслідок реакції теплового вибуху під захистом N. Покриття на поверхні алмаза в основному складається з CrB та AlN і містить інші побочні продукти, такі як  $Cr_5Al_8$  та  $Cr_2AlB_2$  [3].

В роботі [4] багат шарове композиційне покриття cBN/NCD (кубічний нітрид бору та нанокристалічний алмаз) з періодами модуляції 1 мкм, 1,5 мкм та 3 мкм було нанесено за допомогою лінійного іонного джерела радіочастотного магнетронного розпилення та мікрохвильового плазмохімічного осадження з парової фази (MPCVD) на вольфрамокобальтових твердих сплавах (YG6) і кремнієвих підкладках. Встановлено, що із

зменшенням періодів модуляції шорсткість поверхні багат шарових композиційних покриттів cBN/NCD мала тенденцію к підвищення, але механічні властивості значно поліпшилися. При зменшенні періоду модуляції до 1 мкм залишкові напруження композиційного покриття можуть бути знижені, а тріщиностійкість підвищується. Випробування на тертя і знос засвідчили, що зносостійкість багат шарового композиційного покриття cBN/NCD пов'язана з залишковими напруженнями і в'язкістю руйнування, коефіцієнт тертя зберігає стабільність біля 0,12–0,15, а швидкість зносу значно знижується із зменшенням періоду модуляції. Тим самим, в роботі [4] показано, що зменшення періоду модуляції є ефективним способом поліпшення механічних і трибологічних властивостей багат шарового композиційного покриття cBN/NCD.

На позитивний вплив бора звернена увага і в статті [5]. Полікристалічна алмазна вставка (PDC), яка складається з шару полікристалічного алмазу на підкладці з карбіду вольфраму та кобальту WC/Co, широко застосовується у якості бурових доліт. Але недостатня термічна стабільність з-за графітизації і чутливості алмаза до кисню суттєво обмежує застосування PDC для високотемпературних бурових робіт. В дослідженні [5] новий PDC з поліпшеною термічною стабільністю успішно синтезований з алмазними частинками, покритими бором (B), який утворює однорідний бар'єр з карбіду бора ( $B_4C$ ). Він підвищує початкові температури графітизації та окислення до 800 °C і 780 °C відповідно, що на ~100 °C та ~30 °C вище, ніж (700 °C та 750 °C) PDC, спеченого з непокритими алмазними частинками. Бар'єр  $B_4C$  захищає алмазні зерна від прямого контакту з Co-фазою, запобігаючи тим самим кобальт-каталітичній графітизації. Крім того, окислення бар'єру  $B_4C$  відбувається раніше, ніж у алмазних зерен, що запобігає окисленню PDC [5].

Попит на високоякісний карбід бору ( $B_4C$ ) нині зростає, але його вихід є достатньо низьким (40–50 %). В [6] досліджений вплив добавки хлориду натрію (NaCl) на якість і вихід  $B_4C$ , синтезованого карботермічним відновленням з порошкової суміші  $H_3BO_3$ –C. При оптимальній кількості добавки 4 % за масою NaCl чистота, вихід і середній розмір частинок  $B_4C$  збільшується з 93,54 % до 96,28 %, з 88,82 % до 93,56 % і з 24,2 до 43,3 мкм у порівнянні з випадком без добавки. Механізм дії NaCl полягає не в хімічному, а в фізичному впливові на потік  $B_2O_3$ . Добавка NaCl сприяє деполімеризації складної мережевої структури  $B_2O_3$  і ефективно знижує її в'язкість приблизно на 73 %. Це полегшує масопереніс і покращує кінетику реакції і, тим самим, підвищує вихід  $B_4C$  та сприяє росту кристалів, тим самим збільшуючи розмір частинок [6].

#### Список посилань

1. M. Herrmann, B. Matthey, T. Gestrich. Boron-doped diamond with improved oxidation resistance. (2019) *Diamond and Related Materials*. V. 92, February, Pages 47-52.
2. Enhancement of oxidation resistance via titanium boron carbide coatings on diamond particles / Youhong Sun, Chi Zhang, Jinhao Wu, Qingnan Meng, Baochang Liu, Ke Gao, Linkai He (2019) *Diamond and Related Materials*. V. 92, February, Pages 74-80.
3. Coating of diamond by thermal explosion reaction / Baoyan Liang, Zhen Dai, Qi Zhang, Wangxi Zhang, Ruijie Zhang, Ying Liu, Jizhou Zhang, Li Yang (2021) *Diamond and Related Materials*. V. 119, November, 108572.
4. Effect of the modulation periods on the mechanical and tribological properties of cBN/NCD multilayer composite coating / Shuai Tian, Feng Xu, Zhenyu Ma, Qian Zhou, Yanchao Zhao, Zheng Li, Dong Wang, Guang Zeng, Dunwen Zuo (2023) *Diamond and Related Materials*. Volume 132, February, 109628.
5. Thermal stability of polycrystalline diamond compact sintered with boron-coated diamond particles / Xiaohua Sha, Wen Yue, Haichao Zhang, Wenbo Qin, Dingshun She, Chengbiao Wang. (2020) *Diamond and Related Materials*. V. 104. 107753.
6. Effect and corresponding mechanism of NaCl additive on boron carbide powder synthesis via carbothermal reduction / Xin Li, Shuai Wang Dan, Nie Kun Liu, Shu Yan, Pengfei Xing. (2019) *Diamond and Related Materials*. V. 97. 107458.

УДК 621.38

Калафатова Л. П., докт. тех. наук, професор

Носов Р. О., бакалавр

Донецький національний технічний університет, м. Покровськ, м. Луцьк

[lydmila.kalafatova@gmail.com](mailto:lydmila.kalafatova@gmail.com)

## АНАЛІЗ ВАРІАНТІВ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ В УМОВАХ СУЧАСНИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ ВИРОБНИЦТВ

Інтенсифікація сучасного машинобудівного виробництва супроводжується необхідністю вирішення складних завдань підвищення продуктивності механічної обробки деталей різних класів. Це вимагає проведення аналізу структури гнучких виробничих систем (ГВС) і ситуацій, які виникають під час їх експлуатації, що і є метою даної роботи.

Під структурою гнучкої технологічної системи розуміють її виробничо-технічну організацію. Технічно структури ГВС реалізуються набором верстатного обладнання на базі ЧПУ, транспортно-завантажувальних засобів для переміщення заготовок, а також засобів керування і додаткових пристроїв, що забезпечують життєдіяльність системи.

Аналіз варіантів структури і елементів ГВС базується на результатах їх моделювання, яке може бути виконано з використанням імітаційних моделей або моделей натурного типу [1]. Імітаційні моделі можна уявити математичними об'єктами, що схематизують елементи реальної системи ГВС. Ці моделі мають значні переваги, які дозволяють на етапі проектування прогнозувати основні параметри ГВС по сукупності обраних критеріїв (наприклад, продуктивності, надійності при експлуатації тощо). Але такі моделі, будучи машинно-орієнтованим, не є повністю адекватними до реальних умов обробки, що притаманно натурному моделюванню структури і елементів ГВС.

Тому для моделювання структури ГВС механічної обробки деталей типу «корпус» (приклад деталі наведений на рис. 1), як одного з поширених у машинобудуванні видів продукції, був використаний принцип натурного моделювання зі створенням так званих технологічних моделей ГВС різного рівня автоматизації. Ці моделі у комплексі включають: основне обладнання – верстати з ЧПУ різних конструкцій; транспортні системи; варіанти завантажувальних пристроїв, в тому числі на базі промислових роботів (ПР); систему керування, які призначені для обробки деталей названого класу.

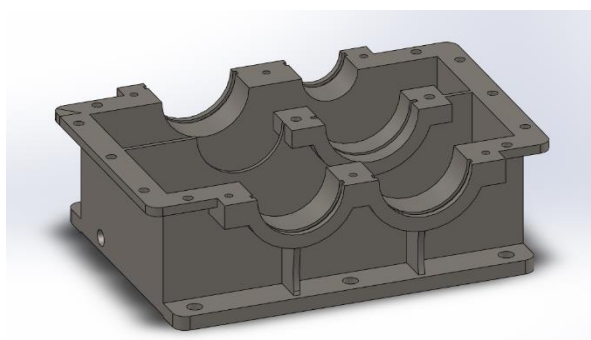


Рис. 1 – Тривимірна модель деталі-корпус

фрезерування і свердління площини, і якому передують операції підготовки бази – підшви корпусу.

Перший варіант – використання багатоопераційного верстату-напівавтомату з ЧПУ, на якому можна виконувати операції обробки корпусу. На ньому автоматизовані усі допоміжні переміщення всередині робочої частини циклу обробки: підвід і відвід інструменту;

Ефективність порівнювальних варіантів оцінювалася величиною штучного часу  $T_{шт}$  [2] обробки деталі, як суми часу циклу автоматичної роботи обладнання за програмою  $T_{ца}$  і часу виконання допоміжної роботи  $T_d$ , наперед за все, пов'язаної із завантаженням і розвантаженням технологічного обладнання.

Розглянемо наступні варіанти реалізації процесу обробки площини роз'єму корпусу (див. рис. 1), що включає операції

перестановка інструментів, що знаходяться в інструментальному магазині; послідовність виконання всіх елементів циклу; переключення технологічних режимів; зміна координат обробки і управління їх величиною тощо. Вони впливають на величину  $T_{ца}$ , яка в цих умовах з урахуванням безпосередньо процесу різання є сумою часу всіх перерахованих дій.

Від способів завантаження-розвантаження верстату, які можуть реалізовуватися вручну або з використанням автоматизованих завантажувальних пристроїв, наприклад, ПР, залежить величина часу допоміжної роботи  $T_d$ .

Виходячи з цього, цикл обробки виробу в таких умовах визначається як сума часу виконання перерахованих вище операцій. А сам верстат незалежно від об'єму інструментального магазину, якщо не використані інші конструкції інструменту (наприклад, багатоінструментальні головки), залишається одноінструментним, оскільки одночасно може працювати тільки один інструмент, крім того суміщення робочих і холостих ходів у часі відсутні. Тому його продуктивність порівняно з обробкою на звичайних універсальних верстатах збільшиться не більше ніж на 40-60%. Такий варіант може бути доцільним для використання в умовах дрібносерійного виробництва.

Другий варіант – обробка корпусу при тих же режимах різання на автоматичній лінії з агрегатних верстатів з ЧПУ (рис. 2), при розробці структури якої використовуються принципи диференціації технологічного процесу і суміщення операцій [2].

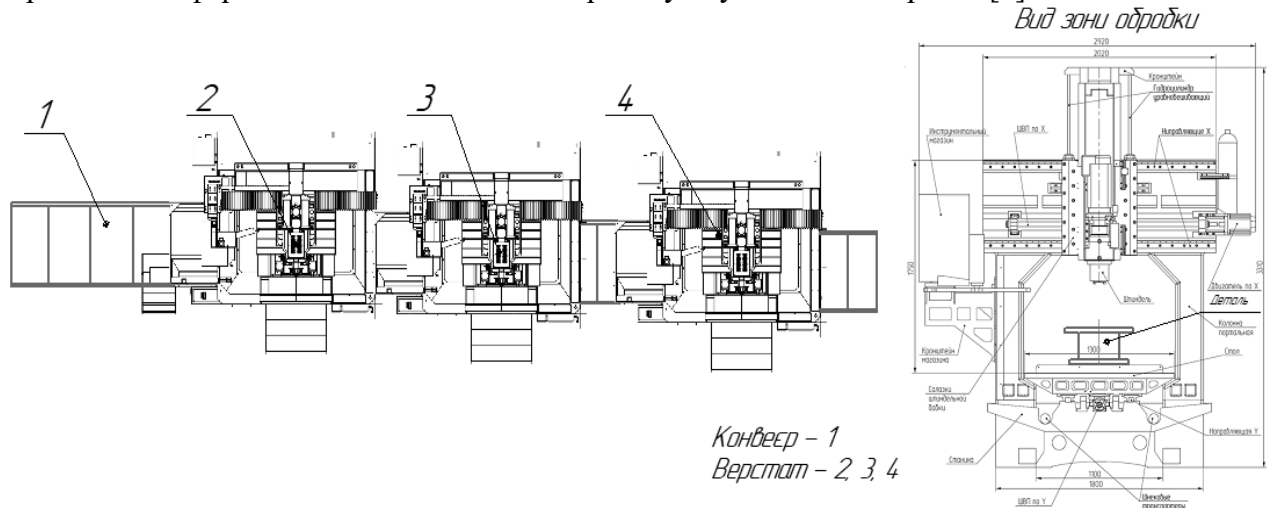


Рис. 2 – Компонувальна схема обробки деталі «корпус»

АЛ складається: з верстатів 2 і 3, на яких послідовно відбувається чорнове і чистове фрезерування площини роз'єму корпусу; верстату 4, призначеному для свердління отворів; транспортно-завантажувальної системи на базі конвеєра 1. Цикл обробки буде дорівнювати сумі часів реалізації найбільш тривалої операції обробки і транспортного переміщення заготовок на крок між позиціями лінії. Встановлено, що використання АЛ аналогічного типу дозволяє в залежності від конструкції оброблюваної деталі при високій гнучкості системи підвищити продуктивність обробки у порівнянні з попереднім варіантом до 10 разів і рекомендувати такий варіант обробки для умов великосерійного і масового виробництва.

Таким чином, встановлено суттєвий вплив варіанту компоновки технологічного обладнання на ефективність реалізації технологічного процесу обробки групи деталей, в нашому випадку – деталей типу «корпус», при різних типах виробництва.

#### Список посилань

1. Любимов В.И. Организационно-технические основы гибкого автоматизированного производства / В.И. Любимов, К.Е. Белявин. – Минск: Белорусский национальный технический университет. – 2012. – 200 с.

2. Капустин А.М. Автоматизация машиностроения / А.М. Капустин, Н.П. Дьякова, П.М. Кузнецов; Под ред. А.М. Капустина. – М.: Высшая школа, 2003. – 223 с.

УДК 621.791:389

Тонконогий В.М., докт. техн. наук, професор

Голофєєва М.О., канд. техн. наук

Левинський О.С., старший викладач

Клімов С.В., аспірант

Національний університет «Одеська політехніка», [mgolofeyeva@gmail.com](mailto:mgolofeyeva@gmail.com)

## ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ДЕФЕКТОСКОПІ ВИРОБІВ З НЕМЕТАЛЕВИХ ГЕТЕРОГЕННИХ МАТЕРІАЛІВ МЕТОДОМ АКТИВНОЇ ТЕРМОГРАФІЇ

Основною задачею роботи є розробка оптимальних алгоритмів визначення кожного дефекту виробу з неметалевого гетерогенного матеріалу з встановленням точного його розташування, в тому числі, глибини залягання, а також його геометричних параметрів. На сьогоднішній день одним з найбільш перспективних для дефектоскопії виробів із зазначеного класу матеріалів вважається метод теплового неруйнівного контролю [1]. Цей вид дефектоскопії базується на візуалізації теплового поля поверхні об'єкта дослідження за допомогою приладів інфрачервоної техніки та аналізу аномалій цього поля.

При такому підході аналізується змінення температур на поверхні досліджуваного зразка в бездефектній зоні  $T_{\text{бд}} = f(x, y, t)$  та в проекції дефекту  $T_{\text{д}} = f(x, y, t)$  після нагрівання поверхні одиничним тепловим імпульсом кінцевої довжини  $t_{\text{и}}$ .

Залежність температурного контрасту від часу має екстремум  $\Delta T_{\text{max}}$  у момент часу  $t_{\text{м}}$ , який є оптимальним часом спостереження дефекту. Обидва зазначені параметри є основними параметрами амплітудного методу теплового контролю і залежать не тільки від теплофізичних характеристик досліджуваного неметалевого гетерогенного матеріалу, але і від глибини залягання та розмірів безпосередньо дефекту [2].

Суттєвим недоліком безконтактних методів вимірювання температури приладами інфрачервоної техніки є відсутність даних щодо випромінювальної здатності поверхні об'єкта дослідження в умовах експерименту. Здатність об'єкта виділяти інфрачервоне випромінювання може змінюватися, оскільки залежить не тільки від, власне, матеріалу, але і від властивостей поверхні (наприклад, шорсткості, наявності забруднень, масляних плівок і тому подібне) та напрямку спостереження цієї поверхні [3]. Саме невизначеність в задаванні коефіцієнту випромінювальної здатності поверхні об'єкта дослідження є основною складністю у розрахунках температур за результатами тепловізійних вимірювань. А, відтак, це вносить додаткову методичну похибку у результати визначення глибини залягання дефектів в неметалевих гетерогенних матеріалах.

Тому перед тим, як проводити дослідження теплових процесів на поверхнях зразків з метою їх дефектоскопії проводилися визначення коефіцієнту випромінювальної здатності поверхні в реперних точках. До числа останніх обов'язково включалися точки поверхні з відмінним від базового станом поверхні. Наприклад, із іншою шорсткістю, наявністю подряпин, покриттів, плівок і тому подібне, що за термограмою могли сприйматися в якості дефектів. Ця операція обов'язково має проводитися під час дефектоскопії виробів, що були в експлуатації, оскільки стан поверхні в різних точках може суттєво відрізнятися один від одного.

Визначення коефіцієнту випромінювальної здатності проводили в такому порядку. В характерній зоні досліджуваної поверхні без температурних аномалій обиралися реперні точки, температури в яких вимірювалися контактним термометром (термопарою). В цих самих точках вимірювали температуру тепловізором при заздалегідь встановлених параметрах знімання (відбитої температури фону, температурі та вологості навколишнього



середовища, відстані до об'єкта дослідження). У випадку, якщо фіксувалася різниця в результатах вимірювання температур контактним та безконтактним методом, з панелі тепловізору підбирали таке значення коефіцієнту випромінювальної здатності, яке зводило цю різницю до нуля. Отримане таким чином значення коефіцієнту випромінювальної здатності приймали за характеристику поверхні в досліджуваній реперній точці та використовували в подальшому тепловізійному контролі.

За допомогою описаного методу були проведені тепловізійні дослідження контрольних вуглепластикових зразків в даному дослідженні вивчали особливості розподілення температури в дефектній зоні. Проводився аналіз текстури температурного поля в зоні дефекту типу розшарування та бездефектній зонах. На рисунку 1 показана термограма досліджуваної поверхні та графіки змінення температурних контрастів у вказаних точках поверхні з плином часу

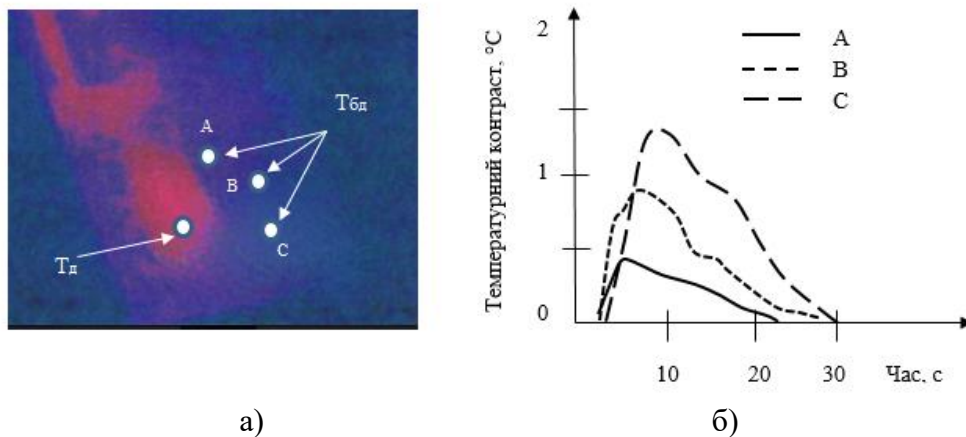


Рис. 1 – Термограма досліджуваної поверхні а) та графіки змінення температурних контрастів у вказаних точках поверхні з плином часу б)

З рисунку видно, що змінення амплітуд контрастів в момент часу  $t_m$  оптимального спостереження дефекту залежить від положення бездефектної зони відносно температурної аномалії (дефектної області). Відповідно, змінюється розраховане значення глибини залягання дефекту. Очевидно, враховуючи, що умови тепловідведення в зонах А, В, та С однакові, можна зробити висновок, що така різниця в показаннях викликана наявністю методичної похибки від неврахування відмінності коефіцієнтів випромінювальної здатності поверхні в реперних точках.

В результаті проведених досліджень теплових процесів на поверхні контрольних вуглепластикових зразків вдалося виявити більшість дефектів (використовувана апаратура не дозволила виявити 15 % закладних дефектів). При цьому, завдяки використанню запропонованої методики виключення методичної похибки, що викликана відмінністю коефіцієнту випромінювальної здатності в досліджуваних точках поверхні, вдалося підвищити точність встановленні глибини залягання дефектів.

#### Список посилань

1. Диагностика композитных материалов элементов самолетов методом активной термографии / [Э.Ю. Гордиенко, Н.И. Глушак, Ю.В. Фоменко, Г.В. Шустакова, И.И. Дзешульская, Ю.Ф. Иванько] // Nauka innov: 2018, 14(2). – С. 39-50
2. Maldague X.P. Theory and Practice of Infrared Technology for Nondestructive Testing. / Maldague X.P. – New-York: John Wiley & sons, 2001. – 682 p.
3. Oborsky G. The effect of surface observation angle on accuracy of non-contact temperature measurement method / Oborsky G., Levinsky O., Holofieieva M. // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2017. – №1/2(33). – с. 19-23.



УДК 621.941.9.06-529

Петраков Ю.В., докт. техн. наук, професор

Романов Я.С., студент

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,

[ypetrakov.86@gmail.com](mailto:ypetrakov.86@gmail.com)**КОРЕКЦІЯ УПРАВЛЯЮЧОЇ ПРОГРАМИ КОНТУРНОГО ФРЕЗЕРУВАННЯ**

Зміна умов різання за формоутворюючою траєкторією при контурному фрезеруванні провокує виникнення похибок, які не можливо компенсувати простим підналадженням (на розмір) управляючої програми, оскільки вона змінюється за контуром в широкому діапазоні. Встановлено [1], що лівова частка похибки формоутворення – це пружні зсуви технологічної обробної системи (ТОС) під дією сили різання.

Для забезпечення необхідної точності при контурному фрезеруванні на верстатах з ЧПК розроблений комбінований метод корекції управляючої програми в частині траєкторії формоутворення, який поєднує управління за апіорною та апостеріорною інформацією. Апіорна інформація про процес різання у вигляді аналога швидкості видалення матеріалу (Material Removal Rate – MRR) отримується в результаті моделювання, а апостеріорна інформація потребує деяких вимірювань в процесі циклу оброблення.

Таким чином, реалізація запропонованого методу вимагає застосування спеціальної технології. В одиничному виробництві відповідальних деталей припуск на останньому проході ділиться навпіл і після оброблення першої половини виконуються вимірювання безпосередньо на верстаті за технологією OMV – On Machine Verification. Результати вимірювань використовуються в спеціально створеній програмі, яка побудована на базі апіорної інформації і в процесі моделювання автоматично створює скориговану траєкторію, за якою обробляється друга половина припуску. В серійному виробництві немає потреби розбивати припуск на останньому проході – така процедура виконується для останнього проходу першої деталі, а всі наступні обробляються за скоригованою управляючою програмою. Моделювання відбувається з використанням розроблених комп'ютерних програм [2].

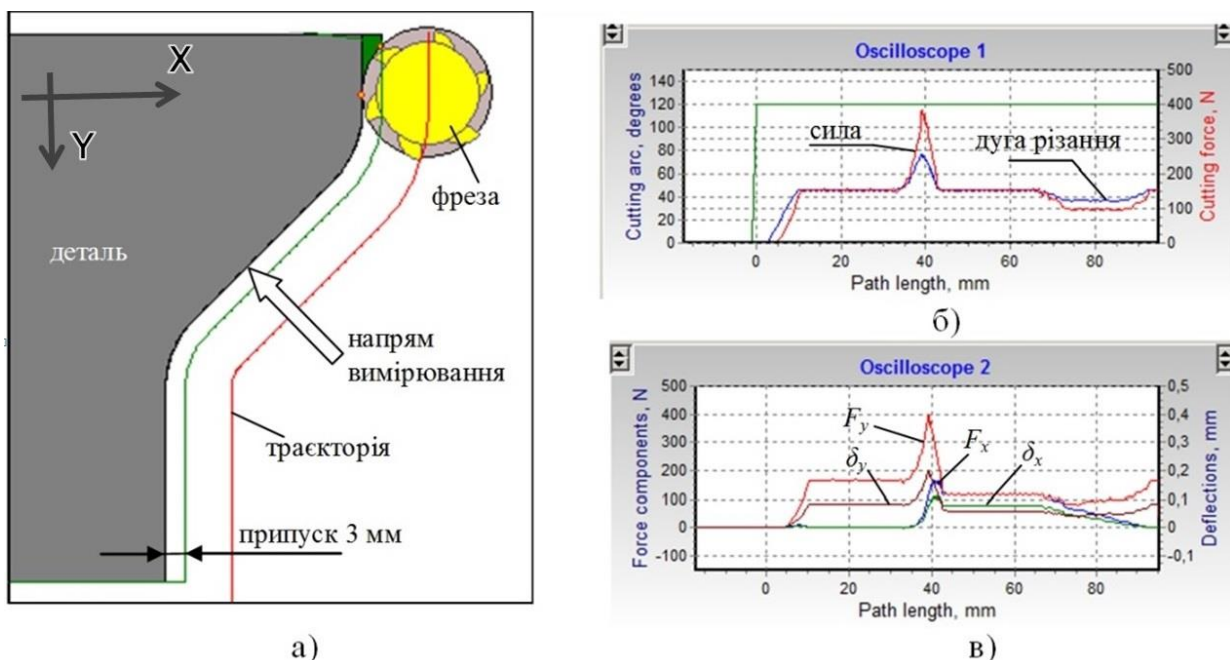


Рис. 1 – Результати моделювання фрезерування контуру: а) графічне вікно б) середня сила та дуга різання в) складові сили різання і деформації за осями координат

Для отримання апостеріорної інформації визначення пружних характеристик ТОС після оброблення необхідно зробити вимірювання в напрямку, що позначений стрілкою на рис. 1, а.

Пружні деформації визначаються як:

$$\delta_x = h \cos(\pi/2 - \alpha) - (x_c - x_a), \quad \delta_y = h \sin(\pi/2 - \alpha) - (y_c - y_a), \quad (1)$$

де  $h$  – задана глибина різання,

$\alpha$  – кут нахилу дільниці контуру,

$x_c, y_c$  – координати за управляючою програмою;

$x_a, y_a$  – координати обробленого контуру.

Отже, для того, щоб величина переміщення  $x_a$  за координатою  $X$  дорівнювала заданій  $x_c$  можна використовувати принцип методу управління за апіорною інформацією, структура якого показана на рис. 2.

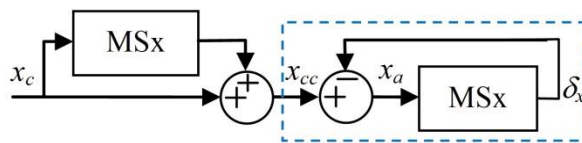


Рис. 2 – Схема управління за апіорною інформацією

У відповідності до схем вимірювань передатна функція  $MSx$  може бути визначена як:

$$MSx = \frac{\delta_x}{x_c - \delta_x}. \quad (2)$$

Аналогічні розрахунки будуть справедливими і для координати  $y$ . Таким чином, проектування скоригованої траєкторії на другому проході виконується чисельним способом у відповідності до схеми рис. 2 за формулами:

$$\begin{cases} x_{cc}[i] = (MSx_c[i] + 1)x_c[i] \\ y_{cc}[i] = (MSy_c[i] + 1)y_c[i] \end{cases} \quad (3)$$

В подальшому для реалізації скоригованої програми необхідно спроектувати управляючу програму скоригованої траєкторії в G-кодах. Для цього можна використовувати розроблені алгоритми представлення масиву даних (3) у вигляді геометричних примітивів – пряма, дуга кола або у вигляді сплайнів.

Апробація розробленого методу корекції траєкторії формоутворення при контурному фрезеруванні за допомогою комп'ютерного моделювання довела його ефективність і спроможність компенсувати похибки, викликані пружними зсувами під дією сили різання. Значною перевагою розробленого методу слід вважати відсутність необхідності застосування експериментальних даних про ТОС, які важко вимірювати на реальному верстаті (жорсткості за координатними осями) та даних, що визначають силові характеристики процесу різання.

Наразі планується натурний експеримент з контролем точності оброблення контуру на фрезерному верстаті з ЧПК.

#### Список посилань

1. Niu J., Xu J., Ren F., et al. A short review on milling dynamics in low-stiffness cutting conditions: Modeling and analysis Journal of Advanced Manufacturing Science and Technology 1 (2021) DOI: <https://doi.org/10.51393/j.jamst.2020004>.
2. Petrakov, Y. V., Myhovich, A. V. (2020). IMachining technology analysis for contour milling. Mechanics and Advanced Technologies, 2 (89). doi: <https://doi.org/10.20535/2521-1943.2020.89.202065>

УДК 621.941-229.3

Луців І.В., докт. техн. наук, професор  
 Волошин В.Н., канд. техн. наук, доцент  
 Лось І.Г., аспірант

Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя, [voloshyn@tk.te.ua](mailto:voloshyn@tk.te.ua)

## ШИРОКОДІАПАЗОННІ ПЛУНЖЕРНО-КЛИНОВІ ТОКАРНІ ПАТРОНИ З ПРУЖНИМИ ЛАНКАМИ

Технологічне оснащення для затиску заготовок при токарній обробці значно впливає на співвідношення продуктивності та гнучкості технологічного обладнання для її реалізації [1]. Ефективність токарної обробки в значній мірі буде визначатися можливістю забезпечення надійного затиску оброблюваних деталей в широкому діапазоні із необхідним затискним зусиллям, яке повинен розвивати токарний патрон в площині затиску, перпендикулярній його осі обертання. Тому розроблення токарних патронів для забезпечення надійного затиску заготовок в широкому діапазоні мінімальною кількістю комплектів затискних елементів та встановлення їх силових характеристик є актуальною науково-практичною задачею.

Розробка широкодіапазонних токарних патронів можлива на основі декількох підходів до структурно-схемного синтезу: збільшенням осьового ходу приводу затиску; використанням в токарних патронах нових фізичних принципів і явищ; застосуванням в токарних патронах двох і більше передавально-підсилювальних ланок [1, 2]. Аналіз проведених досліджень показує, що створення нових конструкцій широкодіапазонних токарних патронів в основному будуватиметься на способах поєднання різних передавально-підсилювальних ланок, їх перестановки, взаємодії з різними елементами, а також введення різних зв'язків [1-5]. В більшості випадків використовується поєднання двох передавально-підсилювальних ланок, що прийнятно з точки зору жорсткості, точності, металоємкості та габаритів [2]. Аналіз також показав, що для забезпечення затиску заготовки без осьового зміщення доцільно використовувати клинову передавально-підсилювальну ланку, як вихідну.

З використанням способу поєднання двох різних передавально-підсилювальних ланок авторами запропоновано конструкцію широкодіапазонних плунжерно-клинових токарних патронів (рис.1), які здійснюють затиск деталі 3 із необхідною силою затиску та забезпечують значну довжину ходу затискних елементів 1.

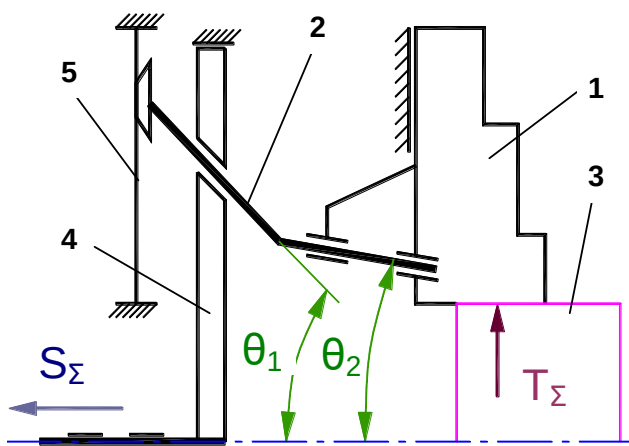


Рис. 1 – Структурно-кінематична схема широкодіапазонного плунжерно-клинового токарного патрона

Їх особливістю є дві послідовно з'єднані передавально-підсилювальні ланки 2. Перша передавально-підсилювальна ланка виконана у вигляді нахиленого під великим кутом  $\theta_1$  плунжера, встановленого в привідній втулці 4, що забезпечує попередній затиск заготовки 3. Друга передавально-підсилювальна ланка, виконана у вигляді клина із малим кутом  $\theta_2 < \theta_1$ , забезпечує створення необхідного зусилля затиску заготовки 3. Після попереднього затиску плунжер торцевою контактною поверхнею деформує пружну ланку 5, виконану у вигляді плоскої пружини, в

результаті чого за рахунок клинової передавально-підсилювальної ланки створюється необхідне зусилля затиску.

На основі аналізу силових потоків у розробленій конструкції широкодіапазонного плунжерно-клинового токарного патрона з діаметром корпусу 210 мм отримано аналітичну модель для оцінки сумарної статичної сили затиску заготовки з урахуванням дії сил пружності пружної ланки, які підтискають плунжери на другому етапі його роботи.

Радіальна сила затиску заготовки, яка припадає на один затискний кулачок:

$$T = \left( S_{np} - \frac{3EI \cdot l_1 \cdot \delta_A}{a_1^2 b_1^2} \right) \left( \frac{\frac{h}{\mu} + 1}{\operatorname{tg}(\theta_2 + \varphi)} - \frac{\mu b + h - 2c}{2l + \frac{h}{\mu}} \right), \quad (1)$$

де  $S_{np}$  – осьова сила приводу, що припадає на один затискний кулачок;

$\mu$  – коефіцієнт тертя між затискним кулачком та його напрямними;

$\theta_2$  – кут нахилу клинової передавально-підсилювальної ланки;

$\varphi$  – кут тертя;

$I$  – момент інерції перерізу пружної ланки;

$E$  – модуль пружності другого роду;

$a_1, b_1$  – відстані від торців пружної ланки до прикладання сили, що діє від плунжера;

$l_1$  – довжина пружної ланки;

$\delta_A$  – деформація пружної ланки в точці прикладання сили, що діє від плунжера;

$b$  – ширина напрямної затискного кулачка;

$l$  – відстань від середини напрямної затискного кулачка до точки прикладання сили затиску  $T$ ;

$h$  – віддаль між силами реакцій в напрямній кулачка.

Для розробленої конструкції широкодіапазонного плунжерно-клинового токарного патрона проведено моделювання статичної радіальної сили затиску від осьової сили приводу та кута нахилу клина другої передавально-підсилювальної ланки. В результаті моделювання встановлено, що при збільшенні кута нахилу клина другої передавально-підсилювальної ланки  $\theta_2$  від  $10^\circ$  до  $20^\circ$  сумарна максимальна статична радіальна сила затиску  $T_\Sigma$  зменшується у 1,72 рази при коефіцієнті тертя в напрямних затискного кулачка  $\mu=0,15$  та у 1,69 раз при коефіцієнті тертя в напрямних затискного кулачка  $\mu=0,25$ . Залежність сумарної статичної радіальної сили затиску  $T_\Sigma$  від осьової сили приводу  $S_\Sigma$  має лінійний характер.

Силовий аналіз широкодіапазонного плунжерно-клинового токарного патрона показав, що він забезпечує затиск заготовок в широкому діапазоні з високим рівнем радіальних сил затиску заготовки за рахунок використання в його конструкції клинової передавально-підсилювальної ланки з малим кутом клина та пружної ланки на кінцевому етапі затиску.

#### Список посилань

1. Зажимные механизмы для высокопроизводительной и высокоточной обработки резанием: монография [Текст]/ Ю.Н. Кузнецов, В.Н. Волошин, П.М. Неделчева, Ф.В. Эль-Дахаби. – Габрово: «Васил Априлов», 2010. – 724 с.
2. Кузнецов Ю.Н. Широкодиапазонные и многофункциональные зажимные механизмы: теория и практика [Текст]/ Ю.Н.Кузнецов, В.Г. Кушик, О.Я. Юрчишин. – К.: ООО «ЗМОК»-ООО «ГНОЗИС», 2011. – 424 с.
3. Хамуйела Ж.А. Герра. Генетико-морфологический синтез зажимных патронов: Монография [Текст]/ Герра Ж. А. Хамуйела, Ю.Н.Кузнецов, Т. О. Хамуйела. – Луцк: Вэжа-Друк, 2017. – 328с.
4. Кузнецов Ю.М., Затискні механізми токарних верстатів з адаптивними властивостями [Текст]/ Ю.М. Кузнецов, І.В. Луців, В.Н. Волошин// Матеріали Всеукраїнської науково-практичної

конференції «Обладнання і технології сучасного машинобудування». – Тернопіль, ТНТУ, 2017. – С. 99-100.

5. Кузнецов Ю.Н. Принципы создания самонастраивающихся и широкодиапазонных зажимных механизмов [Текст]/ Ю.Н. Кузнецов, А.А. Вачев – К.: Знание, 1985. – 24 с.

УДК 621.9.06-52

**Шевченко О.В., докт. техн. наук, професор**

**Бсляєва А.Ю., канд. техн. наук, доцент**

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,  
o.shevchenko@kpi.ua

## **ЕФЕКТИВНІСТЬ ВІБРАЦІЙНОГО ДРОБЛЕННЯ СТРУЖКИ ПРИ ТОКАРНІЙ ОБРОБЦІ**

В умовах автоматизованого виробництва дроблення та відведення стружки набуває особливого значення, коли її накопичення порушує автоматичний цикл роботи верстата. При швидкісному точінні високолегованих сталей і ряду сплавів кольорових металів зазвичай утворюється зливна стружка, яка обмотується навколо різцетримача та оброблюваної деталі, заважає спостереганню за процесом обробки, захащує робоче місце, незручна для видалення з верстата, є травмонебезпечною для робітника.

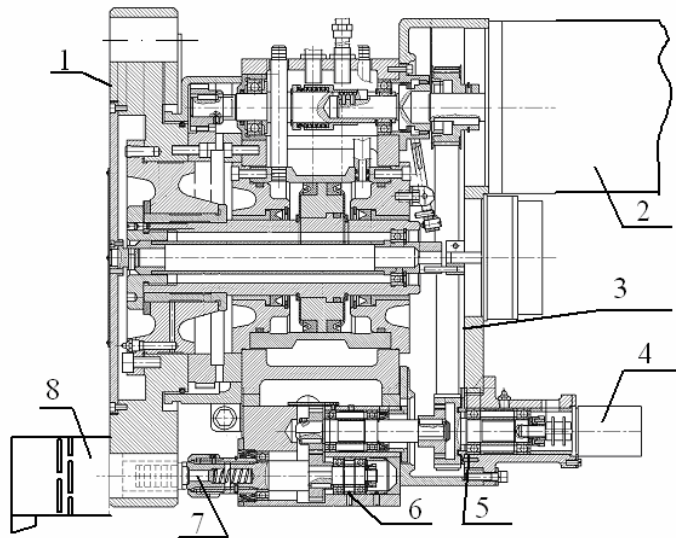
Процес дроблення стружки на верстаті поділяється на різання з постійними та зі змінними параметрами. При різанні з постійними параметрами забезпечується незмінність швидкості різання, подачі і глибини в межах даної технологічної операції, а стружка може подрібнюватись шляхом механічного чи теплового дроблення. При різанні зі змінними параметрами найбільш ефективним є спосіб вібраційного різання, який полягає у додаванні до традиційних формуютьовуючих рухів вібраційного руху інструменту відносно заготовки, в результаті чого різальна частина інструменту здійснює суму рухів подачі та додаткового вібраційного. Однак, цей спосіб потребує введення в конструкцію верстата додаткових механізмів для створення коливальних рухів різального інструменту в діапазоні до 200 Гц з амплітудами до 0,5 мм та синхронізації їх з обертанням заготовки [1].

Метою дослідження є підвищення ефективності точіння з дробленням стружки шляхом використання різцетримачів з пружною частиною для забезпечення заданого амплітудно-частотного діапазону коливальних рухів різця та режимів вібростійкого різання.

Напрямки вібрацій різця можуть бути лінійні та кутові. При лінійних вібраціях інструмент відносно заготовки здійснює прямолінійні коливання, які паралельні одній з координатних осей. Різання з осьовими вібраціями в напрямку поздовжньої подачі впливає на зміну площі зрізу та дещо підвищує шорсткість обробленої поверхні по відношенню до різання з рівномірною подачею. При різанні з радіальними вібраціями інструмент відносно заготовки здійснює коливальні рухи в напрямку поперечної подачі. Різання з радіальними вібраціями є досить ефективним на операціях з поперечною подачею. Особливістю процесу різання з тангенціальними вібраціями є практично незмінні розміри площі зрізу, значні коливання за один цикл швидкості різання з можливим перевищенням швидкості основного різання та незмінні якісні характеристики обробленої поверхні.

Для математичного опису пружної системи верстата в його технологічній системі виділено систему інструменту, що здійснює домінуючий вплив на процес дроблення стружки. До складу пружної системи інструменту входять парціальні системи різець-супорт, супорт-привод подач та привод коливальних рухів різця. В сучасних токарних верстатах з ЧПК привод подач складається з високомоментного двигуна, пасової (зубчастої) передачі, передачі гвинт-гайка кочення та датчика зворотного зв'язку. Крім того, супорт містить накопичувач інструменту – револьверну головку, в робочу позицію якої підведений привід для обертання інструментального шпинделя тримачів інструменту при виконанні

свердильно-фрезерних операцій. Саме цей привід може бути використаний в якості проводу коливальних рухів різця (рис. 1).



1 – планшайба; 2 – двигун приводу повороту планшайби та інструментального шпинделя;  
3 – пасова передача; 4 – датчик зворотного зв'язку; 5 – вал зв'язку з датчиком 4; 6 –  
приводний вал різцетримача; 7 – муфта з торцевою шпонкою; 8 – різцетримач для  
дроблення стружки

Рис. 1 – Револьверна головка верстата моделі ІП420ПФ40

Для реалізації процесу точіння з дробленням стружки на токарно-револьверних верстатах розроблено ряд ефективних конструкцій різцетримачів з пружними елементами в приводі коливальних рухів різця в осьовому [2] та в тангенціальному [3] напрямках.

Результатами досліджень математичної моделі процесу дроблення стружки встановлено наступне: - надійне дроблення стружки в напрямку осьової подачі при осьових вібраціях різця головним чином залежить від співвідношення амплітуди коливань і величини осьової подачі різця із врахуванням умови непарності співвідношення частот обертання деталі та коливань різального інструменту; - для надійного дроблення стружки при тангенціальних вібраціях різця необхідні більші ніж при осьових вібраціях амплітуди, однак інтенсивність дроблення стружки при цьому можна підвищити створенням таких перемінних умов різання, при яких швидкість коливальних рухів різця буде перевищувати швидкість різання, перетворюючи процес безперервного різання в перервний.

Результатами теоретичних та експериментальних досліджень підтверджена ефективність використання пружного елемента у вигляді прорізної пружини направленої жорсткості [2] для осьових вібраційних рухів різця, а саме: - забезпечення необхідного амплітудно-частотного діапазону коливальних рухів різця при радіальній жорсткості не нижче  $C_y=20$  Н/мкм; - надійне дроблення стружки при обробці конструкційних і нержавіючих сталей в діапазоні швидкостей різання 50...170 м/хв. і глибини різання до 2 мм. При цьому погіршення якості обробленої поверхні на чорнових та напівчистових режимах різання не перевищує 6 % по відношенню до обробки штатним різцетримачем верстата, а позитивний ефект від дроблення стружки компенсує цей недолік.

#### Список посилань

1. Шевченко О.В., Беляєва А.Ю. Ефективне дроблення стружки при токарній обробці // Технологія і техніка друкарства / Збірник наукових праць – Київ: НТУУ „КПІ”, 2010. Вип. 4(30). - с.131 – 137.
2. Різцетримач: Деклараційний патент України № 43535: МПК В23В 25/00 Оpub. 25.08.2009, Бюл. № 16. – 3с. (автори Шевченко О.В., Беляєва А.Ю.).
3. Різцетримач: Деклараційний патент України № 38139: МПК В23В 25/02 Оpub. 15.05.2001, Бюл. № 4. – 3с. (автори Шевченко О.В., Кравець О.М., Халіль М.Х. Аль-Башити).



УДК 621.09.02

Клименко Г.П., докт. техн. наук, професор  
Васильченко Я.В., докт. техн. наук, професор  
Шаповалов М.В., канд. техн. наук, доцент  
Хорошайло В.В., канд. техн. наук, доцент  
Сікорський А.О., магістр

Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, [harleymax1979@gmail.com](mailto:harleymax1979@gmail.com)

## ОПТИМАЛЬНІ СТРАТЕГІЇ ЗАМІНИ ІНСТРУМЕНТУ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОХ СИСТЕМИ

Оптимальне динамічне планування профілактичних заміни різального інструменту дає змогу забезпечити раціональний рівень надійності технологічної системи [1, 2].

В якості критерія оптимальності прийняті середні витрати на відновлення за одиницю часу (інтенсивність витрат на відновлення) і коефіцієнт готовності. Порівняння цих критеріїв з відповідними критеріями для стратегії аварійних заміни дозволяє оцінити ефективність стратегії відновлення.

Розглядаючи технологічну систему, в якій найбільш слабкою ланкою є різальний інструмент і працездатність якого головним чином залежить від його стану, прийняті наступні припущення:

1. Система знаходиться в одному з двох станів: працездатності або відмови. Перехід зі стану працездатності в стан відмови настає в результаті раптової відмови (крихке руйнування різального інструменту).

2. Розподіл періоду стійкості різального інструменту, який не суперечить одному з законів: експоненціальному, нормальному або закону Вейбулла – Гнєденко. Відповідна щільність розподілу являється безперервною.

3. Процес функціонування системи триває досить довго в порівнянні з часом відновлення.

4. Після процесу відновлення системи миттєво починає роботу.

Загальним для всіх стратегій відновлення є те, що через певні випадкові або детерміновані проміжки часу проводиться повне оновлення системи. Тим самим час функціонування системи поділяється на цикли, тобто на інтервали, стохастичні еквіваленти щодо довжини і витрат. Відновлення працездатності технологічної системи відразу після відмови інструменту називають аварійними. Відмови інструмента можуть бути раптовими і поступовими. Відновлення при раптових відмовах поділяють на строго періодичні, відновлення блоками, мінімальне аварійне, відновлення з періодичною повною заміною. Крім того, розглядають відновлення при різних типах відмов, відновлення дубльованих систем, відновлення при поступових відмовах. Розглянуті 6 різних стратегій заміни інструменту і проаналізовані раціональні умови їх використання.

Розроблено математичні моделі для визначення оптимальних інтервалів відновлення роботоспроможності різального інструменту для забезпечення заданного рівня надійності технологічної системи.

Ефективність кожної з наведених стратегій заміни інструменту залежить від середніх витрат на відновлення роботоспроможності свого інструменту і закону розподілу його стійкості, від якого, в свою чергу, залежить коефіцієнт готовності.

### Список посилань

1. Клименко Г. П. Якість та надійність технологічних систем: навчальний посібник для студентів технічних спеціальностей. / Клименко Г. П., Васильченко Я. В., Шаповалов М. В. – Краматорськ: ДДМА, 2018. – 199 с.



УДК 621.9.014.

Четвержук Т.І., канд. техн. наук, доцент  
Повстяной О.Ю., докт. техн. наук, професор

Редько Р.Г., канд. тех. наук, доцент

Полінкевич Р.М., канд. тех. наук, доцент

Залета О.М., канд. тех. наук, доцент

Луцький національний технічний університет, [eti\\_tar@ukr.net](mailto:eti_tar@ukr.net)

## ПРОЕКТУВАННЯ МАЛОГО ВЕРТИКАЛЬНО-ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТА З ЧПУ НА МОДУЛЬНІЙ ОСНОВІ ЗА ДОПОМОГОЮ CAD / CAM СИСТЕМ

В сьогоднішній день ремонт та виготовлення деталей, а саме проводити механічну обробку різних матеріалів, можуть реалізовувати не лише спеціалізовані виробництва, але й в не великі цехи та майстерні. Для цього, в залежності від матеріалу, який обробляється та вимог до майбутньої деталі (точність, якість поверхні та ін.), можуть використовуватися різноманітні верстати та інструменти.

Використання токарних та фрезерних верстатів значно зменшує кількість часу та інструментів, потрібних для обробки заготовок та виготовлення деталей.

Зараз на ринку представлена велика кількість верстатів різних фірм: JET, FDB Maschinen, Proxxon, Taig CNC, PureLogic, WMD (рис. 1.). Верстати цих фірм можуть мати як ручне, так і програмне управління верстатом (ЧПУ). Компанії, що згадані вище, в основному спеціалізуються на верстатах токарної та фрезерної груп, з можливістю оброблення дерева, пластиків, кольорових металів та іноді сталі.



а)



б)

Рис. 1 – Фрезерні верстати BZT PF600, Німеччина (а) та Taig CNC Minimill, Китай (б).

Так як номенклатура верстатів, яка доступна на ринку не завжди задовольняє такі вимоги як: точність; жорсткість (обробка сталі); можливість обробки на великих швидкостях (обробка алюмінію); можливість високопродуктивної обробки (знімання припуску  $> 4$  мм за прохід); простота та надійність конструкції; оптимальне співвідношення ціна/якість; можливість використання стандартизованого оснащення.

Тому, врахувавши всі переваги та недоліки вищезазначених фрезерних верстатів, в даній роботі буде спроектовано настільний фрезерний верстат на основі модульного принципу із закуплених вузлів, що задовольнятиме більшість потреб користувачів. Основними критеріями є ціна, габарити, жорсткість та маса верстата.

При розробці моделі особлива увага була приділена простоті компонування елементів конструкції та спрощенню електричної схеми їхнього підключення. Оскільки складові компоненти знаходяться у вільному продажу, це зменшує вартість проекту та відкриває

безліч можливостей модернізації обладнання та розширення його функціональних можливостей. Підібрані та змодельовані вузли верстата за допомогою CAD / CAM систем показані на рис. 2., а 3-D модель самого верстата наведені на рис. 3.



Рис. 2 – Основні вузли проектного малого вертикально-фрезерного верстата з ЧПУ.

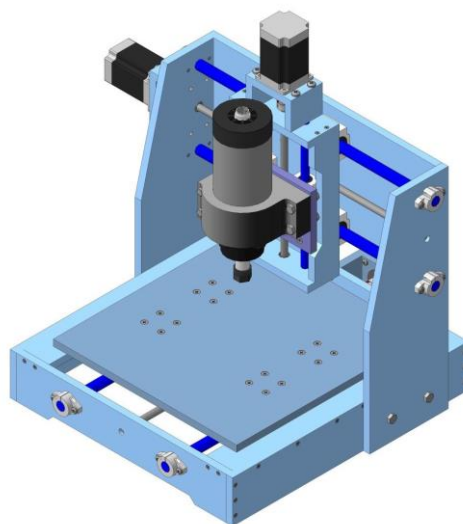


Рис. 3 – Спроектований вертикально-фрезерний верстат із ЧПУ.

Даний верстат може бути платформою для встановлення додаткових робочих інструментів, таких як пристрій для лазерного випалювання та пристрій для тривимірного прототипування (3D-друк). При цьому не потрібно внесення великої кількості змін у конструкцію верстата, а підключення додаткових елементів в електричну схему потребує лише додаткового блоку живлення.

На верстаті може здійснюватися операції свердління, фрезерування та гравірування тривимірних поверхонь. В якості заготовок можуть бути такі матеріали як алюмінієві сплави (з міцністю до 800 МПа), різні пластмаси, та дерева.

Невеликі габаритні розміри верстата в сукупності з відносно великим робочим полем роблять його доступним для використання у невеликих виробничих майстернях.

Керування верстатом проводиться за допомогою персонального комп'ютера. Для управління була обрана програма MACH 3.

Метою даної роботи було отримання готової моделі верстата, що відповідає заданим характеристикам. Для досягнення мети було вирішено наступні завдання:

1. Розроблено конструкцію малого фрезерного верстату із числовим програмним управлінням;
2. Підібрано елементи для механічної частини верстата (за критерієм ціна/якість) та розроблено його систему керування;
3. Розроблено технологічний процес складання верстату на основі проведеного розмірного аналізу;
4. Проведено техніко-економічне обґрунтування ефективності даного верстата (вартість  $\approx 16000,00$  гривень) та розраховано термін його окупності, що становить  $\approx 1,5$  роки.

#### Список посилань

1. Machining and Machine Tools Book by D.N. Naresh, Mohd. Mukhtar Alam, Girish Chitoshiya Paperback, 2013, 2014, Published by Genius Publications 264 pages.
2. Overby, Alan. CNC Machining Handbook: Building, Programming, and Implementation /Overby A. – 1 th ed. – McGraw-Hill Education TAB, 2010. – 272 p.
3. Сухарев Е.А. Параметрична оптимізація машин та обладнання: / Е.А. Сухарев. Навчальний посібник. – Рівне: НУВХП, 2007. – 179 с.
4. Четвержук Т.І., Полінкевич Р.М., Редько Р.Г., Залета О.М., Скляр Р.А. Статистичне моделювання технічних характеристик металорізальних верстатів./ Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». Луцьк, 2021, №71. – С. 322-329.
5. Четвержук Т.І., Полінкевич Р.М., Редько Р.Г., Зубовецька Н.Т. Режим роботи системи ЧПУ верстата в процесі його експлуатації.// Наукові нотатки: міжвузівський збірник наукових праць. – Луцьк, 2019. – Вип. 66. – С. 373-378.

УДК 621.891:621.316

**Широков В.В.,** докт. техн. наук, професор

Українська академія друкарства, м. Львів, [vyshyrovkov@gmail.com](mailto:vyshyrovkov@gmail.com)

**Максимук О.В.,** докт. фіз. мат. наук, професор

Львівський національний університет ім. Івана Франка

**Шахбазов Я.О.,** докт. техн. наук, професор

**Широков О.В.,** канд. техн. наук

Українська академія друкарства, м. Львів, [shah-nika@ukr.net](mailto:shah-nika@ukr.net)

## ВПЛИВ СВИНЦЮ ТА ІНШИХ ЛЕГУЮЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА ЗНОСОТРИВКІСТЬ СТРУМОЗ'ЄМНИХ ВСТАВОК З АЛЮМІНІЄВИХ ПСЕВДОСПЛАВІВ

Економічність, екологічність та конструкційна простота сприяють широкому розповсюдженню електричного транспорту у всьому світі. Проте, необхідність підвищення експлуатаційної надійності та швидкості руху призвела до проблем вибору і розробки матеріалів ковзної трибопари “вставка сторуменознімача – контактний дріт”, оскільки зносотривкість і контактна міцність її елементів, як правило, обмежена [1].

**Мета роботи** - оцінити і експериментально підтвердити можливість підвищення працездатності елементів струменоз'ємних рухомих контактів, шляхом розробки та

впровадження нових матеріалів, зокрема, антифрикційних сплавів та композицій на основі алюмінію.

Створювали та вивчали сплави систем Al-Pb, Al-Sn, Al-Cu-Si-Pb і Al-Cu-Si-Sn. Їх конкретний хімічний склад нанесено на відповідних діаграмах зношування. Відповідні розплави нагрівали на 50-100°C вище температури розшарування розплаву  $T_{розш}$ , витримували за цих температур 10-15 хв. і швидко, з метою зменшення ефекту розшарування, охолоджували у воді. Сплави Al-Sn розливали після нагріву 750°C, Al-Pb - 1100°C. Для вивчення мікроструктури в об'ємі металу та поверхонь тертя використовували мікроскоп МИМ-9 з виходом на комп'ютерний порт. Для експериментальної оцінки зносотривкості пар тертя “контактний дріт – вставка” в умовах тертя, без і з проходженням електроструму, використовувалась розроблені установки для прискорених випробувань за схемами “диск – колодка”, “торець – площина”. Мінімальний шлях тертя 27000 м, контактний тиск 100 Па, швидкість ковзання 10 м/с і з можливим проходженням густини струму 35 А/см<sup>2</sup>. Гравіметричним методом вимірювали втрати маси та визначали об'ємне зношування матеріалів.

**Результати експериментів.** Встановлено, що олово в сплавах Al-Sn розміщено у вигляді сітки по границях зерен алюмінію. Відсутність ліквіації у відливках цих сплавів обумовлена відносно невеликою різницею у густині  $Q$  складових сплаву ( $Q_{Sn}/Q_{Al} = 7,29/2,7 = 2,7$ ) а також близькістю температури розшарування ( $T_{розш}$ ) до температури кристалізації ( $T_{кр}$ ). У сплавах Al-Pb,  $Q_{Pb}/Q_{Al} = 11,3/2,7 \approx 4,2$ , тобто значно більше, ніж у сплавах Al-Sn. Величина різниці ( $T_{розш} - T_{кр}$ ) рівна -400°C. При повільному охолодженні в діапазоні температур  $T_{розш} - T_{кр}$  однорідний розплав встигає розширюватись з утворенням крупних виділень.

Результати фрикційних випробувань сплавів Al-Pb, за умов сухого тертя та тиску 100 Па показали, що зношування зменшується від 0,42 кг/м<sup>2</sup> при вмісті свинцю 2% до 0,37 кг/м<sup>2</sup> при 15% свинцю. З підвищенням контактного тиску залежність зберігається, хоча кількісно зношування зростає (рис. 1). Виділення свинцю по границях зерен алюмінієвої матриці забезпечують «змащуючий» ефект при терті і сприяють зменшенню зношуваності контртіла (мідь).

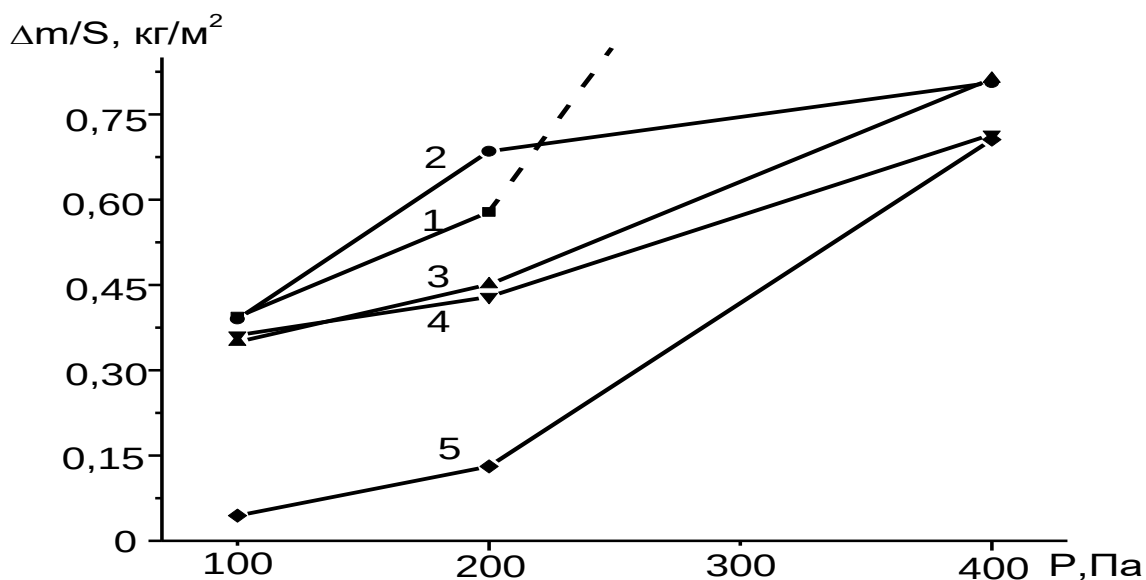


Рис. 1 – Вплив концентрації свинцю на зношування алюмінію: 1 – нелегований алюміній; 2 – 2% Pb; 3 – 10% Pb; 4 – 15% Pb; 5 – Pb.

Покращити протизадирні властивості алюмінію можна шляхом підвищення його твердості, наприклад, легуванням міддю та кремнієм в межах 2 – 4% кожного з інгредієнтів

[3]. Крім того, відомо [1–2], що за тертя вуглеграфіту з мідним дротом на останньому утворюється тонка графітова плівка, яка запобігає схоплюванню. У нашому випадку, для отримання такої плівки, в дослідних зразках розміщували вуглеграфітову вкладку (рис. 2). Вставки з вуглеграфітовими вкладками для натурних досліджень відливали в тонкостінний кокіль із сталі 08Х13, в якому попередньо фіксували вуглеграфітову вкладку. Після заповнення металом (протягом 2-3 секунд) кокіль охолоджували в холодній воді.

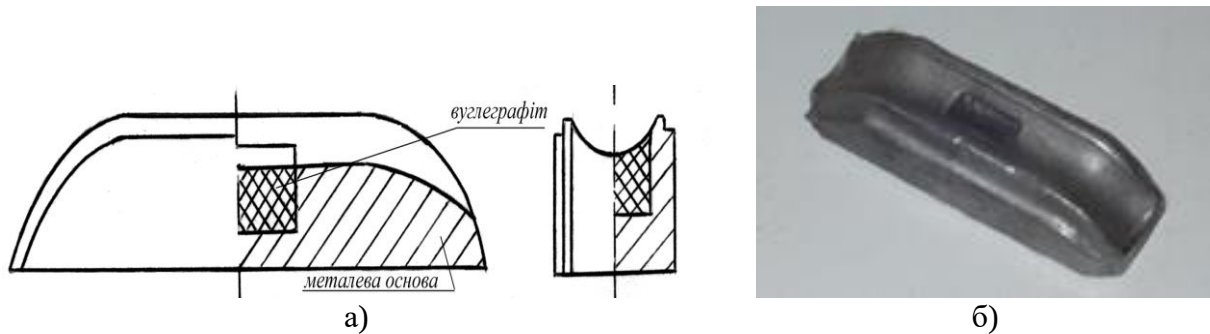


Рис. 2 – Металева вставка вкладка з вуглеграфітовою для струмознімача (а – конструктивні особливості; б – реальний вигляд)

Кількісно зношування сплавів ілюструється гістограмами, наведеними на рис. 3. Заштриховані елементи характеризують знос сплавів з вуглеграфітовими вставками, незаштриховані - без них. Дані щодо зношування мідного контртіла наведено за його контакту із зразками з вуглеграфітовими вставками.

Мінімальний опір зносу демонструють взірці з чистого алюмінію (рис. 3, а). Зношуваність мідного контртіла також дуже висока (рис 3, б). Процес характеризується налипання на дріт, та руйнування наростів алюмінію з відривом частинок міді. Вуглеграфітові вкладки незначно зменшують зношування зразків з нелегованого алюмінію та мідного дроту, але запобігають схопленню між контактуючими металевими поверхнями. Легування алюмінієвої основи міддю, кремнієм і підвищення внаслідок цього твердості сприяє зменшенню схильності до схоплювання, що приводить до значного зниження їх зносу та одночасного зменшення пошкоджуваності мідного дроту.

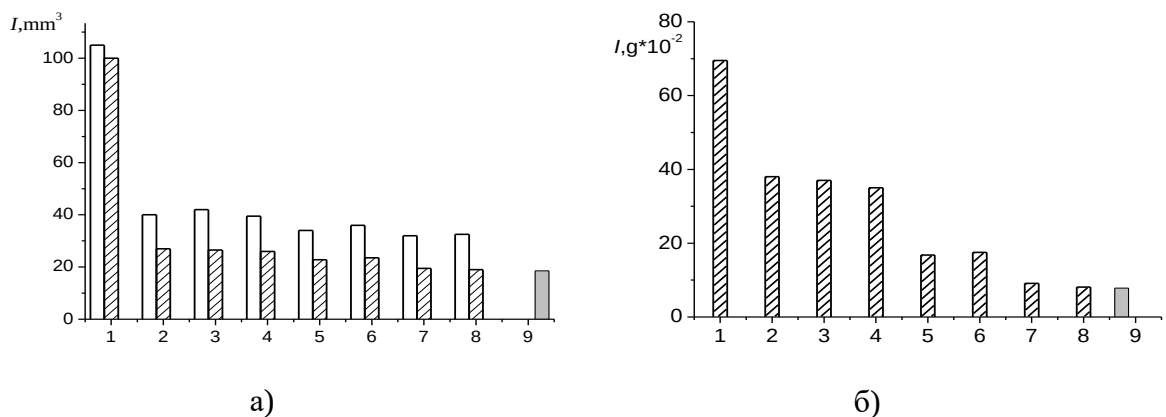


Рис. 3 – Об'ємне зношування матеріалів (а) та гравіметричний показник зношуваності контактного дроту (б) за шляхів тертя  $0,4 \cdot 10^5$  м та  $1 \cdot 10^5$  м відповідно (штрихуванням наведено рівень зношування вставок і дроту із застосуванням вуглеграфітових вкладок): 1 – Al; 2 – Al+4%Cu; 3 – Al+4,5%Si; 4 – Al+2%Cu+2,2%Si; 5 - Al+4,5%Si+10%Sn; 6 – Al+3,5%Cu+10%Sn; 7 - Al+2%Cu+2,2%Si+10%Sn; 8 - Al+2,2%Cu+2,2%Si+15%Pb; 9 – вуглеграфіт.

Різниці в зносотривкості зразків легованих окремо міддю, кремнієм чи обома одночасно (при однаковій твердості) не виявлено. Інтенсивність зношування ними мідного контртіла



приблизно однакова. Тому, з метою економії дорогої міді слід збільшувати в сплавах вміст кремнію.

Добавки в сплави Al-Cu-Si олова, свинцю в межах 10-15% мас підвищують зносотривкість сплавів, і суттєво знижують зношування мідного контртіла (контактного дроту) (рис. 3, а). Суттєвої різниці в трибологічних характеристиках сплавів легованих окремо свинцем чи оловом не виявлено. Це свідчить про доцільність легування свинцем замість дороговартісного олова.

**Висновки.** Встановлено доцільність використання для рухомих контактів електротранспорту комбінованих струмоз'ємних вставок «вуглеграфітова вкладка – металева матриця». В якості останньої – псевдосплав на основі алюмінію з оптимальним співвідношенням твердої основи і пластичної фазової складової. Встановлено, що у випадку легування алюмінію свинцем в межах 10 – 15%, сумарне зношування пари тертя “вкладка – контактний дріт” зменшується на 60%. Кращі результати досягали комплексним легуванням алюмінієвого сплаву міддю та кремнієм в межах 2 – 4% кожного з інгредієнтів. Найвища зносотривкість відповідає сплавам: Al+2%Cu+2,2%Si+10%Sn та Al+2,2%Cu+2,2%Si+15%Pb.

#### Список посилань

1. Трофилов А.Н. Контактные вставки тонкосъемников троллейбусов. / А.Н. Трофилов. – М. Стройиздат, 1966. – 138 с.
2. Вайнштейн В.Э. Сухие смазки и самосмазывающиеся материалы. / Вайнштейн В.Э., Трояновская Г.И. – М.: Машиностроение, 1968. – 270 с.
3. Мондольфо Л.Ф. Структура и свойства Al сплавов. / Л.Ф. Мондольфо. – М.: Металлургия. 1979. – 640 с.
4. Широков В.В. Трибологічні властивості та структурні особливості псевдосплавів системи алюміній-олово / В.В. Широков, О.П. Хлопик // ФХММ, №3. – 2010. – с.80-84

УДК 621.791.03-52

Кузнєцов Ю.М., докт. техн. наук, професор  
Столярчук Д.П., студент

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», [info@zmok.kiev.ua](mailto:info@zmok.kiev.ua)

### АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ ЗВАРЮВАННЯ З МАНІПУЛЮВАННЯМ

Актуальність дослідження зумовлена потребою українських підприємств, що займаються виготовленням спецтехніки, у якісному та універсальному обладнанні за доступну ціну для власного виробництва взамін дороговартісним імпортом.

На даний момент є успіхи у виготовленні букс, штоків та інших елементів гідроциліндрів, проте залишається проблема якісної зварки, оскільки для цього потрібно установку, яка дозволить отримати не тільки красивий шов, а й забезпечуватиме рівномірний та повний провар і, відповідно, повну герметичність гідроциліндра. Створення якісного продукту дозволить не тільки успішно встановлювати його та експлуатувати на власній техніці, а й дозволить вийти вітчизняному продукту на іноземний ринок.

Автоматизований зварювальний процес вимагає маніпулювання заготовками в просторі, тому це призвело до необхідності створення механізмів, які здатні автоматично орієнтувати заготовки, швидко і надійно закріплювати їх, а потім обертати зі швидкістю зварювання в автоматичних ротаційних зварювальних апаратах. Окрім приварювання кришок гідроциліндрів, також важливо якісно приварити фітинги, до яких під'єднуються гідравлічні рукави. Роботи за цим напрямком ведуться.

Запропоновано створювати автоматизовані ротаційні установки і маніпулятори на модульному принципі з використанням системно-морфологічного підходу (рис.1) [1].

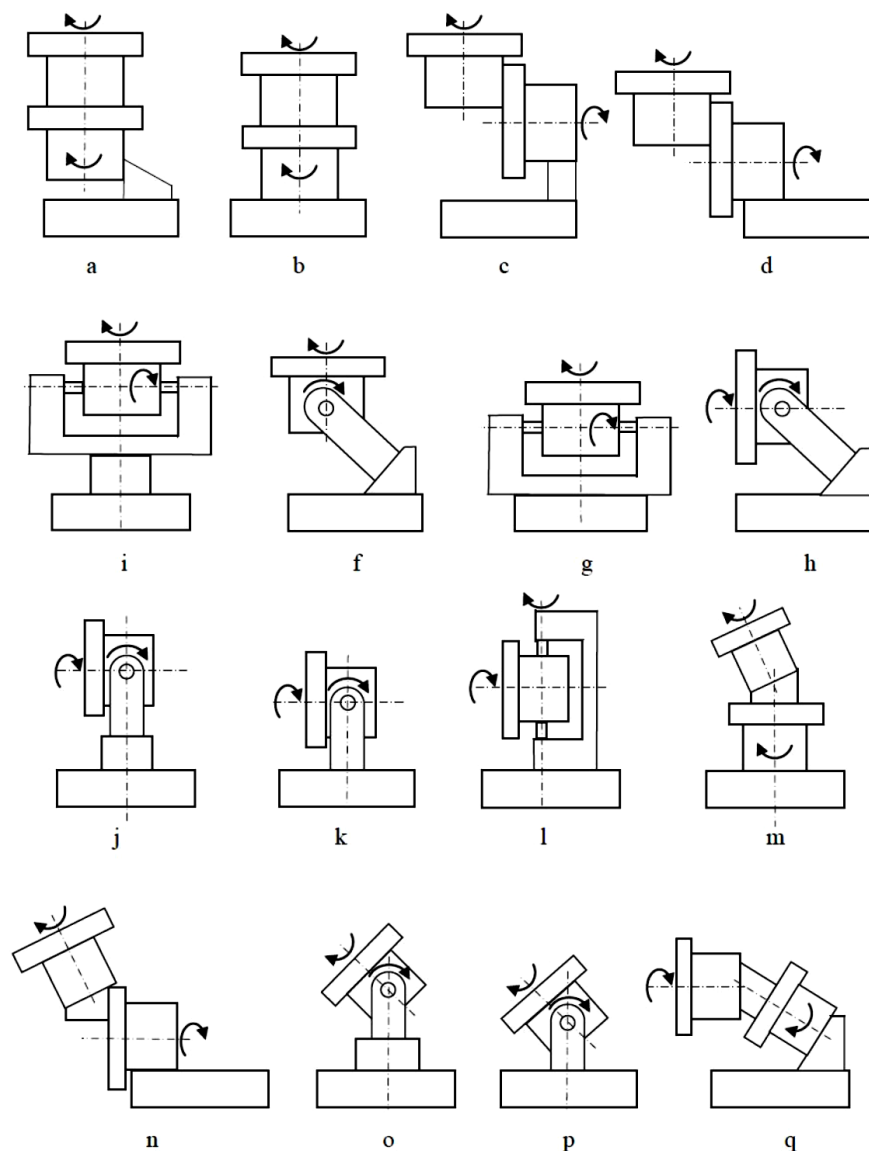


Рис.1 – Синтезовані варіанти пристроїв маніпулювання з модулів

Універсально-поворотні зварювальні пристрої (рис.2) застосовуються майже при всіх операціях зварювального виробництва, таких, як наплавлення, складання, зварювання тощо [2-6].



Рис.2 – Приклади універсально поворотних зварювальних пристроїв



## Список посилань

1. Yurii Kuznietsov. Morphological synthesis of the universal rotary welding device. / Y. Kuznietsov // Journal of the Technical University of Gabrovo. – 66 (2023). – p.p. 1-4
2. <https://www.carpano.it/2017/07/17/hydraulic-cylinders-welding/>
3. [https://www.welkonwelding.com.tr/circular-welding-machine-circular-welding-automation-systems-circular-welding-systems-tank-welding-machine-cylinder-welding-machine\\_5\\_u\\_en.html](https://www.welkonwelding.com.tr/circular-welding-machine-circular-welding-automation-systems-circular-welding-systems-tank-welding-machine-cylinder-welding-machine_5_u_en.html)
4. <https://www.haoyuwelding.com/automatic-welding-machine/automatic-pipe-welding-machine/pipe-and-nipples-automatic-welding-machine.html>
5. <https://samsvar.ru/stati/manipulyator-svarochnyj.html>
6. [http://www.welding.su/articles/additional/additional\\_286.html](http://www.welding.su/articles/additional/additional_286.html)

УДК 621.136.3

Рудь В.Д., докт. техн. наук, професор

Самчук Л.М., канд. техн. наук, доцент

Луцький національний технічний університет, [Samchuk204@gmail.com](mailto:Samchuk204@gmail.com)ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИЦІЙНОГО ПОРИСТОГО МАТЕРІАЛУ

Досліджено композит на основі порошків сталі окалини 18Х2Н4МА, порошку  $Al_2O_3$  і порошку мінералу сапоніту. Але, одним із проблемних питань при створенні керамічних виробів є пошук деякого раціонального співвідношення між величиною пористості та міцністю матеріалу. Відомо, що пористість негативно впливає на властивості кераміки, що більшою мірою стосується механічних властивостей, за рахунок того, що, по-перше, пори, залежно від їх розподілу за розмірами, геометричною формою та їх об'єднання у канали, відіграють роль, швидше, концентраторів механічних напружень ніж релаксаторів. По-друге, керамічні матеріали відрізняються, як правило, високою крихкістю [1, 2]. Механічні властивості керамічних композитів суттєво залежать від тиску формування зразків і температури спікання. Характерною характеристикою механічних властивостей керметів є твердість. Твердість спеченого зразка вимірювали, використовуючи мікротвердомір за Віккерсом при навантаженні 1,96 N (300 g) протягом 15 с. Результати випробувань представлені на рис. 1.

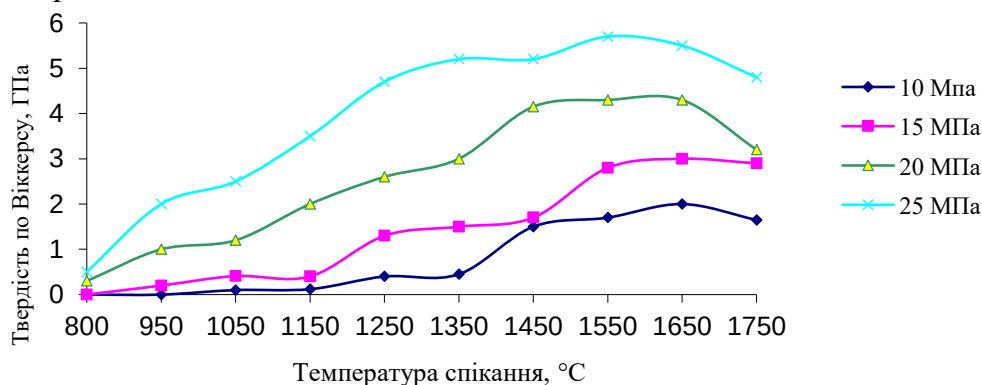


Рис. 1 – Твердість матеріалу в залежності від тиску пресування та температури спікання

Рисунок 1 показує залежність твердості по Віккерсу спеченого зразка у вигляді функції від температури спікання та тиску їх формування. З графічної залежності видно, що найнижча твердість вимірювана для всіх зразків спечених при 800°C в той час як максимальне значення твердості зафіксоване для всіх зразків спечених при температурі 1600 °C. Рисунок 2 показує, що твердість зростає від 800 до 1600 °C, однак при подальшому підвищенні температури (значення вище ніж 1600 °C) ця тенденція не спостерігається.

Температура спікання нижче 1400 °С не дає можливості утворенню суттєвої кількості інтерметалідів з оксидів металів, а проходить лише часткове введення атомів алюмінію в залізо. Твердість для всіх зразків спресованих при тисках 10 – 25 МПа і спечених при температурі від 800 до 1650 °С була вищою, ніж мінімальна межа 35 МПа для кераміки як вимагає стандарт. Із залежності видно, що твердість для зразків спресованих при тиску 10 МПа різко збільшується з збільшенням густини. Для зразків спресованих при тисках 15, 20, 25 МПа твердість корелює зі зміною об'ємної густини.

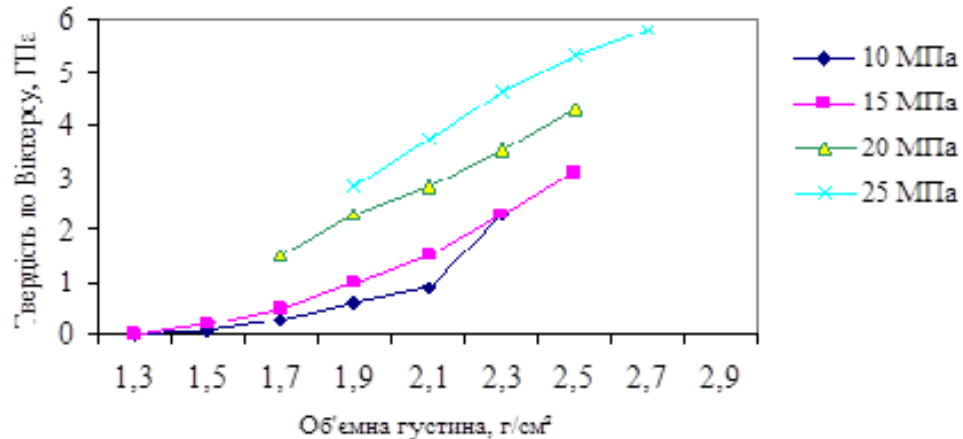


Рис. 2 – Співвідношення між твердістю по Віккерсу та об'ємною густиною

Міцність дослідних зразків на стискання визначали при кімнатній температурі на машині НІКІМП 1231 У10 при навантаженні 250 Н.

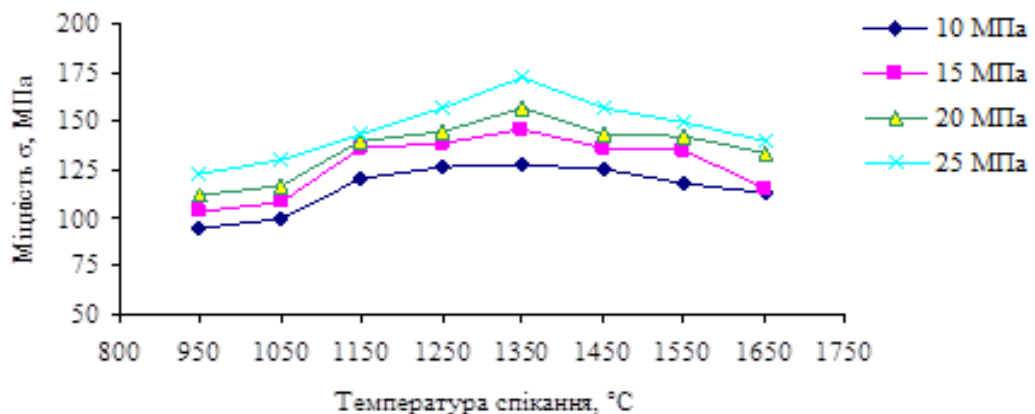


Рис. 3 – Міцність зразка в залежності від температури спікання та тиску пресування

Рисунок 3 показує залежність міцності на стискання від температури спікання зразків пресованих при різних тисках. Загалом із залежності можна виділити два етапи: до температури 1300 °С міцність збільшується, а з підвищенням (більше 1300 °С) – зменшується. Перший етап пояснюється тим, що має місце часткове інтерметалідне утворення між оксидами металів. Пористість зразків спечених до 1300 °С коливається в межах 11-12 %, пористість зразків спечених при вищих температурах сягає 15-18 %. При всіх досліджених температурах спікання міцність була вищою, ніж мінімальна межа 35 МПа для кераміки як вимагає стандарт ISO 19. Основною проблемою керамічних матеріалів є їх висока крихкість, що зумовлює руйнування при напруженнях, значно менших, ніж межа міцності. Величина  $K_{1C}$  - визначає здатність матеріалу протистояти розвитку тріщини. Випробування для визначення коефіцієнта тріщиностійкості  $K_{1C}$  проводили за допомогою твердоміра ТП-7Р-1 з індентором Віккерса при навантаженні 250 Н. На кожному зразку вимірювали 8-10 відбитків, а для одержання середнього значення тріщиностійкості матеріалу випробували 5 зразків. Тріщиностійкість  $K_{1C}$  визначали за методикою, яка

полягає в тому, що в плоску поверхню зразка вдавлюється піраміда Віккерса і за розміром відбитка та довжиною радіальної тріщини  $K_{1C}$  визначається за формулою:

$$K_{1C} \cdot \frac{\Phi}{H} \cdot \sqrt{a} = 0,15K(c/a)^{-3/2}, \quad (1)$$

де  $a$  – половина діагоналі відбитка;

$c$  – довжина радіальної тріщини, виміряна від центра відбитка;

$K=3,2$  – коефіцієнт пропорційності;

$\Phi$  – відношення твердості до межі текучості, яке для крихких матеріалів визначається за формулою Марша.

Коефіцієнт тріщиностійкості  $K_{1C}$  для зразків спресованих при різних тисках та спечених в інтервалі температур 800–1750 °С наведений на рис. 4.

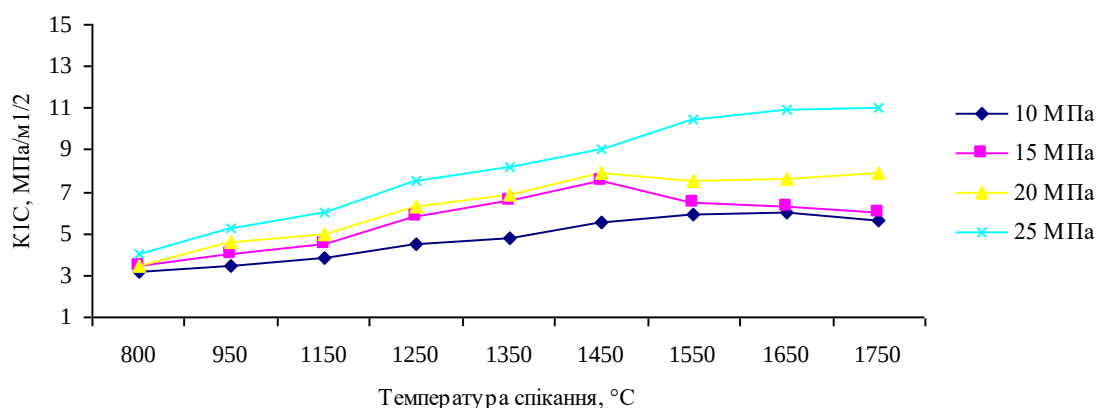


Рис. 4 – Тріщиностійкість зразків в залежності від тиску пресування та температури спікання

Як видно з рисунка 4, коефіцієнт  $K_{1C}$  зростає з ростом температури спікання зразків. Найвищу тріщиностійкість показали зразки спресовані при тиску 25 МПа. Як показали дослідження, оптимальна температура спікання для даного матеріалу 1550-1600 °С, оскільки при подальшому підвищенні температури суттєвих змін механічних властивостей не спостерігається.

Основною проблемою керамічних матеріалів є їх висока крихкість, що зумовлює руйнування при напруженнях, значно менших, ніж межа міцності [3]. Суттєвою перевагою отриманого матеріалу є вища тріщиностійкість, яка уможливорює його застосування у якості фільтрувальних перегородок зі статичним характером навантаження. Найвищу тріщиностійкість показали зразки спресовані при тиску 25 МПа. Як показали дослідження, оптимальна температура спікання для даного матеріалу 1550-1600 °С, оскільки при подальшому підвищенні температури суттєвих змін механічних властивостей не спостерігається.

#### Список посилань

1. Самчук Л.М. Технологія самопоширюваного високотемпературного синтезу системи TiC-ШХ15 з використанням відходів металообробки [Текст] : дис. канд. техн. наук : 05.02.01 / Самчук Людмила Михайлівна ; Луц. нац. техн. ун-т. - Луцьк, 2012. – 150 с.
2. Гулієва Н. М. Технологічний процес виготовлення пористих проникних матеріалів / Н. М. Гулієва // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2015. – № 822. – с. 78-85.
3. Рудь В. Д. Перспективні можливості отримання нових пористих проникливих матеріалів з використанням природних мінералів / В. Д. Рудь, Л. М. Самчук, Ю. С. Повстяна // Галузеве машинобудування, будівництво : зб. наук. пр. – Полтава : Вид-во ПНТУ імені Юрія Кондратюка, 2014. – Вип. 2 (41). – С. 192–197.

УДК 004.8 : 681.5.09

Пальчевський Б.О., докт. техн. наук, професор  
 Луцький національний технічний університет, [bogdan\\_pal@ukr.net](mailto:bogdan_pal@ukr.net)

## ПРИНЦИПИ ВИЗНАЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ МЕХАТРОННИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

Технічне діагностування – комплекс операцій по встановленню наявності дефектів і несправностей технологічного обладнання. Основними об'єктами діагностування стають найбільш навантажені вузли і механізми технологічного обладнання, що працюють в складних і важких умовах застосування, при підвищених температурах, хімічному і електричному впливі, незадовільних умовах доступності до обслуговування, мащення. Контроль та моніторинг технічного стану має особливе значення для мехатронних технологічних комплексів (МТК), що набувають поширення в дискретному, наприклад пакувальному, виробництвах. Тобто технологічних комплексів, що мають в своєму складі мехатронні виконавчі механізми. Метою дослідження є удосконалення методу автоматизованого тестування параметрів МТК та розробка програмно-апаратного забезпечення для визначення його технічного стану.

Сучасні МТК будуються за блоковою структурою, що забезпечує необхідне технологічне компонування. Основою їх побудови є наявність мехатронних виконавчих модулів (МВМ).

Мехатронний виконавчий модуль – конструктивно та функціонально самостійний елемент технологічного комплексу, побудований шляхом інтеграції рухової механічної, інформаційної, електронної та керуючої частин (рис. 1). В нього вбудовуються керуючі пристрої (блок керування БК), які з'єднуються із комп'ютером вищого рівня.

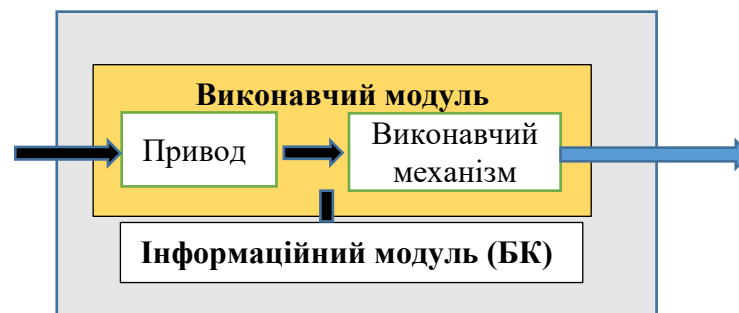


Рис. 1 – Структура мехатронного виконавчого модуля (МВМ)

Нехай мехатронний виконавчий модуль складається з двох частин: основної (робочої) і контрольної (вбудованої). Потoki відмов контрольної та робочої частин підпорядковані закону Пуассона. У процесі відновлення нові відмови не виникають. В результаті відновлення система набуває початкової надійності. Потрібно визначити певний режим моніторингу, що забезпечує максимальне значення коефіцієнта використання  $K_v$ . Позначимо:

$\alpha$  – інтенсивність відмов робочої частини мехатронного виконавчого модуля;

$\beta$  – інтенсивність відмов його інформаційної (контрольної) частини.

Тоді інтенсивність відмови МВМ складе:

$$\lambda = \alpha + \beta.$$

Нехай  $m_p$  – час відновлення робочої частини;  $m_k$  – час відновлення контрольної частини. Якщо позначити інтенсивність відновлення виконавчої частини модуля як  $\mu_v$ , а контрольної частини як  $\mu_k$ , то отримаємо наступний вираз для визначення коефіцієнту готовності окремого мехатронного модуля:

$$k_1 = \frac{1}{1 + \frac{\alpha}{\mu_B} + \frac{\beta}{\mu_K}}$$

На основі мехатронних виконавчих модулів компонується структура мехатронного технологічного комплексу (рис. 2). Внаслідок діагностики та моніторингу технічного стану формується повідомлення про необхідність певних дій обслуговування МТК, у тому числі зміну параметрів роботи обладнання.

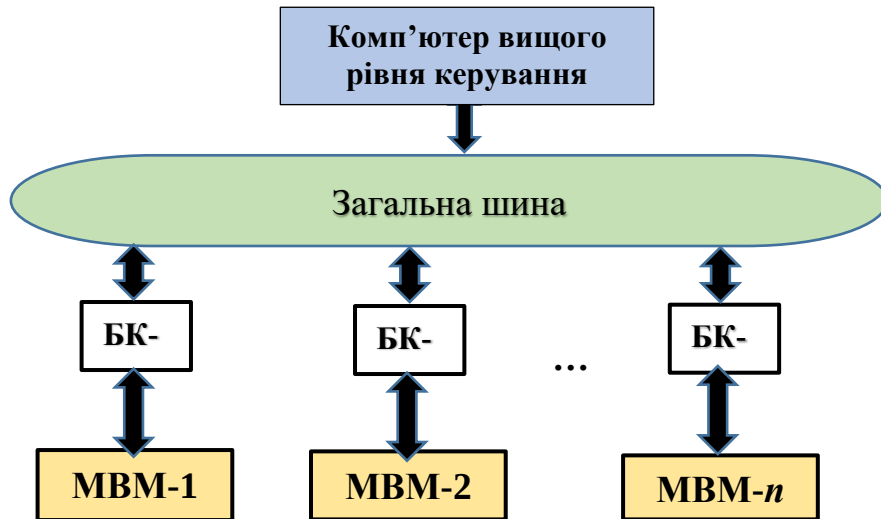


Рис. 2 - Система керування мехатронними виконавчими модулями (МВМ)

Тут сигнали з датчиків надходять на пристрій керування не безпосередньо, а через блок керування мехатронним вузлом (БК).

Після знаходження коефіцієнтів готовності мехатронних виконавчих модулів побудуємо граф станів мехатронного технологічного комплексу (рис. 3).

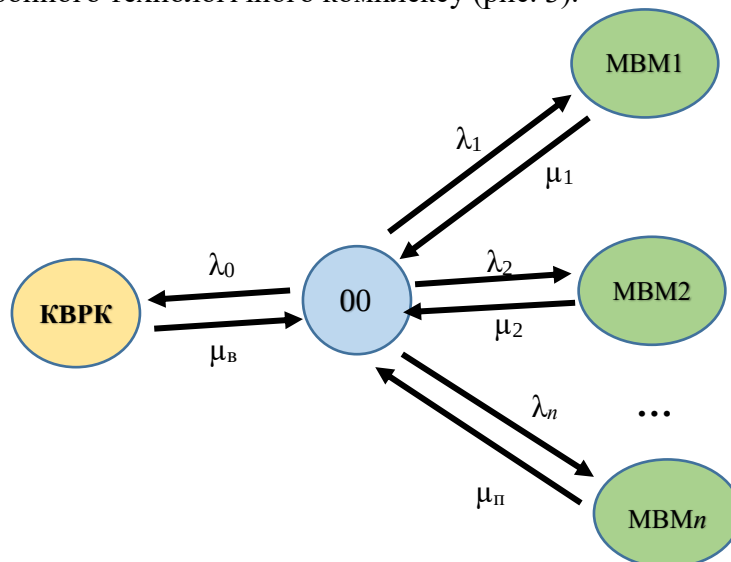


Рис. 3 - Граф станів мехатронного технологічного комплексу

Вираз для визначення коефіцієнту готовності мехатронного технологічного комплексу

$$K_{МТК} = \frac{1}{1 + \frac{1}{(\frac{1}{k_0} - 1)} + \sum_{i=0}^n \frac{1}{(\frac{1}{k_i} - 1)}}$$

де  $k_0$  – коефіцієнт готовності комп'ютера вищого рівня керування,

$k_i$  – коефіцієнт готовності  $i$ -го МВМ.

УДК 621.923

Майборода В.С., докт. техн. наук, професор

Джулій Д.Ю., канд. техн. наук, доцент

Косянчук В.В., студент

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,

dzhulii.dmytro@lkl.kpi.ua

### ЗМІНА МІКРОТВЕРДОСТІ ТВЕРДОСПЛАВНОГО ІНСТРУМЕНТУ З ПОКРИТТЯМ ПРИ МАГНІТНО-АБРАЗИВНОМУ ОБРОБЛЕННІ

Магнітно-абразивне оброблення (МАО) – це спосіб комплексного фінішного оброблення деталей складної форми, в тому числі і різального інструменту. В сучасному виробництві з використанням верстатів з ЧПК великого розповсюдження набуло використання складеного різального інструменту з твердосплавними пластинами зі зносостійкими покриттями. Тому актуальною проблемою є покращення фізико-механічних властивостей поверхневих шарів таких елементів. Для цього було виконано експериментальне дослідження впливу складу магнітно-абразивного інструменту на мікротвердість поверхонь твердосплавних пластин PRAMET PNEA 110408EN з покриттям.

Умови МАО: швидкість обертання пластин навколо власної осі – 500 об/хв, швидкість переміщення їх вздовж робочої зони – 2,5 м/с, магнітна індукція в робочому зазорі – 0,24 Тл, сумарний час оброблення – 360 с. Оброблення виконували наступними порошками: Феромап з зернистістю 315/200 мкм, Феромап 315/200 мкм з додаванням АСМ 3/2 мкм, ДЧК з зернистістю 630/400 мкм та ДЧК 630/400 мкм з додаванням АСМ 3/2 мкм.

Вимірювання мікротвердості поверхонь виконували на передній та задній поверхнях пластин, результати наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Поверхнева твердість передньої та задньої поверхонь твердосплавних пластин після МАО різними типами магнітно-абразивних порошків

| Магнітно-абразивний порошок       | Мікротвердість на передній поверхні, ГПа | Мікротвердість на задній поверхні, ГПа |
|-----------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------|
| Вихідна                           | 20,39                                    | 14,75                                  |
| Феромап 315/200 мкм               | 26,28                                    | 18,16                                  |
| Феромап 315/200 мкм + АСМ 3/2 мкм | 21,66                                    | 19,19                                  |
| ДЧК 630/400 мкм                   | 23,07                                    | 20,21                                  |
| ДЧК 630/400 мкм + АСМ 3/2 мкм     | 22,95                                    | 17                                     |

Показано, що в процесі МАО досліджуваних пластин має місце стійке збільшення їх поверхневої твердості, яке обумовлене характером силової і контактної взаємодії магнітно-абразивного інструменту (МАІ), сформованого з ферабразивних порошків різних типів з різною морфологією поверхонь частинок. Встановлено, що більше підвищення твердості відбувається саме для порошку без використання алмазної пасти, що може бути пояснено процесами пов'язаними з частковим видаленням покриття з поверхні – зменшенням його товщини при використанні МАІ з алмазною пастою. Найбільшу величину поверхневої твердості в досліджуваних умовах було отримано при використанні МАІ з порошку Феромап 315/200 мкм на передній поверхні – 26,28 ГПа і ДЧК 630/400 мкм на задній поверхні – 20,21 ГПа.

В результаті виконаних досліджень показано, що з метою підвищення поверхневої твердості робочих поверхонь твердосплавних пластин з покриттям доцільним є проведення МАО в умовах великих магнітних зазорів.



УДК 621.923

Буріков О.О. аспірант  
Майборода В.С. докт. техн. наук, професор  
Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,  
maiborodavs@gmail.com

## ЗАЛЕЖНІСТЬ НАПРУЖЕНЬ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ВІД ЗМІНИ РОБОЧОГО ЗАЗОРУ ТА ЧАСУ ОБРОБКИ МАГНІТНО-АБРАЗИВНОГО ПОЛІРУВАННЯ

Магнітно-абразивна обробка (МАО) – це один із методів фінішної обробки за використання якого можна отримати низькі значення шорсткості. Станом на сьогоднішній день досить широко досліджене питання, щодо умов формування МАІ з магнітно – абразивного порошку (МАП) в магнітному полі в цілому, а також були виконані дослідження залежності параметрів шорсткості та мікрогеометрії оброблених поверхонь [1-3]. Як і будь-який процес різання, МАО впливає на параметри поверхневого шару оброблюваного матеріалу та призводить у процесі обробки до зміни початкової величини внутрішніх напружень. У випадку МАО у процесі обробки поверхневий шар зазнає мінімального зйому матеріалу, тобто відбувається вигладжування та полірування поверхні із одночасним ударно-фрикційним механізмом утворення наклепу поверхневого шару. Наклеп призводить до виникнення в поверхневому шарі деталі сприятливих залишкових напружень, вплив яких головним чином і визначає високий зміцнюючий ефект поверхневої пластичної деформації, що проявляється в підвищенні міцності, стійкості, а іноді і зносостійкості. Для отримання зміцненого наклепом поверхневого шару заготовку піддають механічній обробці різного виду, наприклад, обкатка роликami, дробоструминна обробка, поверхнєве дорнування, вигладжування та інші. Саме тому інформація про залежності внутрішніх напружень поверхневого шару оброблених поверхонь від робочого зазору, типу магнітно-абразивного порошку та часу контакту МАІ із оброблюваною поверхнею є важливою для ефективного використання МАО як процесу обробки деталей та вузлів. Було проведено серію експериментів, в ході яких оброблювали зразки у вигляді пластин з розмірами 70x5x0,8 мм зі сталі У9, попередньо для зняття напружень, що сформувались при виготовленні зразків було виконано їх термічну обробку – відпал із подальшим видаленням нагару. МАО зразків виконувалося на фрезерному верстаті 6Б75ВФ1 головкою типу "щітка" (1) [1] (рис. 1). При визначенні залишкових напружень, що виникають в зразках після МАО використовували методику, аналогічну запропонованій в роботі [4] на зразках свідках.



Рис. 1 – Схема оброблення

Обробку виконували за умов, наведених у таблиці 1, МАП – Феромап 1000/630.

Таблиця 1 – Умови обробки

| Час магнітно-абразивної обробки, хв | Робочий зазор, мм |      |      |      |      |
|-------------------------------------|-------------------|------|------|------|------|
|                                     | 3                 | 4    | 5    | 6    | 7    |
|                                     | Напруження, МПа   |      |      |      |      |
| 3                                   | 39,53             | 57,5 | 60,9 | 71   | 55   |
| 6                                   | 52,4              | 58,6 | 67   | 74,2 | 55,2 |
| 9                                   | 57,9              | 57,5 | 65   | 73   | 57   |
| 12                                  | 59,2              | 58   | 63   | 72,2 | 56,3 |
| 15                                  | 62,5              | 58,6 | 60   | 71,8 | 56,3 |

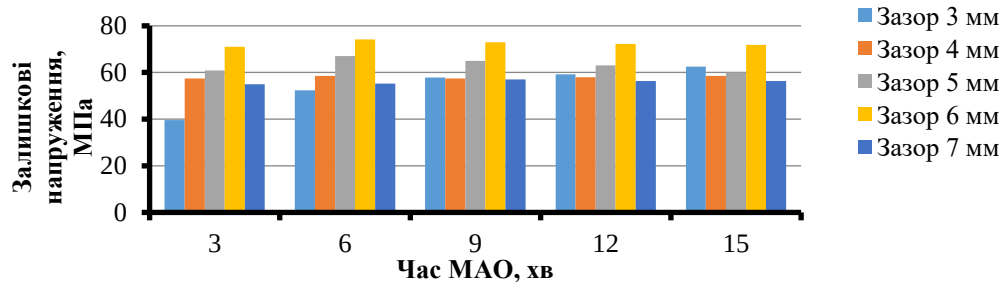


Рис. 2 – Діаграма залежності залишкових напружень від часу оброблення та робочого зазору

За отриманими результатами можна виділити особливість, що вихід на рівноважні параметри напружень відбувається за 3-6 хвилини, за цей час активна взаємодія часток МАІ та оброблюваної поверхні майже припиняється внаслідок полірування мікронерівностей та припинення процесу активної пластичної деформації. Збільшення залишкових напружень при значенні зазору 6 мм можна пояснити оптимальними значеннями робочого зазору для порошку Феромап із розмірами фракцій 1000/630 мкм, при якому формується стійкий та самооновлюючийся МАІ.

Для дослідження залежності величини внутрішніх напружень в залежності від виду МАІ було проведено аналогічну серію досліджень із варіюванням величини робочого зазору, отримані результати наведені на рис. 3. Час контакту МАІ та оброблюваної поверхні – 12 хв.

Таблиця 2

| МАІ             | Робочий зазор, мм | Напруження, МПа |
|-----------------|-------------------|-----------------|
| Феромап 630/400 | 3                 | 60,8            |
|                 | 3,5               | 51,0            |
|                 | 4                 | 51,6            |
|                 | 5                 | 35,6            |
| Царамам 630/400 | 3                 | 107,6           |
|                 | 4                 | 89,5            |
|                 | 4,5               | 60,8            |
|                 | 5                 | 67,0            |
| S330 1200/900   | 3                 | 92,5            |
|                 | 4                 | 120,6           |
|                 | 4,5               | 116,8           |
|                 | 5                 | 84,8            |

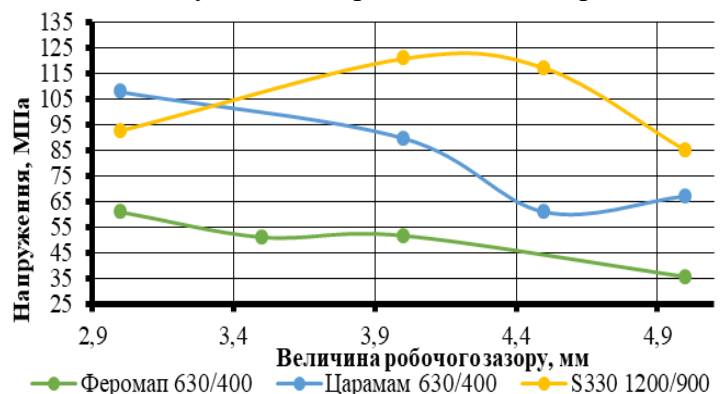


Рис. 3 – Графік залежності залишкових напружень від виду МАІ та величини робочого зазору

Встановлено, що найбільші значення внутрішніх залишкових напружень поверхневого шару обробленого матеріалу формуються після МАО головками типу "щітка" на базі постійних магнітів високої потужності з використанням порошкових матеріалів, які

забезпечують переважне пластичне деформування поверхневого шару, його мікронаклепування без значного проникнення напружень в товщу матеріалу, яке притаманне МАО порошками з осколковою формою частинок типу Феромап. На відміну від оброблення порошком Феромап, який має осколькова форму часток, низькі значення напружень та глибини наклепаного шару, МАП, які мають округлу форму елементів (Царамам, S330) інтенсивніше впливають на оброблювану поверхню та реалізують механізм пластичного деформування поверхневого шару без суттєвого видалення матеріалу.

#### Список посилань

1. Майборода, В. С. «Магнітно-абразивна обробка плоских поверхонь головками на постійних магнітах. / В. С. Майборода, І. В. Слободянюк, Д. Ю. Джулій, А. І. Зелінко. // Технічна інженерія. – вип. 1(85). – Червень 2020. – с. 60-65, doi:10.26642/ten-2020-1(85)-60-65.
2. Майборода В.С. Обработка плоских поверхностей магнитно-абразивным методом торцевыми головками на постоянных магнитах. 1. Влияние типа магнитно-абразивного порошка на эффективность магнитно-абразивной обработки. /В.С. Майборода, Д.Ю. Джулий, А.И. Зелинко, // Mechanics and Advanced Technologies. – 2020. – Том 89. – № 2. – с. 121-130.
3. Майборода В.С. Дослідження властивостей магнітно-абразивного інструменту, сформованого з двох фракційних сумішей порошків при магнітно-абразивній обробці у великих магнітних щілинах / В.С. Майборода //Технологічні системи. – 2007. – №1(37). – С.40 – 55.
4. Антонюк В. С. Основи підвищення працездатності різального інструменту шляхом формування зносостійких покриттів дискретного типу: дис. докт. техн. наук : 05.03.01 / Антонюк Віктор Степанович – Київ, 2006. – 383 с.

УДК 621.923

Заставський К.О., аспірант

Майборода В.С., докт. техн. наук, професор

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,  
zastavskiy96@gmail.com

### ВПЛИВ ФОРМИ ОБРОБЛЮВАНОЇ ДЕТАЛІ НА СИЛИ ОПОРУ ПРИ МАГНІТНО АБРАЗИВНОМУ ОБРОБЛЕННІ

Магнітно абразивне оброблення (МАО) є перспективним методом фінішної обробки деталей складної форми таких як різальний інструмент, медичне обладнання, лопатки ГТД та ін. Для активного використання методу у виробництві необхідно докладно визначити характер та величину силової взаємодії, що виникають при МАО, в особливості враховувати вплив форми оброблюваної деталі на процес МАО [1 – 3].

Експериментальні дослідження виконували на установці типу кільцева ванна з використанням тензометричного датчику у вигляді балки, що діє на згин [2], встановленого на оправці в якій закріплено дослідний зразок. Використовувалися зразки з феро- та парамагнітного матеріалу різних форм: циліндра, квадрата та рівностороннього трикутника (зокрема трикутник та квадрат розташовувалися відносно руху деталі як плоскою гранню, так і ребром) (рис. 1). Досліджувані зразки мали розміри 8, 12 та 16 мм. Для формування МАІ було використано порошки Полімам-М та Полімам-Т з зернистіями 400/315 та 200/100 мкм. Швидкість оброблення становила 1 – 3 м/с, індукція магнітного поля – 0,05 – 0,25 Тл.

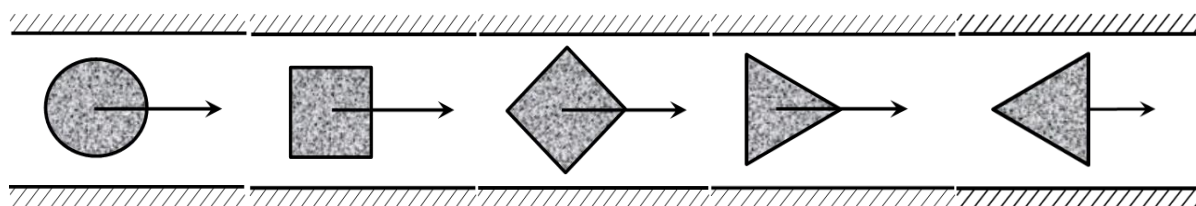


Рис. 1 – Варіанти базування деталей при обробленні.

Для визначення впливу форми деталі на оброблення було проаналізовано отримані результати. Визначено різницю значень сили опору між кожною формою деталі (при однакових інших умовах). Отримані результати не показують чітких закономірностей які могли б вказати на характер впливу зміни форми деталі на МАО, тобто різниця сили опору між деталями різної форми у відсотковому відношенні складала: для квадратних та циліндричних зразків в середньому становила 4 – 15%, між квадратними, що розташовувалися бічною стороною та ребром – 4 – 15%, між квадратними та трикутником з кутом  $60^\circ$  – 5 – 15%. В цю статистику не входить оброблення квадратної феромагнітної деталі розміру 16 мм такі відмінності зумовлюються інтенсивною взаємодією деталі з мертвою зоною МАІ, що знаходиться на магнітних полюсниках (рис. 2) [3]. У проміжку між деталлю та полюсником формується ущільнена зона МАІ, що пересувається у робочій зоні разом з деталлю.

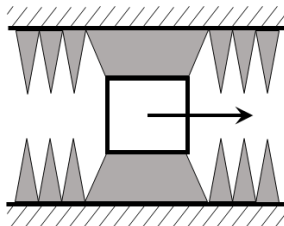


Рис. 2 – Схема оброблення феромагнітної деталі з характерним розміром 16 мм

Порівнюючи результати отримані в ході експериментів можна зробити висновок, що зміна форми деталі загалом не приносить значних змін в значення сили опору, тому вплив форми деталі варто шукати серед інших параметрів. Показано, що при МАО зміна розміру оброблюваної деталі превалює над зміною форми [2]. Таке явище пояснюється взаємодією деталі з різними формуваннями МАП та магнітними полюсниками, що обмежують процеси обтікання оброблюваної деталі порошком. Через особливості розташування цих формувань у робочій зоні виникає значний вплив саме розміру деталі а не її форми [2].

Тому, подальший аналіз базувався на визначенні питомого тиску, що діє на оброблювану поверхню деталі. Для цього силу тиску було представлено через площу поверхні, що безпосередньо зазнає тиску МАІ (рис. 3). З отриманих в дослідженні значень, було визначено безпосередній характер взаємодії між МАІ та поверхнею оброблюваної деталі, що і показує вплив форми деталі на процес МАО.

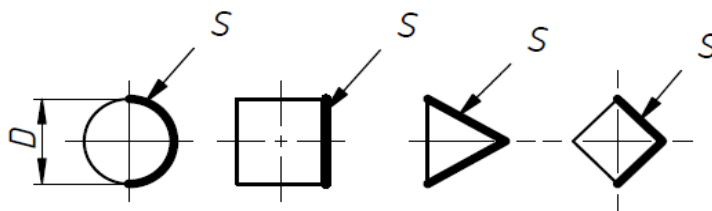


Рис. 3 – Поверхні деталей, що зазнають безпосереднього тиску МАІ

Таке дослідження дозволило отримати співвідношення між кожною із форм, що брали участь в експерименті, результати цих розрахунків залишалися стабільними при зміні значення магнітної індукції, типу та зернистості МАП та матеріалу деталі. Тому, ці співвідношення можна вважати фактичним коефіцієнтом форми деталі при дослідженні питомого тиску (табл. 1). Отримані значення аналогічні значенням аеродинамічного опору тіл відповідних форм [4]. Проте, коефіцієнт форми деталі при МАО вказує на взаємодію середовища МАІ з поверхнею деталі та, ймовірно, на сили тертя, що супроводжують цю взаємодію.

Таблиця 1 – Коефіцієнти форми оброблюваної деталі

| Форма деталі     | Квадрат | Квадрат ребро | Трикутник | Циліндр |
|------------------|---------|---------------|-----------|---------|
| Коефіцієнт форми | 1,2     | 0,8           | 0,6       | 0,4     |

В ході дослідження визначено, що форма деталі, загалом, не має суттєвого безпосереднього впливу на силу опору при обробленні, проте форма може впливати на характер оброблення та сили тертя у парі МАІ – оброблювана деталь.

#### Список посилань

1. Майборода В.С. Основи створення і використання порошкового магнітно-абразивного інструменту для фінішної обробки фасонних поверхонь: дис. докт. техн. наук: 05.03.01 / Майборода В. С. – Київ, 2001. – 404 с.
2. Заставський, К., Майборода, В. (2022). Вплив розміру деталей на сили лобового опору при магнітно-абразивному обробленні. *Mechanics and Advanced Technologies*, 6(2), 168–177. <https://doi.org/10.20535/2521-1943.2022.6.2.264410>
3. Майборода В. С. Магнітно-абразивная обработка деталей сложной формы / В. С. Майборода, И. В. Слободянюк, Д. Ю. Джулий. – Житомир: ПП "Рута", 2017. – 272 с.
4. Gudmundsson Snorri. 2014. *General Aviation Aircraft Design : Applied Methods and Procedures*. First ed. Oxford UK: Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/C2011-0-06824-2>

УДК 621.941-229.3:531.133

**Охріменко О.А., докт. техн. наук, професор**

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,  
[alexhobs77@gmail.com](mailto:alexhobs77@gmail.com)

**Ключко О.О., докт. техн. наук, професор**

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,  
[ukrstando21@gmail.com](mailto:ukrstando21@gmail.com)

**Фролов В.К., канд. техн. наук, доцент**

**Шуплєцов Д.К., асистент**

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,  
[d.shuplietsov@gmail.com](mailto:d.shuplietsov@gmail.com)

**Сухіна Є. В., інженер**

Науково-технічний центр «СодікоМ-Дніпро», м. Київ, [sodick\\_tech@ukr.net](mailto:sodick_tech@ukr.net)

### ІННОВАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗУБОРІЗНОГО ДОВБАЧА

На даний час найбільш поширеним способом оброблення внутрішнього зубчастого зачеплення та отримання зубчастого вінця з блоку шестерень є спосіб зубодовбання. Довбач має вигляд зубчастого колеса з різальними елементами з відповідним загострюванням, що виготовляється зазвичай зі швидкорізальної сталі.

Традиційна технологія виготовлення дискового зуборізного довбача включає попереднє та остаточне лезове оброблення його внутрішніх і зовнішніх циліндричних, конічних та торцевих поверхонь, лезове оброблення поверхні зубців, гартування, шліфування торців, шліфування посадкового отвору, шліфування поверхні зубців та їх загострювання по задній і передній поверхнях [1, 2, 3].

Недоліком технології є значна кількість перевстановлювань, внаслідок кожної з яких виникає похибка, яка зменшує точність відносного розташування поверхонь довбача. Гартування довбача після лезового оброблення поверхні зубців призводить до втрати точності форми цієї поверхні і змушує вводити до технологічного процесу додаткові фінішні операції, що є малопродуктивним, потребує затрат на фінішний інструмент і відповідне верстатне забезпечення.

Поставлена задача підвищення продуктивності та зменшення собівартості виготовлення довбача за рахунок спрощення технології оброблення при забезпеченні необхідної якості довбача.

Запропонована інноваційна технологія виготовлення зубчастого довбача, яка складається з наступних операцій: попереднє лезове оброблення внутрішніх поверхонь,



гартування заготовки (рис.1, а), шліфування зовнішніх торців та остаточне оброблення решти поверхонь (посадкового отвору, профілю западин зубців та їх загострювання по задній поверхні) з однієї установки заготовки електроерозійним способом на дрото-вирізному верстаті (рис.1, б-г). При цьому оброблення профілю западин зубців та їх загострювання по задній поверхні здійснюють одним формоутворюючим рухом [4], який ґрунтується на особливостях формоутворення задньої бічної поверхні довбача, а саме: задня поверхня довбача є гвинтовою поверхнею, твірна якої є пряма лінія і, відповідно, теоретично-точно може бути утворена проволочним інструментом на електроерозійному верстаті на відміну від шліфуванням червяним інструментом [1, 2], що і покладено в основу запропонованої технології виготовлення довбача.

Оброблення профілю западин зубців та їх загострювання по задній поверхні здійснюють в два етапи – на першому етапі остаточно оброблюють за 1-4 проходи, в залежності від необхідної точності та шорсткості поверхні зубців, від половини до трьох чвертей зубців довбача, а на другому етапі остаточно оброблюють за 1-4 проходи, в залежності від необхідної точності та шорсткості поверхні, решту зубців, причому на кожному з проходів корегують швидкість подачі та формоутворюючу траєкторію.

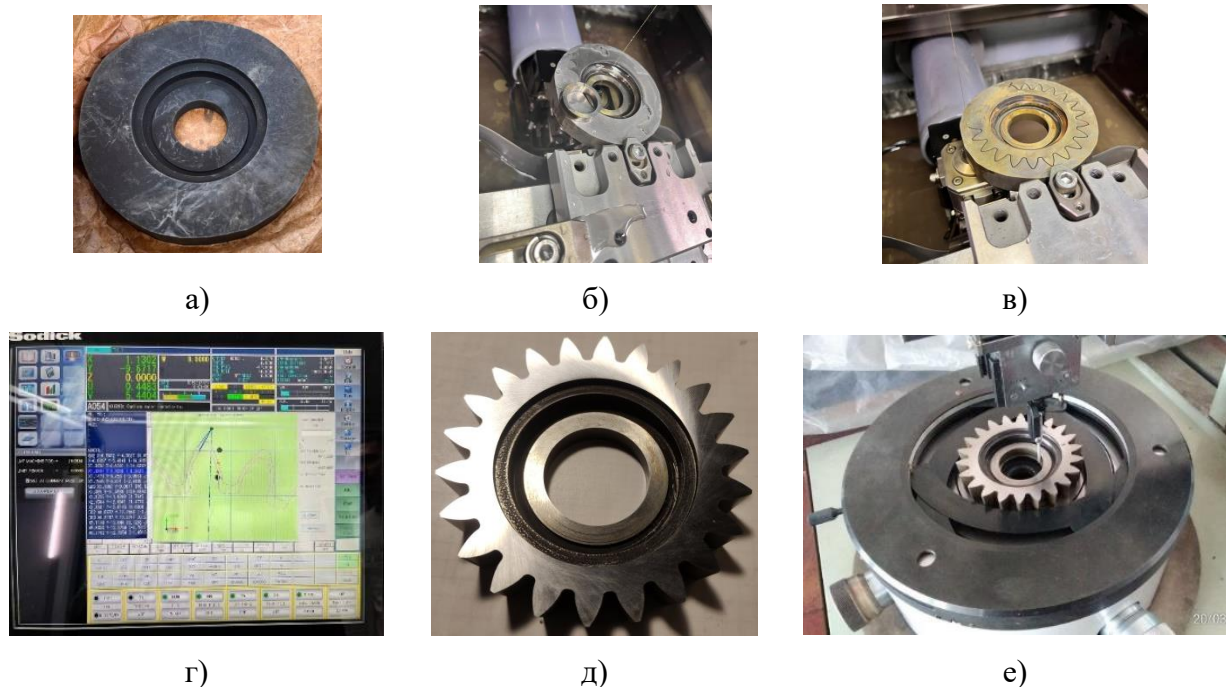


Рис. 1 – Виготовлення дискового довбача: а) заготовка; б) вирізання посадкового отвору; в) вирізання задньої вершинної та бічної поверхні довбача; г) стійка верстата з керуючою програмою; д) виготовлений довбач; е) вимірювання параметрів довбача

Похибка відносного розташування відповідальних поверхонь довбача при використанні цього способу дорівнює нулю.

За запропонованою технологією виготовлено прямозубий дисковий довбач з наступними параметрами: модуль 3,5 мм, кількість зубців – 22, матеріал – сталь Р6М5, решта параметрів та технічних умов – відповідно до ГОСТ 9328-79.

Оброблення посадкового отвору, профілю западин зубців та їх загострювання по задній поверхні здійснювалось на електроерозійному верстаті типу Sodick ALC600G Premium, які поставляється на регулярній основі в Україну і вже є в наявності певний верстатний парк цього обладнання. Виготовлений довбач (рис. 1, д) відповідає всім параметрам для класу точності АА згідно ГОСТ 9328-79. На рис. 1, е, в показано вимірювання відхилення від круглості посадкового отвору.

Використання запропонованої технології зменшує собівартість виготовлення довбача за рахунок зменшення кількості спеціалізованого обладнання, такого, як зубофрезерного, зубошліфувального і круглошліфувального, та підвищує стабільність параметрів довбача.

#### Список посилань

1. Равська Н. С. Технологія інструментального виробництва / Равська Н. С., Мельничук П. П., Касьянов А. Г., Родін Р. П. – Житомир: ЖТТІ, 2001. – 555 с.
2. Скочко С. В. Технологія інструментального виробництва: навчальний посібник для вузів. / С. В. Скочко. – Житомир: ЖІТІ, 1999. – 154 с
3. Булига Ю. В. Основи інструментального виробництва: навчальний посібник / Ю. В. Булига, А. В. Слабкий – Вінниця: ВНТУ, 2018.
4. Охріменко О. А. Застосування edm технологій при виробництві зуборізних довбачів / Охріменко О. А., Ключко О. А., Шуплецов Д. К., Скрипник Т. М. // «КЗТЯПС - 2022» матеріали тез доповідей XII Міжнар. наук.-прак. конф. (м. Чернігів, 26–27 травня 2022 р.) – с. 35-36.
5. Електроерозійний верстат Sodick ALC400/600/800G Premium. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://sodick.com.ua/ua/p984555567-elektroerozijnij-verstat-sodick.html>

УДК 539.3

**Бабенко А.Є., докт. техн. наук, професор**  
**Боронко О.О., докт. техн. наук, професор**  
**Трубачев С. І., канд. техн. наук, доцент**  
**Лавренко Я. І., канд. техн. наук, доцент**

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», [strubachev@i.ua](mailto:strubachev@i.ua)

### ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС РОЗРАХУНКУ КОЛИВАНЬ ПЛАСТИНЧАСТО-ОБОЛОНКОВИХ СИСТЕМ

У сучасній промисловості пластинчасто-оболонкові конструкції знайшли широке впровадження, тому розрахунок на міцність таких конструкцій є актуальною задачею. Внаслідок складної геометричної форми пластинчасто-оболонкових систем, умов закріплення та навантаження аналітичні методи розрахунку виявляються не завжди ефективними, тому необхідно застосовувати чисельні методи розрахунку. У процесі експлуатації конструкції, як правило, зазнають інтенсивних вібраційних навантажень, що створює загрозу руйнування елементів машинобудівних конструкцій. Завдяки визначенню динамічних характеристик коливань можна обрати оптимальні параметри конструкції та режими роботи машини віддалені, від критичних режимів, які є небезпечними. Однією з причин руйнації елементів машинобудівних конструкцій є те, що вони попадають у резонанс. У зв'язку з цим необхідно розв'язувати задачу про вимушені коливання. Ця задача може бути розв'язана методом головних координат, але для цього необхідно вирішити задачу вільних коливань, знайти власні частоти та відповідні їм власні форми коливань конструкцій. В даній роботі для визначення спектра власних частот та форм коливань пропонується використовувати метод підвищення жорсткостей, який оснований на використанні мінімакських властивостей функціонала Релея-Рітца. Для визначення першої власної частоти та форми коливань використовувався метод квазістатичних ітерацій, який ґрунтується на заміні розв'язання задачі на власні числа послідовністю розв'язання задач при статичних навантаженнях. Розроблені алгоритми розрахунку є стійкими відносно обчислювальних помилок, які обумовлені точністю обчислювання ЕОМ, та мають наступні переваги: не потребує формування матриць інерції та жорсткості та оперування з ними, потребує мінімальної кількості ітерацій. Для врахування частотно-незалежного тертя використовувалась відповідна гіпотеза Бока-Шліппе-Колара. На основі запропонованого методу було розроблено алгоритми та пакети прикладних програм. З огляду на те, що пакети прикладних програм побудовано за модульним принципом, це дозволяє



вдосконалювати його структуру за допомогою сервісних програм, а також видозмінювати та додатково розробляти програми для нових задач. Пакет прикладних програм було налагоджено та удосконалено на великій кількості тестових та прикладних задач різної складності. Чисельні результати порівняно з результатами, отриманими аналітичними або іншими чисельними методами, а також із відповідними експериментальними даними. Похибка у визначенні власних частот не перевищувала 5%, що підтверджує ефективність запропонованого методу розрахунку та розроблених алгоритмів.

УДК 621.798

**Четербух О.Ю., аспірант**  
**Шахбазов Я. О., докт. техн. наук, професор**  
**Широков В. В., докт. техн. наук, професор**  
**Паламар О.О., канд. техн. наук, викладач**  
Українська академія друкарства, м. Львів, shah-nika@ukr.net

## **ПОРІВНЯЛЬНА СИЛОВА ХАРАКТЕРИСТИКА ПЛОСКОШТАНЦЮВАЛЬНОГО ПРЕСА**

Виготовлення картонного пакування супроводжується комплексом технологічних операцій, зокрема, висіканням контуру картонної розгортки.

Для виготовлення розгорток картонного пакування використовують різне устаткування, яке за способом розділення матеріалу класифікується на штанцювальне, вирубне та вирізувальне. Штанцювальне за формою контактуючих поверхонь поділяється на плоске, плоско циліндрове і ротаційне. Найбільшого використання набуло плоскоштанцювальне устаткування, яке володіє високою продуктивністю роботи (до 8000 примірників/год.), малими затратами на виготовлення штанцювальної форми (порівняно з ротаційним), малим відсотком браку в процесі налагодження устаткування (оскільки картонні заготовки подаються у вигляді окремих аркушів) та найвищою якістю виготовлюваної продукції.

Однак, таке устаткування характеризується головним недоліком – високими технологічними зусиллями, що спричинене одночасним контактом всіх різальних інструментів, які закріплені на штанцювальній формі, по всій довжині різальної кромки із картонною заготовкою.

Технологічні зусилля в штанцювальному устаткуванні залежать від погонних зусиль різальних інструментів та загальної довжини кожної групи різальних інструментів, що, безпосередньо, залежить від геометричних розмірів та конфігурації картонної розгортки. Тобто, вплинути на їхню величину ми не можемо. Проте можна мінімізувати інші зусилля, такі як зусилля інерції рухомих елементів конструкції, зусилля тертя та інші, що може суттєво знизити споживану потужність устаткування та збільшити ресурс роботи його деталей. Зокрема, в плоскоштанцювальних пресах рухома натискна плита характеризується великою масою, а врахувавши, що вона зворотно-поступально переміщується на великій швидкості, то пошуки зменшення її зусиль інерції є одним з пріоритетних задач. Одними із варіантів зниження зусиль інерції рухомої натискної плити плоскоштанцювальних пресів є обрання раціональних геометричних розмірів конструкції приводного механізму рухомої натискної плити та вибір оптимальних законів періодичного руху виконавчих елементів, таких як ролик.

Як продемонстрували аналітичні дослідження [1] закон періодичного руху вихідної ланки безпосередньо впливає на кінематичні параметри плоскоштанцювального преса, що, безумовно, позначається на енергосилових показниках устаткування. Тому, для зниження споживаної потужності плоскоштанцювальним пресом необхідно провести порівняльну силову характеристику для декількох законів періодичного руху вихідної ланки та обрати оптимальний.

### Список посилань

1. Четербух О.Ю. Порівняльна характеристика кінематичних параметрів плоскоштанцювального преса. / Четербух О.Ю., Шахбазов Я.О., Широков В.В. // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. [Національний університет «Львівська політехніка»]. – 2022. – № 56. – С. 86 – 95.

УДК 621.798

**Четербух О.Ю., аспірант**  
**Шахбазов Я. О., докт. техн. наук, професор**  
Українська академія друкарства, м. Львів, shah-nika@ukr.net  
**Мельников О.В., докт. екон. наук, професор**  
ІТ СТЕП Університет, м. Львів  
**Олянишен Т.В., канд. техн. наук, доцент**  
Національний лісотехнічний університет України, м. Львів

### ДОСЛІДЖЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ПРУЖНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ДЕТАЛЕЙ ПЛОСКОШТАНЦЮВАЛЬНОГО ПРЕСА

Для виготовлення розгортки картонного пакування найбільшого використання набуло плоскоштанцювальне устаткування, яке характеризується високою продуктивністю роботи та найвищою якістю виготовлення продукції. Однак, воно має головний недолік, який пов'язаний із значними технологічними зусиллями, що обумовлено одночасним контактом всіх різальних інструментів, які знаходяться на плоскоштанцювальній формі, з картонною заготовкою по всій довжині різальної кромки.

Головним елементом конструкції в плоскоштанцювальних пресах є приводний механізм рухомої натискної плити, який повинен забезпечувати точне вертикальне її переміщення протягом робочого та холостого ходів, оскільки коливний рух буде спричинювати такі негативні наслідки, як: погіршення якості виготовлюваної продукції; зростання технологічних зусиль; передчасне затуплення різальних інструментів та ін.

Оскільки швидкість роботи плоскоштанцювальних пресів висока, технологічні зусилля штанцювання та, відповідно, навантаження на деталі великі, а переміщення виконавчих елементів конструкції повинна бути надзвичайно точним, то при проектуванні нового чи удосконаленні відомого пакувального устаткування необхідно звернути особливу увагу на величину деформування контактних поверхонь деталей з наступним вибором оптимальних матеріалів та раціональної технології їхнього виготовлення.

Так, наприклад, для плоскоштанцювального преса [1] необхідно провести дослідження величини пружної деформації контактних поверхонь кулачка та ролика, оскільки вони є виконавчими елементами приводного механізму рухомої натискної плити.

Для аналітичного дослідження загального кінематичного зміщення (наближення осей ролика та кулачка), тобто величини деформації, можна використати кінцевий вираз, який наведений в праці [2], що для розглянутого приводного механізму набуде вигляду:

$$\delta = 0,5796 \cdot \frac{P}{l \cdot E} \cdot \left[ \ln \frac{4 \cdot R_1 \cdot R_2}{b^2} + 0,814 \right], \quad (1)$$

де  $P$  – зусилля, яке притискає ролик до кулачка;

$l$  – ширина контакту ролика та кулачка;

$E$  – модуль пружності;

$R_1$  – радіус ролика;

$R_2$  – радіус-вектор кулачка;

$b$  – півширина смуги контакту ролика та кулачка.

Також, для встановлення величини пружної деформації контактних поверхонь кулачка та ролика для приводного механізму рухомої натискної плити плоскоштанцювального преса, що розглядається, доцільно провести дослідження при різних законах періодичного руху ролика, як вихідної ланки, з метою вибору оптимального варіанту.

#### Список посилань

1. Прес штанцювального автомата : пат. 151852 Україна : МПК В26F 1/40 (2006.01) / Четербух О.Ю., Шахбазов Я.О. № и 2022 00766; заявл. 21.02.2022; опубл. 21.09.2022. Бюл. № 38. С. 4.
2. Справочник по сопротивлению материалов / Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В.; Отв. ред. Писаренко Г.С. – 2-е изд. перераб. и доп. – Киев: Наук. думка, 1988. – 736 с.

УДК 621.869.85+621.867.64

**Ковальов Ю.А., канд. техн. наук, доцент**  
**Плешко С.А., канд. техн. наук, доцент**  
**Рубанка М.М., канд. техн. наук, доцент**  
**Савенко А.А., магістрант**

Київський національний університет технологій та дизайну, kovalov.ya@knutd.com.ua

### **АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ГАЛЬМІВНИХ РОЛИКІВ ГРАВІТАЦІЙНИХ КОНВЕЄРІВ**

Для підвищення ефективності технологічного процесу обробки палетованих вантажів в логістичних центрах, складських приміщеннях тощо, як правило, використовують гравітаційні стелажі, що складаються зі стеляжної конструкції та гравітаційних роликів конвеєрів [1]. Гравітаційні стелажі досить часто є невід'ємною частиною сучасного високотехнологічного автоматизованого складу [2, 3].

Надмірна швидкість вантажів при їх русі конвеєром є головним джерелом небезпеки не тільки для обслуговуючої техніки і вантажу, що транспортується, але й для персоналу. Для вирішення цієї проблеми використовують гальмівні ролики різних конструкцій.

*Інерційні гальмівні ролики.* Одним із найпростіших способів гальмування вантажу на гравітаційному конвеєрі є створення підвищеного моменту інерції за рахунок наповнення внутрішньої порожнини гальмівного ролика сипучим матеріалом (дріб, пісок тощо) або в'язкою рідиною (наприклад мастило). Основною перевагою такого типу гальмівних роликів є простота конструкції. Однак, на практиці, неможливість регулювання величини гальмівного моменту та можливі випадки протікання мастила обмежують широке застосування даних конструкцій роликів у гравітаційних конвеєрах для палетованих вантажів.

*Гальмівні ролики відцентрового типу.* В механізмах підйомно-транспортних машин можуть використовуватися відцентрові гальма. Варто зазначити, що через малу швидкість обертання гальмівного ролика, використання відцентрового гальма можливе тільки із застосуванням механічного пристрою для збільшення кутової швидкості – підвищуючої зубчастої передачі (мультиплікатора) [4, 5]. Тому, при виборі цієї конструкції гальмівного ролика в гравітаційних стелажах слід враховувати суттєве збільшення габаритних розмірів корпусу.

*Гальмівні ролики притискного типу.* Також існують конструкції гальмівних роликів, що притискаються до несучих роликів. Такі конструкції називаються притискними. Робота гальмівних роликів притискного типу гравітаційного конвеєра базується на використанні сил тертя, тому вони повинні мати фрикційне покриття (як правило, виконане з гуми) для передачі крутного моменту від несучих роликів на гальмівний і вимагають обов'язкового застосування пружних елементів (циліндричних пружин розтягу, циліндричних пружин стиску тощо) що мають забезпечувати постійне притискне зусилля. Відомі також

конструкції гальмівних роликів, що передбачають застосування гідро- та пневмоциліндрів. Але такі конструкції гальмівних роликів вирізняються порівняно високою вартістю виготовлення (високі вимоги до гідроциліндрів, необхідність створення проміжних опор тощо) і, власне тому, використовуються вкрай рідко.

*Магнітні гальмівні ролики.* До найбільш перспективних та затребуваних конструкцій існуючих конструкцій гальмівних роликів гравітаційних стелажів, в першу чергу, слід відносити магнітні гальмівні ролики, принцип роботи яких базується на законах електромагнітної індукції [6]. Момент опору (гальмівний момент) зовнішньому навантаженню магнітного гальмівного ролика створюється вихровими індукційними струмами [7]. Має місце, так званий, безконтактний (нефрикційний) спосіб гальмування, що дає можливість виключити з роботи процес зносу фрикційної накладки гальмівного ролика. А це в свою чергу, дозволяє підвищити довговічність та ефективність роботи гальмівних роликів та гравітаційних стелажів в цілому [8].

Варто відмітити, що на ринку складського гравітаційного стелажного обладнання магнітні гальмівні ролики не знайшли широкого застосування через свою завищену вартість. Це, перш за все, обумовлено відсутністю відомих конструкцій магнітних гальмівних роликів стелажних конвеєрів вітчизняних виробників та відповідних методик для їх розрахунку.

Узагальнену класифікаційну схему гальмівних роликів гравітаційних конвеєрів представлено на рис. 1.

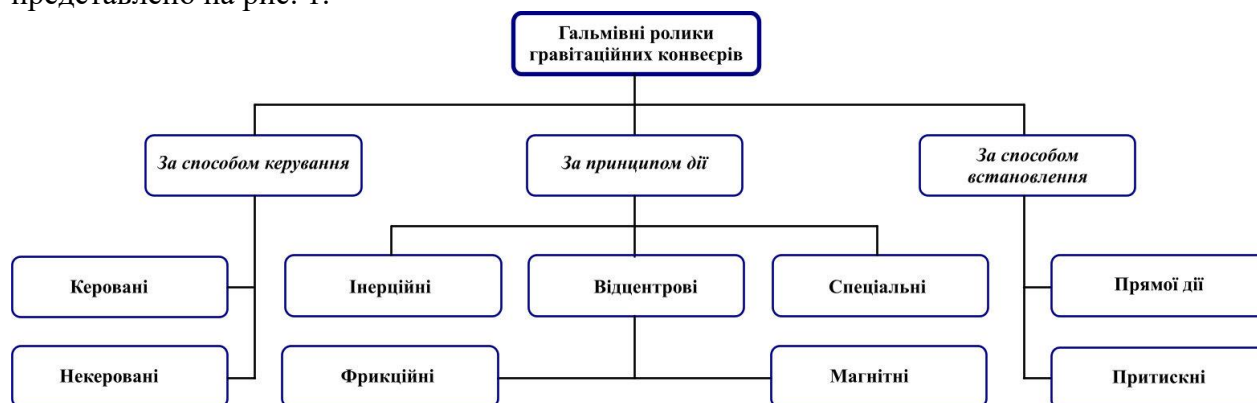


Рис. 1 – Узагальнена класифікаційна схема гальмівних роликів гравітаційних конвеєрів

#### Список посилань

1. Стелажі для складу. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://stalker.ua/areas/stellazhnye-sistemy/> (дата звернення 30.04.2023).
2. Hamzaoui M. A. Optimal dimensions minimizing expected travel time of a single machine flow rack AS/RS / M. A. Hamzaoui, Z. Sari // Mechatronics. – 2015. – Volume 31. P. 158–168.
3. Сорокіна Т. О. Комплексні системи управління складськими та логістичними процесами / Т. О. Сорокіна, Ю. А. Ковальов, М. М. Рубанка // IX Українсько-Польські наукові діалоги = IX Ukrainian-Polish Scientific Dialogues : conference proceeding International Scientific Conference, Khmelnytskyi - Kamianets-Podilskyi, 20-23 October 2021. – Khmelnytskyi : Khmelnytskyi National University, 2021. – P. 89-90.
4. Мультиплікатор (механіка). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D1%83%D0%BB%D1%8C%D1%82%D0%B8%D0%BF%D0%BB%D1%96%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80\\_\(%D0%BC%D0%B5%D1%85%D0%B0%D0%BD%D1%96%D0%BA%D0%B0\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D1%83%D0%BB%D1%8C%D1%82%D0%B8%D0%BF%D0%BB%D1%96%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80_(%D0%BC%D0%B5%D1%85%D0%B0%D0%BD%D1%96%D0%BA%D0%B0)) (дата звернення 08.05.2023).
5. Піпа Б.Ф. Деталі машин: Підручник / Б.Ф. Піпа Б.Ф., О.М. Хомяк, А.І. Марченко. – К.: КНУТД, 2011. –358 с.
6. Дідух Л. Д. Електрика та магнетизм : підручник / Л. Д. Дідух. — Тернопіль : Підручники і посібники, 2020. — 464 с.

7. Вихрові струми. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B8%D1%85%D1%80%D0%BE%D0%B2%D1%96\\_%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BC%D0%B8](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B8%D1%85%D1%80%D0%BE%D0%B2%D1%96_%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BC%D0%B8) (дата звернення 08.05.2023).

8. Березін Л. М. До розрахунків деталей на міцність, довговічність та надійність / Л. М. Березін // Наукові нотатки: міжвуз. зб. (за галузями знань "Технічні науки"). – 2018. – Вип. 63. – С. 22-26.

УДК 621.9.048

**Кондрашев П.В., канд. техн. наук, доцент**

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,

kondrashev@ukr.net

## **ВПЛИВ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ЯКІСТЬ ВНУТРІШНЬОЇ МІКРОСТРУКТУРИ ПРИ ЛАЗЕРНОМУ СПЛАВЛЕННІ ПОРОШКУ**

В даній роботі представлені результати дослідження впливу статичного магнітного поля як додаткового джерела енергії для підвищення ефективності реалізації технології DMLS [1]. Для цього було запропоновано схему розташування 4-ох магнітів по периметру фокусу газопорошкового струменю що дає можливість керувати рівнем дисперсної фази порошкової композиції в зоні лазерної обробки. Ця схема є більш простою в реалізації що значно збільшує гнучкість та ефективність технологічного процесу. Враховуючі високу складність протікання фізичних процесів при реалізації технології DMLS а також спираючись на досвід апріорної інформації було використано активну стратегію проведення експерименту [2] яка дозволяє ефективно оцінити вплив одразу декількох технологічних факторів на реалізацію даної технології. В якості матеріалу для досліджень було обрано порошкову композицію на основі алюмінію AlSi10Mg [3] дисперсністю 60 мкм. Це один з найпоширеніших порошків для технологій 3D-прототипування.

В якості одного з основних показників якості внутрішньої мікроструктури сплавлених зразків було обрано дослідження пористості внутрішньої мікроструктури (тобто наявності таких дефектів як: пор, тріщин та інших порожнин) при реалізації процесу лазерного сплавлення порошкового матеріалу AlSi10Mg як відмічалось вище були застосовані методи математичної статистики. Для практичної реалізації активної стратегії проведення експерименту було застосовано не композиційний план Бокса-Бенкена для 4-х технологічних факторів, у вигляді полінома (1) другого порядку [1].

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^{i=k} b_i x_i + \sum_{i \leq j}^{i=k} b_{ij} x_i x_j + \sum_{ii=1}^{i=k} b_{ii} x_i^2, \quad (1)$$

де  $k$  – кількість технологічних факторів;

$b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii}$  – коефіцієнти полінома;

$i, j$  – індекси.

В якості функції відгуку була використана величина пористості внутрішньої мікроструктури сплавлених примітивів (Р). В якості технологічних факторів впливу на функцію відгуку при реалізації технології DMLS (визначених раніше), за умови стабілізації факторів діаметра лазерного променя, щільності та потужності лазерного випромінювання були використані величина статичного магнітного поля ( $x_1$ ), масова витрата порошку ( $x_2$ ), швидкість переміщення підложки ( $x_3$ ), положення підложки відносно вихідного отвору сопла ( $x_4$ ). Коефіцієнти полінома  $b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii}$  моделі (1) розраховувалися за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення з використанням математичного апарату лінійної алгебри [2], залежність (3). Матриця умов експерименту  $X$  була згенерована за допомогою збалансованої блок-схеми для 4-х незалежних змінних ( $x_1, x_2, x_3, x_4$ ), яка складається з 6-ти блоків (повно факторний експеримент 22) [2], варіювання технологічних факторів проводилося на трьох рівнях (мінімум, центр, максимум). Аналіз результатів

експериментальних досліджень показав, що найкращі показники якості тобто найнижча пористість була досягнута при інтенсивності магнітного поля 0,12 Тл, масовій витраті порошкової композиції 0,2 г/с, швидкості переміщення підложки 1 мм/с (рис. 1, а). Це пояснюється ефективністю дії статичного магнітного поля у зоні лазерної обробки, а саме збільшується кількість дисперсної складової у фокальній площі газопорошкового струменя. В той же час найгірші показники якості внутрішньої структури сплавлених примітивних зразків спостерігаються при наступних параметрах керування це: масова витрата порошку 0,4 г/с, швидкість переміщення підложки 3 мм/с це пояснюється перш за все великою швидкістю переміщення підложки що в свою чергу продукує невеликий час дії лазерного опромінення на порошкову композицію (рис. 1, в). Дещо кращі результати спостерігаються на рис. 1, б при масовій витраті 0,3 г/с та швидкості переміщення підложки 2 мм/с.

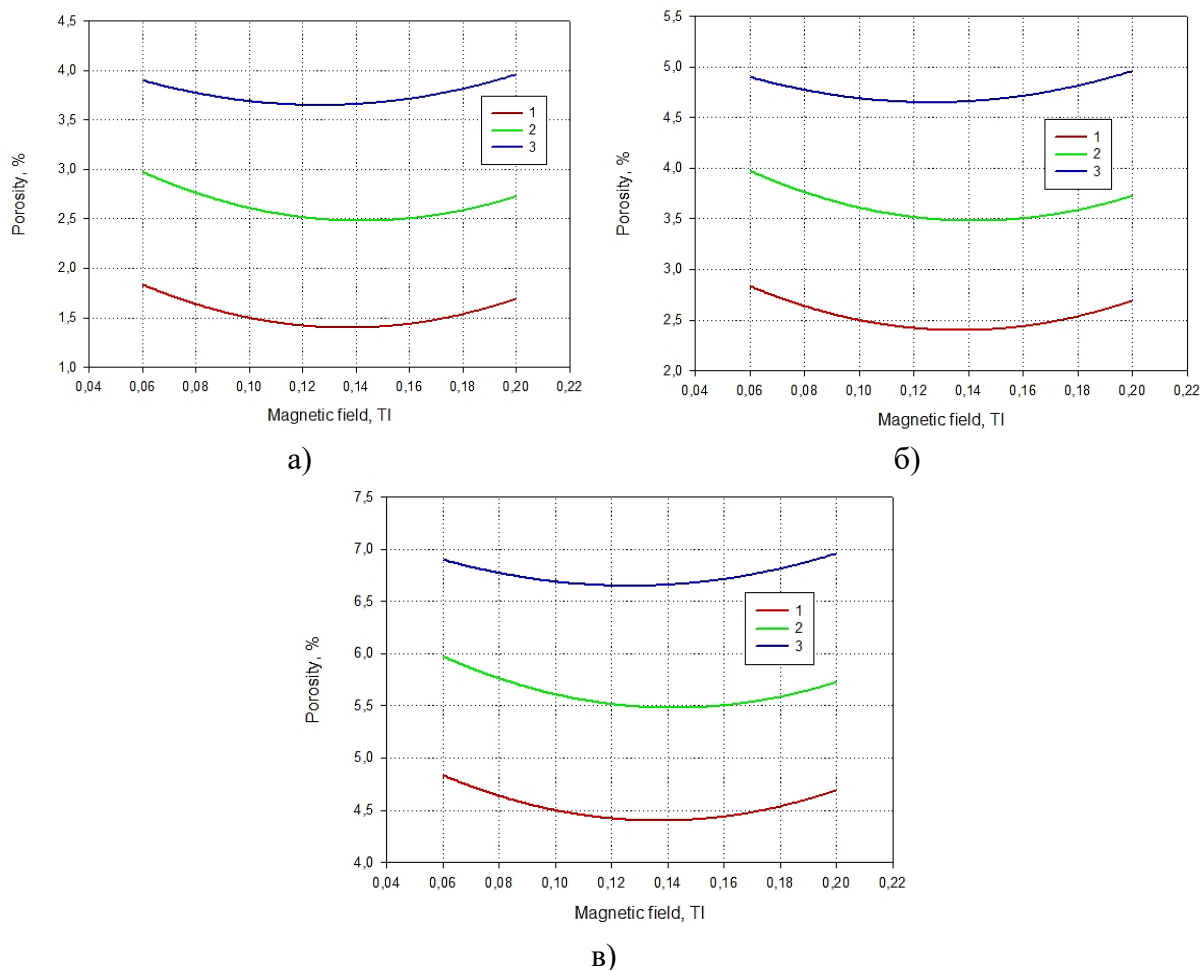


Рис. 1 – Залежність пористості від величини інтенсивності магнітного поля:

- а) масова витрата порошкової композиції 0,2 г/с, швидкість переміщення підложки 1 мм/с;  
 б) масова витрата порошкової композиції 0,3 г/с, швидкість переміщення підложки 2 мм/с;  
 в) масова витрата порошкової композиції 0,4 г/с, швидкість переміщення підложки 3 мм/с.

#### Список посилань

1. D. Du, L. Hou, A. Gagnoud, Z. Ren, Y. Fautrelle, G. Cao, X. Li Effect of an axial high magnetic field on Sn dendrite morphology of Pb-Sn alloys during directional solidification // J. Alloy. Compd., 588 (2014), pp. 190-198.
2. Новик Ф.С. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов / Ф.С. Новик, Я.Б. Арсов. – М.: Наука, 1980. – 304 с.
3. P. Wei, Z. Wei, Z. Chen, J. Li, S. Zhang, J. Du Numerical simulation and parametric analysis of selective laser melting process of AlSi10Mg powder // Appl. Phys. A Mater. Sci. Process., 123 (2017) p. 540.



УДК 621.9

Пірогов Д.О., аспірант  
Воронцов Б.С., докт. техн. наук, професор  
Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,  
voronts@gmail.com

### ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ТА ОБРОБЛЕННЯ ЗАГОТОВОК ІЗ ТИТАНУ ОТРИМАНИХ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ XBEAM 3D METAL PRINTING

Адитивне виробництво є швидким та зручним способом виготовлення заготовок та прототипів для майбутніх виробів. Деякі технології друку металів базуються на методах розплавлення, спікання порошку за допомогою лазера або електронного променя і застосовуються у медицині, авіації, автомобілебудуванні та інших сферах. Однак методи 3D друку, які використовують порошки є досить вартісним, що залежить від дорогого обладнання, складної експлуатації, дорогих матеріалів і низької продуктивності, що призводить до високої собівартості отриманих заготовок. Якщо розглянути традиційні методи отримання заготовок, наприклад, ливарне виробництво, то є необхідність виготовлення окремої ливарної форми, що також призводить до додаткових витрат [1].

На відміну від заготовок отриманих із порошкового металу або традиційних методів, технологія xBeam 3D дозволяє виготовляти заготовки та прототипи деталей із більш гнучкими підходами, із застосування дроту в якості витратного матеріалу, що є більш продуктивним, розміри заготовок не мають суттєвих обмежень, а витратний матеріал, сам дріт, доступний і недорогий [1]. Крім того, використання матеріалу у вигляді дроту є конкурентною перевагою, механічні випробування підтвердили, що отримані заготовки, не поступаються стандартним. Тому даний метод є найкращим рішенням для виготовлення деталей машин середньої складності та середньо-великих розмірів [2]. Використання заготовок із титану Ti6Al-4V зросло на 9% особливо в літакобудуванні, такий прогрес пояснюється його високою корозійною стійкістю, міцністю, але механічна обробка є досить складною через високі сили різання, схильність до налипання на ріжучий інструмент [3]. Заготовки, отримані за технологією xBeam 3D, як правило, мають високу шорсткість поверхні, хвилястість по формі заготовки (рис. 1), а також не досягають необхідного допуску. Через геометричні та механічні вимоги аерокосмічного сектору, процеси механічного оброблення необхідні для покращення гладкості поверхні та отримання необхідної точності розмірів. Тому найпоширенішим підходом є фінішне оброблення деталей, виготовлених адитивним способом, за допомогою процесу кінцевої обробки [2].



а)



б)

Рис. 1 – Заготовка а) до оброблення, б) після фінішного оброблення

Основні рекомендації по обробленню заготовок із титану отриманих методами адитивного виробництва із використанням металевого дроту, наприклад, обточуванням та фрезеруванням, і які відповідають авіаційним стандартам, демонструють, що вплив стратегій оброблення та зміна траєкторій руху інструмента впливає на якість кінцевої поверхні. Основною проблемою при обробці титану є подолання стійкості інструменту, яка зазвичай не дозволяє використовувати високі швидкості різання. Для того, щоб забезпечити хорошу стійкість інструменту, швидкість різання для Ti-6Al-4V часто обмежують. Існує кілька способів покращити оброблюваність титану. До них відносять використання стандартних мастильно-охолоджуючих рідин та використання альтернативних матеріалів різального інструменту, таких як твердосплавні різальні інструменти з покриттям (Al, Si, Ti, N), які подвоюють термін служби інструменту в порівнянні з твердосплавним інструментом без покриття [2].

Фрезерування титану є більш складною операцією, ніж точіння. Фреза фрезерує лише частину кожного обороту, і стружка має тенденцію прилипати до зубців під час тієї частини обороту, яку кожен зуб не фрезерує. При наступному контакті, коли стружка збивається, зуб може бути пошкоджений. Цю проблему можна значно полегшити, використовуючи фрезерування з підйомом замість звичайного фрезерування. При цьому типі фрезерування, фреза контактує з найтоншою частиною стружки при виході з різку, що мінімізує "налипання" стружки. При фрезеруванні титану, коли різальна кромка виходить з ладу, це, як правило, відбувається через відколи. Збільшення швидкості різання на 20-30%, яке можливе при використанні твердосплавних інструментів у порівнянні з інструментами зі швидкорізальної сталі, не завжди компенсує додаткові витрати на заточку інструменту. Отже, рекомендується спробувати як інструменти зі швидкорізальної сталі, так і твердосплавні інструменти, щоб визначити кращий з них для кожного режиму фрезерування. Рекомендується використовувати МОР на водній основі. Токарну обробку титану можна застосовувати без особливих труднощів. Для токарної та розточувальної обробки слід використовувати твердосплавні інструменти, оскільки вони забезпечують вищу продуктивність і довший термін служби. При обробці швидкорізальних сталей рекомендується використовувати надвисокі швидкості. Слід уникати прогину інструменту, а на поверхню різання подавати сильний і постійний потік мастильно-охолоджуючої рідини [2, 4].

Але необхідні рекомендації із застосування технології xBeam 3D в поєднання із процесами різання відсутні, тому дана майбутнє дослідження вимагає подальших експериментів та має на меті запропонувати різні промислові стратегії, а зокрема описати виробничий процес, експерименти із режимами різання і процедурою для досягнення необхідної якості поверхні, провести необхідні досліді із визначенням сил різання, деформацій, вібрацій, які впливають на мікроструктурні результати.

#### Список посилань

1. Технологія xBeam 3D Metal Printing на шляху до промислового виробництва [Електронний ресурс] / Д.В. Ковальчук, В.Г. Мельник, І.В. Мельник, Б.А. Тугай // Сучасна електрометалургія. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://patonpublishinghouse.com/ukr/journals/sem/2020/03/04>.
2. Analysis of the Machining Process of Titanium Ti6Al-4V Parts Manufactured by Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM) [Електронний ресурс] / Fernando Veiga, Alain Gil Del Val, Alfredo Suárez, Unai Alonso // Materials 2020. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://doi.org/10.3390/ma13030766>
3. WAAM-State of the Art and the Future Prospects. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://waammate.com/documents/waamstate-of-the-art-and-future-prospects>
4. Machining of Titanium Alloys: A Review [Електронний ресурс] / Moaz H. Ali Abotihien, Basim A. Khidhir, Bashir Mohamed та ін.] // Proceedings of The Institution of Mechanical Engineers Part B-Journal of Engineering Manufacture. – 2011. – Режим доступу до ресурсу: [https://doi.org/10.1243/PIME\\_PROC\\_1990\\_204\\_04](https://doi.org/10.1243/PIME_PROC_1990_204_04).

УДК 621.01: 621.77.04

Цибуленко В.О., аспірант  
 Воронцов Б.С., докт. техн. наук, професор  
 Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,  
[momosc2tv@gmail.com](mailto:momosc2tv@gmail.com)

## ПЛАНУВАННЯ ПРОЦЕСУ АДИТИВНОГО ТА СУБТРАКТИВНОГО ГІБРИДНОГО ВИРОБНИЦТВА ПРОЦЕСУ ПЛАВЛЕННЯ В ПОРОШКОВОМУ ШАРІ (PBF)

Технологія адитивного та субтрактивного гібридного виробництва (ASHM) привернула велику увагу у промисловості та наукових колах через її величезну свободу проектування та точність поверхні. Процес плавлення в порошковому шарі (PBF) має високу точність формування, процес ASHM та PBF найбільше підходить для інтегрованого прецизійного виготовлення компонентів зі складною внутрішньою структурою. Тим не менш, існуюче планування процесу для ASHM не підходить для процесу ASHM і PBF через обмеження порошкового шару.[1] Робота WANG, Yin, та ін. була зосереджена на плануванні процесу ASHM процесу PBF, розділивши його на три етапи. По-перше, запропоновано модельний алгоритм адаптивної компенсації для збереження припуску чистової обробки. Потім, враховуючи доступність інструменту та обмеження порошкового шару, компенсаційна модель розбивається на кілька підмоделей та гібридне виробництво підмоделей у послідовності конструкції. Нарешті деякі необроблені частини внутрішньої структури можуть бути повторно оброблені після видалення деталей з порошкового шару.[2] У поєднанні з експериментами та прикладами, це гібридне планування виробничого процесу може забезпечити технічну підтримку для інтегрованого прецизійного виробництва деталей зі складною внутрішньою структурою на основі ASHM процесу PBF.

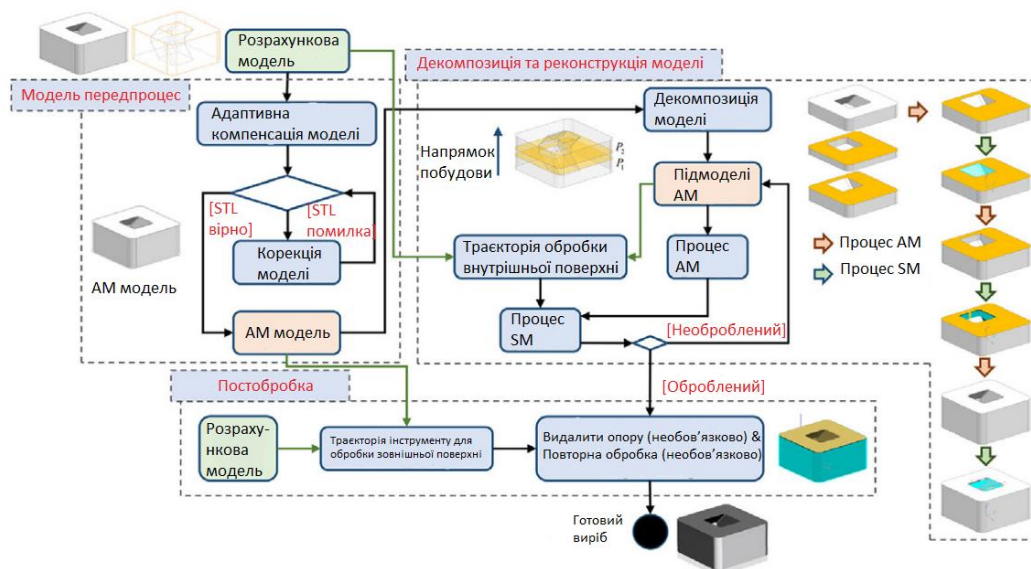


Рис.1 – Процес адитивного та субтрактивного гібридного виробництва

### Список посилань

1. WANG, Yin, et al. The process planning for additive and subtractive hybrid manufacturing of powder bed fusion (PBF) process. *Materials & Design*, 2023, 227: 111732. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2023.111732>
2. ZHU, Zicheng, et al. A review of hybrid manufacturing processes—state of the art and future perspectives. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 2013, 26.7: 596-615. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://doi.org/10.1080/0951192X.2012.749530>



УДК 621.7;621.983

Тітов В.А., докт. техн. наук, професор

Злочевська Н.К., канд. техн. наук

Максимів І.М., аспірант

Корева В.О., аспірант

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,

[zlochevskaya.natali@gmail.com](mailto:zlochevskaya.natali@gmail.com)

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПРОФІЛЮВАННЯ ВНУТРІШНЬОЇ ПОВЕРХНІ ТРУБЧАСТОЇ ЗАГОТОВКИ

Для вивчення процесу профілювання внутрішньої поверхні заготовки, отриманої всебічним радіальним обтиском бойками, визначення параметрів напружено-деформованого стану (НДС) та зусиль на бойках, знання яких необхідно для проектування штампу для обтиску, використовувався пакет прикладних програм DEFORM на основі МСЕ. На рис. 1 показано розрахункову схему процесу профілювання з циліндричною та полігональною оправками.

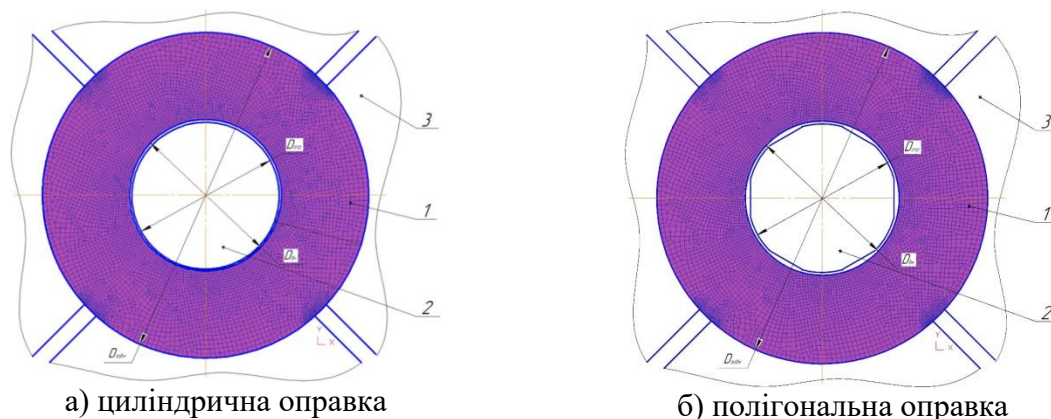


Рис. 1 – розрахункова схема процесу профілювання: 1 – заготовка, розбита на сітку скінчених елементів; 2 – оправка; 3 – бойок

Задача виконувалася в плоско-деформованій постановці. Показано НДС заготовки в момент заповнення зазору. Встановлено розподіл інтенсивності напружень, інтенсивності деформацій та середніх напружень в радіальному напрямку заготовки в її характерних зонах. Розраховано величину пружиніння матеріалу заготовки після зняття навантаження.

На рис. 2 показано розподіли інтенсивності деформацій  $\varepsilon_i$  (а) та їх компонентів  $\varepsilon_x$  (б) та  $\varepsilon_y$  (в) у трубчастій заготовці та циліндричній оправці в момент заповнення зазору.

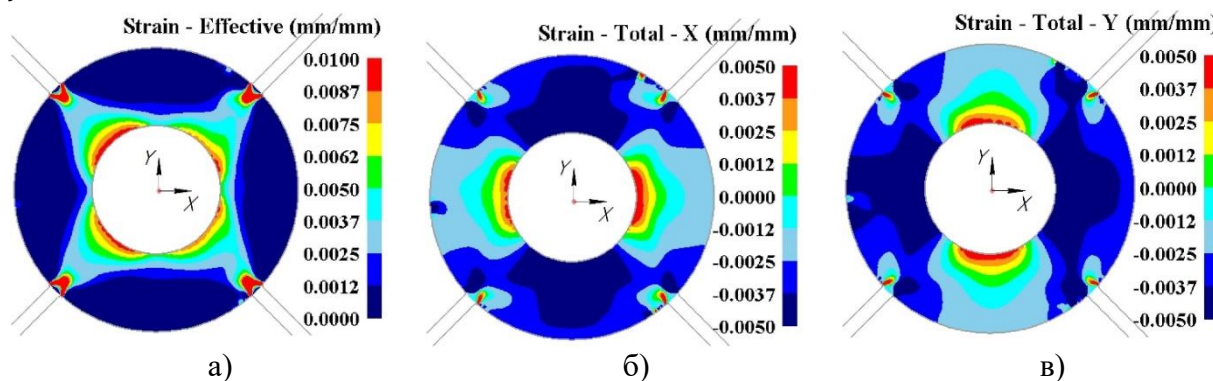
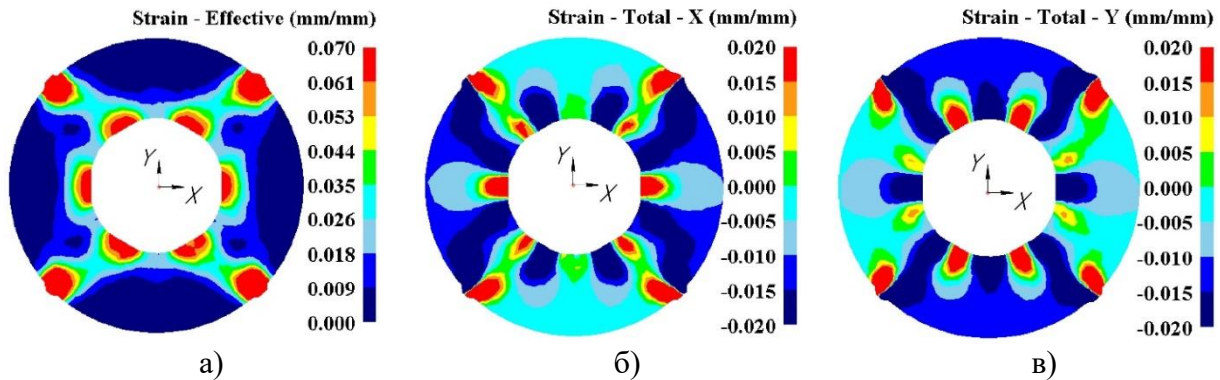


Рис 2 – Розподіл інтенсивності деформацій та їх компонентів при радіальному обтиску бойками трубчастої заготовки та циліндричній оправці

На рис. 3 показано розподіли інтенсивності деформацій  $\varepsilon_i$  (а) та їх компонентів  $\varepsilon_x$  (б) та  $\varepsilon_y$  (в) у трубчастій заготовці та полігональній оправці в момент заповнення полігонів.



а – інтенсивність деформацій  $\varepsilon_i$ ; б – деформації  $\varepsilon_x$ ; в – деформації  $\varepsilon_y$

Рис 3 – Розподіл інтенсивності деформацій та їх компонентів при радіальному обтиску бойками трубчастої заготовки та полігональній оправці

Чим більший початковий зазор тим менша величина  $\Delta R$  (або  $\frac{\Delta R}{R_B}$ ) пружиніння (рис. 4). Це пояснюється тим, що зі зростанням величини зазору в матеріалі заготовки зростають зона та величина пластичної деформації.

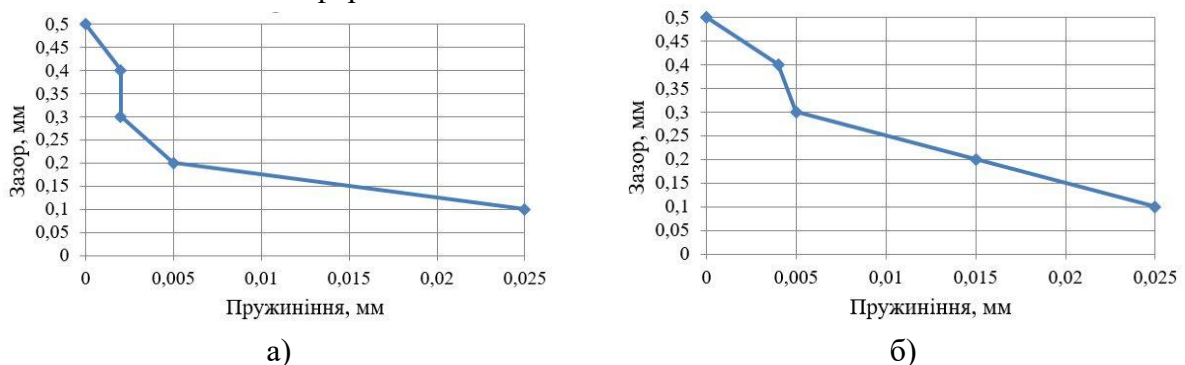


Рис.3 – Графіки залежності пружиніння внутрішнього діаметру обтисненої трубчастої заготовки від зазору між заготовкою та оправкою а) для полігональної оправки; б) для циліндричної оправки

Для полігональної оправки результати підтверджують попередні.

В місцях формування полігонального рельєфу виникають локальні деформації, величина яких практично не впливає на загальне пружиніння заготовки, тому що потужність цих деформацій значно менша за потужність обтиску трубчастої заготовки.

Залишкові напруження локалізуються в перехідній зоні між плоскими полігонами та циліндричною частиною перерізу заготовки. Їх величина визначається радіусом переходу від плоскої до циліндричної частини.

### Список посилань

1. Розов Ю. Г. Влияние характера распределения температур в объёме трубной заготовки на неоднородность поля сопротивления деформированию в операциях листовой штамповки/ Ю. Г. Розов // Известия Тульского государственного университета: Технические науки. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2013. – № 7. – ч. 2. – С. 36–43.
2. Бейгельзимер Я. Е. Напряженно-деформированное состояние металла при безправочном гидропрессовании толстостенных трубных заготовок / Я. Г. Бейгельзимер, А. В. Спусканюк: Физика и техника высоких давлений, 1995. – № 1. – С. 18–25.
3. Стеблюк В. І. Волочіння трубчастих виробів через матриці зі спеціальним гвинтовим профілем / В. І. Стеблюк, М. В. Орлюк, Ю. Г. Розов, Д. Б. Шкарлута // Вісник НТУ «ХП»: зб. наук. праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків, 2011. – № 46. – С. 90–97.

УДК 621.923: 621.891

Бельмас І.В., докт. техн. наук, професор  
 Задорожній В.А. здобувач вищої освіти другого рівня  
 Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське, [belmas09@meta.ua](mailto:belmas09@meta.ua)

### АБРАЗИВНА БЕЗКІНЦЕВА ШЛІФУВАЛЬНА СТРІЧКА

Мета роботи полягає у обґрунтуванні математичної моделі напружено-деформованого стану безкінцевого (замкненого) стрічкового інструменту абразивної обробки плоских поверхонь виробів. Модель дозволяє визначити напружено-деформований стан без кінцевої та безстикової стрічки для абразивної обробки. Вона базується на визначенні умови рівноваги волоконного елемента армування стрічки просякнutoї еластичним матеріалом – штучною смолою. Фінішні, як правило шліфувальні, операції доводять споживчі властивостей виробів до заданого рівня. При плоскому шліфуванні, в окремих випадках, застосовують абразивні безкінцеві шліфувальні стрічки на тканинній основі. Елемент армування (нитка основи) в безшовній, неперервній стрічці має спіралеподібну форму (рис. 1). За [1] показники напружено-деформованого стану для одношарового волоконного композиту:



Рис. 1 – Волоконний елемент армування

$$u_i = \sum_{m=1}^{M-1} (A_m e^{\beta_m x} + B_m e^{-\beta_m x}) \cos[\mu_m (i - 0,5)] + \frac{P}{M E F} x, \quad (1)$$

$$p_i = \sum_{m=1}^{M-1} (A_m e^{\beta_m x} - B_m e^{-\beta_m x}) \beta_m \cos[\mu_m (i - 0,5)] E F + \frac{P}{M}, \quad (2)$$

$$\tau_i = G h^{-1} (u_{i-1} - u_i), \quad (3)$$

де  $A_m, B_m$  – невідомі коефіцієнти;  $u_i, p_i$  – переміщення перерізу та навантаження  $i$  – того витка елемента армування вздовж вісі  $x$ ;  $i = 1, 2, \dots, M$ ;  $E, F$  – зведений модуль пружності матеріалу та площа перерізу нитки;  $b$  – товщина шару штучної (еластичної) смоли що з'єднує нитки стрічки;  $h$  – відстань поміж нитками;  $M$  – кількість ниток основи в стрічці;  $\mu_m = \frac{\pi m}{M}$ ;  $\beta_m = \sqrt{2 G b (1 - \cos(\mu_m)) (h E F)^{-1}}$ ;  $G$  – зведений модуль зсуву еластичної смоли.

Радіальною площиною розташованою під прямим кутом до кінців елемента армування розріжемо стрічку. Сумістимо її з площиною та спрямуємо вздовж стрічки вісь  $x$ . Напружений стан елемента армування (нитки) представимо як суму двох станів: стану в якому система ниток zdeформований силою розтягу та стану коли до одного кінця нитки прикладена сила стиску рівна силі розтягу нитки першого стану. Її вважатимемо рівною одиниці. Врахуємо умову нерозривності деформацій кінців прийнятого плоского зразка – рівність переміщень і сил розтягу ниток в перерізі розділення кільцевого інструменту армування та прикладення одиничної сили стиску до першої гілки та відсутність переміщень останньої.

$$u_i(x=l) = u_{i+1}(x=-l) \quad p_i(x=l) = p_{i+1}(x=-l), \quad p_1(x=0)=1, \quad u_M(x=-l)=0. \quad (5)$$

Вирази (1) - (3), умови сумісності деформування, та граничні умови (5) є математичною моделлю напружено-деформованого стану без кінцевого (замкненого) стрічкового інструменту абразивної обробки плоских поверхонь виробів.

#### Список посилань

1. Вплив пориву троса на напружений стан гумо-тросового вантового канату. / [Бельмас І., Білоус О., Танцура Г., Сай О., Гупало Ю.] // Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво, 2022. – №48. – с. 42-52.



УДК 631.363.2

Малєгін Р.Д., аспірант  
Алієв Е.Б., докт. техн. наук, професор  
Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро,  
[maliehin.r.d@gmail.com](mailto:maliehin.r.d@gmail.com)

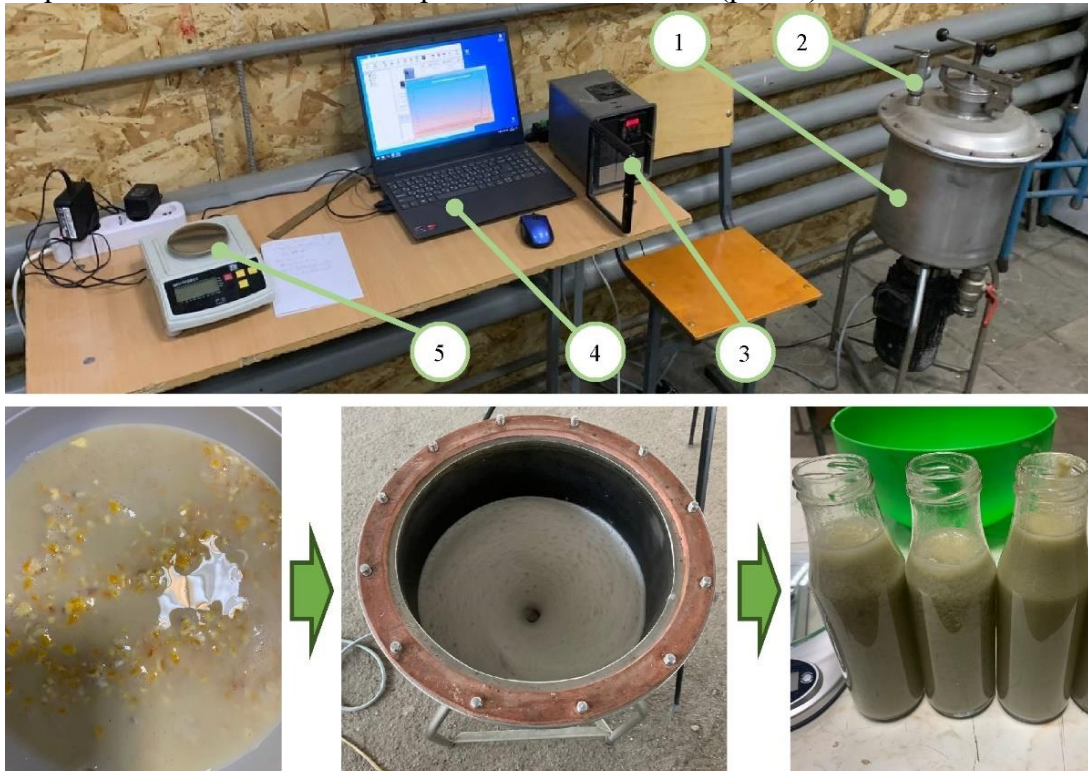
## МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РОБОТИ ДИСПЕРГАТОРА-ГОМОГЕНІЗАТОРА РІДКИХ КОРМІВ

Метою експериментальних досліджень була перевірка правильності встановлених в ході чисельного моделювання залежностей і експериментальне обґрунтування раціональних конструктивно-технологічних параметрів роботи гомогенізатора-диспергатора рідких кормів.

Програмою досліджень передбачено виконання наступних завдань:

- виготовити експериментальних зразок гомогенізатора-диспергатора і укомплектувати стенд для досліджень;
- розробити методику експериментальних досліджень;
- визначити вплив конструктивно-технологічних параметрів гомогенізатора-диспергатора на якість рідких кормів, продуктивність обладнання і витрати енергії;
- провести статистичну обробку отриманих даних і порівняти отримані залежності з результатами чисельного моделювання;
- визначити раціональні конструктивно-технологічні параметри роботи гомогенізатора-диспергатора.

Експериментальні дослідження проводилися на стенді (рис. 1).



Вихідна суміш

Процес приготування

Відбір проб

1 – експериментальний зразок гомогенізатора-диспергатора рідких кормів; 2 – датчик температури DS18B20; 3 – частотний перетворювач N700E-022SF; 4 – персональний комп'ютер; 5 – ваги електронні ВТЕ-Центровес

Рис. 1 – Стенд і етапи експериментальних досліджень

Стенд складається з експериментального зразку гомогенізатора-диспергатора, устаткування для зміни параметрів робочого процесу приготування рідких кормів (блок керування з частотним регулятором N700E-022SF (Hyundai, Південна Корея)) та контрольно-вимірювальної апаратури (електронний термометр на базі цифрового датчика температури DS18B20 (Dallas Semiconductor, USA) і персонального комп'ютера з встановленим програмним забезпеченням Hims N700 (Hyundai, Південна Корея) і BM1707 (SILINES)). Конструкція експериментального зразка гомогенізатора-диспергатора та використання обладнання стенду передбачало можливість зміни конструктивно-технологічних параметрів і вимірювання показників робочого процесу:

- діаметр вхідного отвору статора  $D_{in}$  від  $0,04 \pm 0,001$  м до  $0,06 \pm 0,001$  м за рахунок зміни фланців;
- частота обертання ротора  $n$  від 0 до  $3000 \pm 1$  хв<sup>-1</sup> за допомогою частотного перетворювача;
- об'єм завантажених компонентів  $V$  до  $0,34$  м<sup>3</sup>;
- динаміку температури суміші в ємності гомогенізатора-диспергатора за допомогою електронного термометра від  $0^\circ\text{C}$  до  $100 \pm 0,1^\circ\text{C}$  з відтвореністю  $0,5$  с;
- динаміку потужності асинхронного електродвигуна гомогенізатора-диспергатора за допомогою частотного перетворювача від 0 до  $1,50 \pm 0,01$  кВт з відтвореністю  $0,5$  с.

В якості вихідного матеріалу при проведенні експериментальних досліджень обрано ячмінь, пшеницю і сою. Згідно досліджень властивостей рідких кормів концентрація сухої речовини в суміші повинна складати 12%. Враховуючи вологість зерна (8%) співвідношення маси води до маси сипкого компонента складає 6,75:1. Маса вихідної суміші складала 5 кг (0,65 кг зерна + 4,35 кг води).

На основі проведеного чисельного моделювання процесу гомогенізації було відібрано три фактори, які найбільш вагомо впливають на робочий процес і обрано їх натуральні значення на нульовому рівні та рівні їх варіювання. Інтервали і рівні варіювання факторів при проведенні досліджень наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Рівні та інтервали варіювання факторів при проведенні експериментальних досліджень гомогенізатора-диспергатора рідких кормів

| Рівні і інтервали варіювання | Кодоване значення | Фактори і їх позначення                          |                                              |                    |
|------------------------------|-------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------|
|                              |                   | Частота обертання гвинтів $n$ , хв <sup>-1</sup> | Діаметр вхідного отвору статора $D_{in}$ , м | Час роботи $t$ , с |
| Верхній рівень               | + 1               | 3000                                             | 0,06                                         | 1800               |
| Основний рівень              | 0                 | 2250                                             | 0,05                                         | 1200               |
| Нижній рівень                | - 1               | 1500                                             | 0,04                                         | 600                |
| Інтервал варіювання          | $\Delta$          | 750                                              | 0,01                                         | 600                |

В якості критеріїв оптимізації було прийнято:

- щільність суміші  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>;
- динамічна в'язкість суміші  $\mu$ , Па·с;
- частка осаду при двогодинному відстоюванні  $\varepsilon$ , %;
- розмір частинок в суміші  $\delta$ , м;
- температура суміші  $T$ ,  $^\circ\text{C}$ ;
- потужність –  $P$ , кВт;
- продуктивність гомогенізатора-диспергатора –  $Q$ , кг/с.

Щільність визначали шляхом зважування  $1\text{ см}^3$  суміші на електронних вагах ВТЕ-Центровес-15-ТЗ-ДВ (Україна) з подальшим перерахунком (рис. 2, а).

Динамічна в'язкість суміші визначалася з використанням віскозиметра власного виготовлення (рис. 2, б) за методикою Брукфільда.

Частку осаду при двогодинному відстоюванні визначали шляхом зважування осаду суміші на електронних вагах ВТЕ-Центровес-15-ТЗ-ДВ (рис. 2, в) з подальшим перерахунком.

Розмір частинок в суміші визначали з використанням цифрового мікроскопа Bresser LCD micro (Bresser Optic, Німеччина) з подальшим перерахунком (рис. 2, г).

Потужність гомогенізатора-диспергатора визначали з використанням частотного перетворювача N700E-022SF і програмного забезпечення Hims N700.

Продуктивність гомогенізатора-диспергатора визначали, як відношення маси вихідної суміші до часу роботи.



а – визначення щільності суміші; б – визначення динамічної в'язкості суміші;  
в – визначення частки осаду при двогодинному відстоюванні;

Рис 2 – Стенд і етапи експериментальних досліджень

Для визначення впливу кожного з факторів на критерії оптимізації процесу приготування рідкого корму проведені дослідження за матрицею D-оптимального плану Бокса-Бенкіна другого порядку для трьох факторів із загальною кількістю дослідів  $3^3 = 9$ . Кожен дослід проводився з триразовою повторністю.

Обробка результатів проведених досліджень за методом факторного планування експерименту виконується з використанням програмного пакету Wolfram Mathematica (Wolfram Research, USA). Умови однорідності дослідів припускають приблизно однаковий вплив помилок за усіма точками у плані дослідів. Для перевірки відтворення дослідів, які виконувалися у трьохкратній повторності, використовують критерій Кохрена. Адекватність отриманих моделей перевірялась за допомогою критерію Фішера. Значимість коефіцієнтів регресії перевіряється за допомогою визначення довірчого інтервалу для коефіцієнтів регресії. Коефіцієнт регресії враховується значимим, якщо його абсолютне значення перевищує величину довірчого інтервалу, який визначається за t-критерієм Стюдента.

УДК 621.002.3:621.89

Роїк Т. А., докт. техн. наук, професор  
Гавриш О. А., докт. техн. наук, професор  
Віцюк Ю. Ю., канд. техн. наук, доцент  
Бровкин А. О., аспірант

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», [iuvitsiuk@gmail.com](mailto:iuvitsiuk@gmail.com)

## ВИБІР АБРАЗИВНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ШЛІФУВАННЯ ЗНОСОСТІЙКИХ ДЕТАЛЕЙ З ЛЕГОВАНИХ КОМПОЗИТІВ ДЛЯ ДРУКАРСЬКИХ МАШИН

Однією з найголовніших проблем розвитку поліграфічної техніки є забезпечення високих показників її надійності, довговічності, працездатності та ремонтоздатності.

З цієї точки зору доцільно звернути увагу на створення за останні роки зносостійких антифрикційних композиційних матеріалів на основі вторинної сировини - низки відновлених шліфувальних відходів інструментальних і штампових сталей з домішками твердого мастила  $\text{CaF}_2$ , які призначені для роботи в режимі самозмащення [1, 2].

Слід зазначити, що найбільш ефективно ці матеріали працюють при жорстких умовах експлуатації, коли швидкості обертання сягають 5000 об/хв., і питомі тиски до 5,0 МПа. Саме для забезпечення вимог зносостійкості були проведені дослідницькі роботи з розробки технології синтезу композитних заготовок антифрикційних деталей на основі і шліфувальних відходів високолегованих інструментальних сталей з домішками твердого мастила  $\text{CaF}_2$ . [1, 2]. При цьому легувальні елементи нових зносостійких сплавів утворюють в їх структурі велику кількість зміцнюючих фаз – карбідів та інтерметалідів. Це, у поєднанні з  $\text{CaF}_2$ , забезпечує формування високих фізико-механічних та антифрикційних властивостей матеріалів (табл. 1).

Таблиця 1 – Основні фізико-механічні та антифрикційні властивості композиційних сплавів на основі високолегованих сталей

| Склад композиту, мас.%     | Межа міцності при згині, МПа | Твердість, НВ, МПа | Ударна в'язкість, кДж/м <sup>2</sup> | Коефіцієнт тертя | Інтенсивність зношування, мкм/км |
|----------------------------|------------------------------|--------------------|--------------------------------------|------------------|----------------------------------|
| 85Х6НФТ 6CaF <sub>2</sub>  | 570 – 600                    | 860 – 920          | 750 – 760                            | 0,21–0,23        | 55–68                            |
| 11РЗАМЗФ+6CaF <sub>2</sub> | 590 – 620                    | 850 – 910          | 770 – 790                            | 0,22–0,24        | 57–70                            |

Примітка: Трибовипробування при V= 5000 об./хв., P= 5,0 МПа, контртіло – сталь Р18 (HRC 57)

Деталі з нових антифрикційних композитів [1, 2] належать до класу важкооброблюваних матеріалів і потребують особливого підходу до вибору типу абразивних інструментів, які мають бути застосовані для тонкої обробки робочих поверхонь тертя. На жаль, розгалужених досліджень технологічних процесів тонкого абразивного оброблення важкооброблюваних легованих композитних матеріалів на сьогодні бракує.

Отже, дослідження по оптимізації вибору абразивних матеріалів для тонкого шліфування новітніх типів високозносостійких композиційних матеріалів на основі відновлених шліфувальних відходів, є важливою задачею, яка має наукове і практичне значення. Це ілюструє актуальність обробленої теми досліджень.

Метою даної роботи було дослідження впливу типу абразивного інструменту на рівень витривалості при тонкому плоскому шліфуванні антифрикційних композитів, синтезованих на основі інструментальних сталей типу 85Х6НФТ та 11РЗАМЗФ з домішками твердого мастила  $\text{CaF}_2$ .

Ступінь взаємодії композитів 85Х6НФТ+6%CaF<sub>2</sub> та 11РЗАМЗФ+6%CaF<sub>2</sub> з різними абразивними матеріалами досліджувались методом дифузійного відпалу.

Ці дослідження підтвердили коректність та вірність запропонованих теоретичних припущень. Так, якщо при використанні зерен електрокорунду білого (23А) дифузійний



шар дорівнював 400 мкм, зерен карбіду кремнію зеленого (63С) – 50 мкм, то при використанні синтетичного алмазу (АС) він був у межах 20 – 25 мкм, зерен карбіду цирконію – 10 – 12 мкм. При використанні у якості абразиву бориду вольфраму дифузійного шару на межі контакту різальних зерен з поверхнею деталі з композитного сплаву взагалі не виявлено.

Дослідження взаємодії вказаних абразивних матеріалів з дослідженими композитами здійснювалось методом тонкого плоского шліфування на прецизійному плоскошліфувальному верстаті FF-350 фірми «Abawerk» (Німеччина) згідно методики, викладеній у [1, 2]. У процесі тонкого шліфування нових композитів силові фактори за своїми величинами – незначні. Тому всі зміни, що відбуваються у поверхневих шарах деталей є результатом впливу миттєвих контактних температур у зоні зрізання стружки. Дослідження зношування шліфувальних зерен з різних абразивних матеріалів було виконано за допомогою методу стереограметричного.

Як основний критерій змін у поверхневих шарах композитних деталей при шліфуванні абразивами з різних матеріалів було обрано параметр втомної міцності  $\sigma_{-1}$ .

Велика серія дослідів і витривалість зразків, які були прошліфовані при різних умовах (рис. 1) показала, що найнижчий показник межі витривалості  $\sigma_{-1}$  отримано при шліфуванні зразків шліфувальними кругами з електрокорунду білого (23А). Далі (за ступенем зростання межі витривалості  $\sigma_{-1}$ ) ідуть карбід кремнію зелений (63С), корунд зі змістом у його складі до 10 % оксиду хрому  $\text{CrO}$  (32А), карбід кремнію чорний (53А), карбід цирконію, борид вольфраму та синтетичний алмаз (АС).

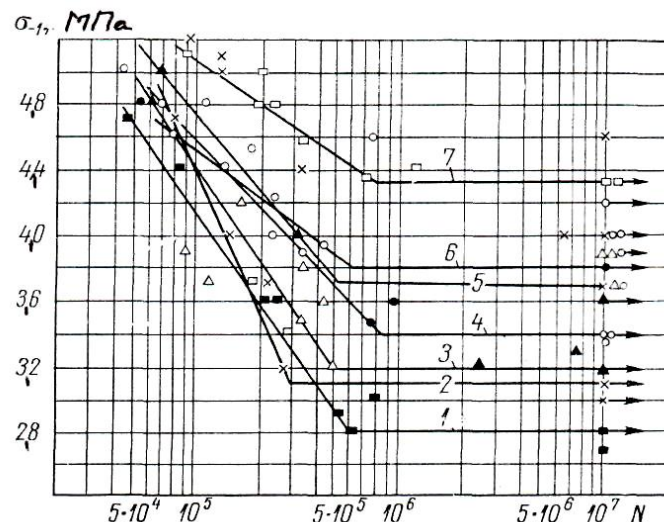


Рис. 1 – Порівняльні криві межі витривалості  $\sigma_{-1}$  зразків з композиту 85Х6НФТ+6%  $\text{CaF}_2$  після шліфування кругами зернистістю 250 мкм з ріжучими зернами з різних абразивних матеріалів: 1 – електрокорунд білий (23А); 2 – карбід кремнію зелений (63С); 3 – корунд з 10 % оксиду хрому  $\text{CrO}_2$  (32А); 4 – карбід кремнію чорний (53А); 5 – карбід цирконію; 6 – борид вольфраму; 7 – синтетичний алмаз (АС)

Доведено, що параметри витривалості деталей з легованих композитів та характеристики втоми поверхневих шарів деталей тертя суттєво залежать від типу абразивного інструменту, що застосовується для процесу тонкого шліфування. Показано, що найкращі результати можуть бути отримані при використанні абразивів на основі тугоплавких сполук, синтетичних і природних алмазів.

#### Список посилань

1. Шліфування і доводка зносостійких антифрикційних композитних деталей друкарських машин: Монографія. / [Гавриш А. П., Роїк Т. А., Гавриш О. А., Киричок П. О., Віцюк Ю. Ю., Олійник В. Г.] – Ч. 3. – К.: Видавничий дім „АртЕк”, 2021. – 202 с., ISBN 978-617-7814-80-0.

<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/41909>

2. Роїк Т. А. Параметри наклепу поверхонь антифрикційних композитних деталей тертя друкарських машин при фінішному кубонітовому шліфуванні / Роїк Т. А., Гавриш О. А., Віцюк Ю. Ю., Бровкин А. О. // Технологія і техніка друкарства. – К.: НН ВПІ КПІ ім. Ігоря Сікорського. – №2 (76). – 2022. – С. 22-36. <http://ttdruk.vpi.kpi.ua/article/view/267425/265122>

УДК 621.91; 620.172

Тулупов В.І., канд. техн. наук, доцент  
Онищук С.Г., канд. техн. наук, доцент  
Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ,  
[vladimir.tulupov@gmail.com](mailto:vladimir.tulupov@gmail.com)

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ СПОСОБІВ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

При виготовленні продукції машинобудування питома доля вартості енерговитрат на обробку становить від 15 до 25% [1]. У зв'язку з постійним зростанням вартості енергетичних ресурсів виникає необхідність використання енергозберігаючих технологій.

Однією з енергоємних операцій є термічна обробка. Її наявність в технологічному процесі крім того подовжує виробничий цикл виготовлення виробів. Тому використання енергоефективних способів механічної обробки з заміною окремих термічних операцій є актуальним завданням.

Автором роботи [2] запропоновано для визначення рівня енергозатрат в зоні різання на знімання заданого об'єму матеріалу шару заготовки використовувати питому енергоємність різання:

$$e = \frac{A_{\text{різ}}}{V} = \frac{N_{\text{еф}}}{P_{\text{різ}}} = \frac{N}{vSt}, \quad (1)$$

де  $A_{\text{різ}}$  – робота різання;

$V$  – об'єм шару матеріалу, що перетворюється на стружку;

$N_{\text{еф}}$  – ефективна потужність різання;

$P_{\text{різ}}$  – продуктивність різання (знімання стружки в одиницю часу);

$v$  – швидкість різання;

$S$  – подача різця;

$t$  – глибина різання.

Для зменшення енергоємності процесів механічної обробки в машинобудуванні використовують додаткові джерела тепла. Ідеальне штучне джерело тепла, що застосовується у технологічному методі поверхневого зміцнення, повинно забезпечувати швидкісне нагрівання металу, піддаватися контролю та регулюванню в строго нормованих дозах в одиницю часу, забезпечувати широкий діапазон температур. Під час вибору методу оброблення велике значення мають питомі витрати енергії на нагрівання одиниці об'єму металу.

Найменші витрати енергії (питомі витрати енергії) спостерігаються при використанні електричних джерел тепла (менше 1 Дж/см<sup>3</sup>), а найбільші – при використанні плазмово-механічних (4,5 Дж/см<sup>3</sup>) та лазерно-механічних джерел тепла (більше 6,5 Дж/см<sup>3</sup>).

Авторами роботи проведено експериментальні та виробничі дослідження щодо використання електричного струму як джерела тепла [3]. Реалізацією є два технологічних способи – електромеханічне точіння та чистове точіння з електроімпульсним нагріванням.

Особливістю електромеханічного точіння є використання електричного струму, в результаті чого на оброблювану поверхню діє одночасно силовий та тепловий вплив. В зону



різання вводиться змінний електричний струм, що пропускається через задню поверхню різальної кромки інструмента з нульовим заднім кутом. Живлення відбувається від джерела змінного струму при робочій напрузі 3-6 В та силі струму 150-200 А.

Чистове точіння з електроімпульсним нагріванням полягає в тому, що через головну задню поверхню різальної кромки пропускається імпульсний електричний струм. Утворюється регулярна структура у вигляді зміцнених фрагментів. Їх розташування залежить від частоти та тривалості імпульсів струмів, режимів механічного оброблення (подачі та частоти обертання шпинделя). Живлення відбувається від генератора імпульсного струму: частота імпульсного струму 20...8000 Гц, шпаруватість 20...80%, максимальна робоча напруга 10 В, вихідний імпульсний струм прямокутної форми.

Результатом використання обох способів є створення регулярного мікрорельєфу. Наявність регулярного мікрорельєфу створює умови для рідинного режиму тертя при експлуатації деталі, що підвищує їх експлуатаційні властивості та термін служби.

Використання електричного струму в зоні різання призводить до покращення умов різання за рахунок збільшення пластичної зони та, як наслідок, зменшення сили різання. Проведені експериментальні дослідження складових сил різання з використанням універсального трикомпонентного динамометра свідчать про зменшення їх величини на 20-30% в залежності від оброблюваного матеріалу та режимів різання. В результаті зменшується потужність різання  $N_{\text{еф}}$ , та відповідно й питома енергоємність різання, що визначається за формулою (1).

Авторами були проведені експериментальні дослідження. Зокрема, дослідження чистового точіння з електроімпульсним нагріванням проведено на зразках зі сталі 40ХН. Металографічні дослідження показали формування в поверхневому шарі дрібнозернистої структури мартенситу та «білого» шару товщиною до 0,1 мм. Мікротвердість світлої зони поверхневого шару разом з мартенситом становить  $H_{\mu} = 5900$  МПа.

Дослідження зносостійкості на машині тертя СМЦ-2 довели, що зношення зразків, що оброблені з імпульсним струмом, менше, чим у зразків, що загартовані струмами високої частоти (СВЧ). Це свідчить про те, що можна виключити операцію термічної обробки з технологічного процесу при наявності операцій, що виконуються з використанням електричного струму.

Запровадження технологічної операції з використанням електричного струму при виготовленні ступінчастих валів зі сталі 40ХН показує наступні переваги порівняно з існуючим технологічним процесом:

- можливість заміни декількох операцій (зокрема токарної, двох шліфувальних та термічної) однією операцією електромеханічного або електроімпульсного точіння;
- зміцнювання поверхневого шару деталі;
- оброблення на одному обладнанні замість декількох;
- низькі витрати на обладнання та устаткування для живлення струмом;
- зменшення виробничого циклу виготовлення деталей.

Наприклад, кількість енергії, що витрачається на виконання чотирьох операцій може бути зменшена при заміні на операцію точіння з електроімпульсним нагріванням на 80%.

#### Список посилань

1. Мироненко Е. В. Общая структура математической модели для определения энергоэффективных технологических параметров токарной обработки деталей тяжелого машиностроения. / Мироненко Е. В., Клименко Г. П., Калиниченко В. В. // Резание и инструмент в технологических системах. – 2015. – Вып.85. – с. 202–210.
2. Карпов А. В. К вопросу управления процессом резания на основе энергетических закономерностей деформации и разрушения твердых тел. / Карпов А. В. // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. – 2011. – № 1 (8). – с. 37–49.
3. Ковалевський С. В. Спеціальні методи оброблення робочих поверхонь деталей машин: монографія. / Ковалевський С. В., Тулупов В.І. – Краматорськ: ДДМА, 2012. – 100 с.

UDC 62

**Gao Xingmin**, PhD student

National Technical University of Ukraine «Ihor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»,  
[18152022190@163.com](mailto:18152022190@163.com)

## CURRENT STATE AND PRICE POLICY OF VICE PRODUCTION IN CHINA

The relevance of the study is due to the need for a detailed analysis of the current state of production of vices in China by leading companies, price policy and the growing demand for universal vices. The purpose of the work is to analyze the current state of production of vices in China and to find new ideas and approaches to improve and create new designs of vices with expanded functionality for clamping complex-profiled objects with different physical and technical properties [1, 2].

The current state of vice production in China.

Until the middle of the 19th century, China was a traditional feudal agricultural country, and the Chinese economic system was a self-sufficient small-scale peasant economy that created households as units. Industrial production at that time belonged to traditional craft production. The industrial revolution, which began in European countries in the 18th century, entered the industrial society. Because of this, China and Western countries have a fundamental difference in the economy. Also, the contradiction between the two sides over foreign trade gradually intensified. The first opium war of 1840. After the war, the Qing government that ruled China was forced to open up to the outside world. Against this background, in 1861, the Qing government began a westernization movement. China's modern industry began with the westernization movement in the 1860s. After more than a hundred years of development, it has become the main driving force behind China's development as a modern country. By the time the People's Republic of China (PRC) was founded, it had inherited a large number of industrial facilities that had been destroyed by war and destroyed when the PRC was on the mainland. After relations with the Soviet Union broke down, China groped and advanced on its own, and once again completed the development of modern industry. Until now, China is still working hard to develop its industry, and many companies have been established. Below are a few companies related to process equipment and vices in particular.

**Ningbo Changcheng Seiko Industrial Co. Ltd. 宁波长城精工实业有限公司** [3]. Founded in August 1984, it is a leading enterprise in China's hardware industry and recognized by the industry as the first Chinese hardware measuring instrument brand. The products are widely used in many industries, such as power construction, steel and coal, railway transportation, petrochemical industry, building decoration, shipbuilding, heavy industry, water conservancy, construction machinery, electronic telecommunications, military industry, etc. Shanghai Hanton Tools Co., Ltd. Hanton Tools was founded in Shanghai in 2003. The team has been developing and building international markets such as Europe and the United States for over a decade. It enjoys the reputation of the "King of the Hammers" in the industry. Its products are sold in more than 100 countries. A tooling business that integrates with sales and strives to improve cost efficiency. In 2014, the tool brand "Handun" independently developed 75 sets of installation tools and won a number of public recognitions, such as the Shanghai Award for Excellent Innovative Products of Light Industry. In 2015, we were the first to offer a standardized full-fledged after-sales service. Service advocacy largely meets the needs of most operators and consumers.

**Hardware Shanghai Minate/MNT/美耐特** [4]. Minate Group; is an enterprise that integrates research and development, production and sales. The group company has the trademark "DEGUQMNT Minate" for the production of DC mini electric grinders, cordless engraving machines and DC blowers. She has more than 50 patents. Shanghai Minate Hardware mainly

focuses on power tools. In 1998, the products expanded into automotive maintenance, electronic tools and other industries.

**Endura力易得** [5]. Since its establishment in 1998, the Endura tool brand has been engaged in the research and development, production and sales of industrial hand tools. Its ENDURA brand provides users with complete sets, insulation tools, plumbing tools, pliers, explosion-proof tools, special automotive maintenance tools and other support solutions with more than 3,600 products in 20 categories widely used in industry and mining, technical car maintenance, construction equipment, property and home improvement. Appearance and other quality indicators meet and exceed American ANSI standards, German DIN standards and Chinese national standards. After 20 years of hard work, Liyide's sales network has spread to 32 provinces and cities across the country and 10 countries and regions, including Australia, the Philippines, the United Kingdom and South Africa.

**Linyi City Hedong District Juyoupin Hardware Tools Co., Ltd. 山东易之力工具有限公司** [6]. Yizhili brand is owned by Linyi Hedong District Juyoupin Hardware Tools Co., Ltd., which was established in 2012. It is a well-known brand of hardware tools and is a professional manufacturer of tool boxes, plastic tool boxes, plastic iron tool boxes, tool bags, tool sets and other products. Manufacturing and processing companies, the product quality is recognized by the industry. The company owns its own brand Yizhili, which is a well-known brand of hardware tools. Its main products include: power tools, garden tools, welding equipment, etc. 绿林/greener. Yantai Lvlin Tools Co., Ltd. was founded in 1992. After more than 20 years of hard work, she has formed a production, supply and sales organization. Tool distribution system: Greenwood Tools has a developed and extensive tool distribution system in Jiaodong area. The registered trademark "Greenwood" has become a well-known brand in the world of tools. Hobert enterprise co., ltd. Hobert Enterprise Co., Ltd. was established in 1995 and specializes in the production of various vices and spare parts for machine tools, especially double force vices. Haubert vices are made of cast steel FCD60, have high clamping force, small curvature, no deformation and resistance to bending loads.

**Deli Tools Co., Ltd. 得力工具有限公司** [7]. Deli Tools Co., Ltd., established in 1998, is a hardware enterprise integrating research and development, design, production and sales. Application scenarios such as engineering, horticulture, electromechanical maintenance and household tools have maintained a leading market share for many years, and have become a leading brand in the Chinese tool industry. Laizhou Hongyuan vice Manufacturing Co., Ltd. Laizhou Hongyuan Vice Manufacturing Co., Ltd. was founded in 1998 as a result of the restructuring of the former Laizhou Deputy Factory. At present, it mainly produces products such as vices, ADIs, auto parts, construction machinery parts and power parts, which are sold to the United States, Canada, Australia, Japan and EU countries. The company has more than 50 years of history in the production of vices and has become the world's largest manufacturer of vices. With an annual production volume of 1.3 million bench vices, the quality of the product has been fully recognized by consumers. The self-developed table vise has received more than 50 domestic and foreign patents, has been recognized as a well-known brand product in China, and registered in the European Union, the United States and other regions. In April 2016, the Forward trademark was registered in the US and now has an international independent brand. An analysis of the price policy was also carried out to maintain positions on the world market in the face of competition and growing demand. Conclusion. As a result of the analysis, it is necessary to search for new ideas and approaches [1,2] to improve and create new constructions of vices with expanded functionality for clamping complex-profiled objects with different physical and technical properties.

## References

1. Yu. M. Kuznetsov, G. Sinmin, O. V. Samoilenko. Prerequisites for using the system-morphological approach and the theory of fractals in the creation of vices for objects of complex shape. Scientific news of KPI. 2021. No. 4. P. 52–57. URL: <https://doi.org/10.20535/kpissn.2021.4.261849>

2. Kuznetsov Yu.M., Prydalnyi B.I., Gao Xinmin. New views and approaches to the creation of automated universal vices for clamping complex-profiled objects / section "Mechanical engineering" in col. monograph "Prospective direction of scientific and practical activity". Sharman Oaks, California (USA), 2023.-p.p.239-332. DOI 10.51587/9798-9866-95921-2023-011-239-332

3. Great Wall Precision Industrial [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.gwpstools.com](http://www.gwpstools.com).

4. DEGUQMNT [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.mnt-tools.com/About/intro/>

5. Endura [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.enduratool.com/about-index-index-cid-1-sid-1-lan-cn>

6. Aiqicha.baidu [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://aiqicha.baidu.com/detail/compinfo?pid=30122122763089&rq=ef&pd=ee&from=ps>

7. Deli [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.deli-tools.com/>

УДК 621.9

Дядя С.І., канд. техн. наук, доцент  
Козлова О.Б., канд. техн. наук, доцент  
Тришин П.Р., канд. техн. наук  
Яхно Д.А., аспірант

Національний університет «Запорізька політехніка», kozlova@zntu.edu.ua

## КОНТРОЛЬ КОЛИВАНЬ ПРИ КІНЦЕВОМУ ФРЕЗЕРУВАННІ РОЗПОДІЛОМ ЇХ НА ШВИДКІСНІ ЗОНИ

Прогнозування умов різання на металорізальних верстатах дозволяє планувати точність обробки, продуктивність, стійкість інструменту. Саме для цього будують пелюсткові діаграми стабільності, за якими для кінцевого фрезерування визначають межі осової глибини залежно від частоти обертання шпинделя. В якості критерію оцінювання обрано співвідношення  $k$  частоти коливань  $f_c$  до зубцевої частоти  $f_z$  [1].

$$k = \frac{f_c}{f_z} = \frac{60 f_c}{n z} \quad (1)$$

За цим показником розрізняють чотири зони (рис. 1), в яких є ділянки стабільності.

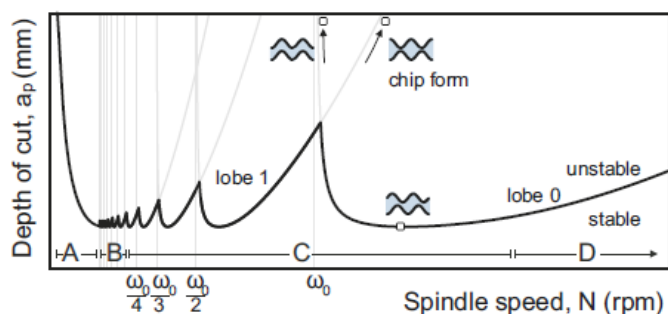


Рис.1 – Пелюсткова діаграма [1]

В зоні високих швидкостей  $C$  ( $3 > k > 0,5$ ) на поверхні різання практично не залишається хвилястість і діють тільки вимушені коливання. Зона надвисокої швидкості  $D$  ( $0,5 > k$ ) характеризується стабільністю різання через те, що зубцева частота набагато перевищує власну частоту інструменту або деталі. Але через механічні обмеження верстатів ця зона не завжди доступна. На підставі формули (1) частоту обертання шпинделя в залежності від оброблюваності матеріалу для сталого фрезерування в умовах стисненої регенерації, коли в зачепленні знаходиться кілька різальних зубів і відсутній холостий хід, можна розрахувати за формулою (2) і скоригувати вибором числа зубів інструмента.

$$n = \frac{60 f_c}{kz} \quad (2)$$

При цілих значеннях  $k$  товщина шару, що зрізається буде однаковою.

#### Список посилань

1. Chatter suppression techniques in metal cutting / Munoa J., Beudaert X., Dombovari Z., Altintas Y., Budak E., Brecher C., Stepan G. // CIRP Annals – Manufacturing Technology. – 2016. – Vol. 65. – P. 785–808.

УДК 681.6; 621.7; 616-77

**Симонюк В.П., канд. техн. наук, доцент**  
**Тимошук А.А., магістрант**

Луцький національний технічний університет, volodimir\_simonyuk@ukr.net

### ДО ТЕХНОЛОГІЇ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПІКАННЯ

Селективне лазерне спікання (SLS) - це технологія адитивного виробництва, в якій використовується потужний лазер для спікання дрібних частинок полімерного порошку в міцну структуру на основі 3D-моделі.

3D-друк за технологією SLS був популярним серед інженерів і виробників протягом десятиліть. Завдяки низькій собівартості моделі, високій продуктивності та поширеним матеріалам ця технологія чудово підходить для вирішення широкого спектра завдань: від швидкого прототипування до виробництва в малих обсягах, виготовлення обмежених пробних партій або створення виробів за індивідуальним замовленням.

Останні досягнення в галузі техніки, матеріалів і програмного забезпечення відкрили можливість друку за технологією SLS ширшому колу компаній. Раніше такі інструменти використовувалися лише в кількох високотехнологічних галузях.

Метод адаптований для роботи з різними матеріалами, серед яких пластмаси, метали, скло, кераміка та різноманітні порошкові композиційні матеріали. Сьогодні всі ці технології класифікуються як синтез на підкладці - адитивні виробничі процеси, за допомогою яких виконується вибіркове спікання областей порошкового шару під впливом теплової енергії.

На даний момент існують дві найпоширеніші системи синтезу на підкладці - це метод на основі пластмаси, зазвичай званий селективним лазерним спіканням (SLS), і метод на основі металу, відомий як пряме лазерне спікання металів (DMLS) або селективне лазерне плавлення (SLM). До недавнього часу обидві системи були дуже дорогими і складними, що обмежувало їхнє використання виробництвом невеликих партій дорогих моделей або виробів за індивідуальним замовленням, таких як аерокосмічні компоненти або медичні пристрої.

Завдяки інноваціям у цій галузі метод SLS на основі пластику стане таким самим доступним, як і інші технології 3D-друку, наприклад стереолітографія (SLA) та моделювання методом наплавлення (FDM), і набуде широкого поширення у вигляді доступних, компактних систем.

Моделі, створені за допомогою 3D-друку за технологією SLS, мають чудові механічні характеристики: їхня міцність порівнянна з міцністю моделей, відлитих під тиском.

Особливість селективного лазерного спікання полягає в тому, що для побудови геометрично складних деталей не використовується матеріал підтримки. У ролі підтримуючої структури виступає порошок, який не зазнав впливу лазерного променя.

Матеріали для 3D-друку за технологією SLS - пластикові порошки з домішками, що мають різні механічні властивості. Широкий вибір матеріалів дає підприємствам, які впровадили SLS-технологію, додаткову гнучкість.

Технологія забезпечує високу швидкість друку. Оскільки вона не передбачає повного розплавлення частинок матеріалу, SLS-установки більш продуктивні, ніж інші 3D-принтери, що працюють із порошками.

Виявлення недоліків в існуючих лазерних системах, і їх подальше вдосконалення дозволить збільшити спектр матеріалів для 3D друку. Необхідно, також, проводити дослідження не лише для виявлення можливостей підсилення лазерної системи, а і для розробки лазерної системи з можливістю змінювати робочий струм і температуру.

Потрібно розуміти, що різні матеріали для друку вимагають різну робочу температуру лазерного спікаючого променя. Якщо пристрій не буде враховувати цих вимог, і не буде налаштовувати свою лазерну систему під конкретну температуру, то ми ризикуємо отримати результат друку, який по своїм фізико-механічним властивостям не буде відповідати заданим вимогам.

Ще одним вагомим вдосконаленням, яке ми зможемо досягти, підсиливши лазерну систему пристрою, це підвищення швидкодії пристрою. Швидкість друку по технології селективного лазерного спікання означає те, наскільки швидко лазерний промінь може розігріти мікрочастинки порошку до температури їх спікання, при цьому не пошкодивши матеріал друку. Швидкість друку – це поняття комбіноване і залежить ще і від матеріалу друку. Швидкодія на пряму впливає на якість отриманої деталі, оскільки спікання йде між декількома фрагментами порошку, і якщо крайні фрагменти будуть остигати під час повільного нагрівання центрального, якість спікання буде суттєво знижуватися.

Суттєво покращити якість спікання допоможе пришвидшення процедури 3D друку, але це вимагає прикладення багатьох зусиль від розробників пристрою. Перш за все необхідно проводити скрупульозні дослідження, як потужність лазерного променя буде впливати на швидкість доведення фрагменту порошку відповідної площі до такої температури, при якій можливе якісне спікання цього фрагменту матеріалу з іншими, і при цьому не призведе до руйнування матеріалу через перегрів, його спалення, чи погіршення фізико-механічних властивостей. При цьому, необхідно враховувати дистанцію до лазера і кількість спечених шарів під теперішнім шаром.

Провівши такі дослідження, ми отримаємо час в мікросекундах, який необхідний для якісного спікання частинок порошку конкретної марки, в конкретному просторовому положенні і з використанням конкретної потужності лазера. Отримавши ці дані, нам необхідно буде правильно запрограмувати мікроконтролер, який буде керувати процесом друку. В програмі друку будуть враховані досліджені часові інтервали. Для якісного виконання такої вимогливої програми необхідне використання сучасних мікроконтролерів і операційних систем реального часу.

Окрім підвищення якості друківаних деталей, пришвидшення процесу друку значно покращить зручність його використання і зробить такий пристрій більш успішним на ринку, оскільки в нашому житті абсолютно все впирається в швидкодію, а якщо швидкодія 3D друку методом селективного лазерного спікання зрівняється зі швидкістю виготовлення деталей класичним способом, то ми отримаємо суттєве розповсюдження технології селективного лазерного спікання у виробництві.

#### Список посилань

1. The Different SLS 3D Printers on the Market. [Електронний ресурс] / Published on July 14, 2022 by Niru K. – Режим доступу: <https://www.3dnatives.com/en/different-sls-3d-printers-220320184/>
2. The Best SLS 3D Printers of 2022. [Електронний ресурс] / by Ile Kauppila. Updated Mar 15, 2022 – Режим доступу: <https://all3dp.com/1/best-sls-3d-printer-desktop-industrial/#sintratec-kit>
3. Selective Laser Sintering [Електронний ресурс] / Protolabs, 2022 – Режим доступу: <https://www.protolabs.com/services/3d-printing/selective-laser-sintering/>
4. Guide to Selective Laser Sintering (SLS) 3D Printing. [Електронний ресурс] / Formlabs, 2022 – Режим доступу: <https://formlabs.com/blog/what-is-selective-laser-sintering/>



5. What is SLS 3D printing? [Електронний ресурс] / Sinterit, 2022 – Режим доступу: <https://sinterit.com/blog/sls-technology/what-is-sls-3d-printing/>

6. SLS 3D Printing – The Ultimate Guide. [Електронний ресурс] / by Carolyn Schwaar. Published Jul 21, 2022 – Режим доступу: <https://all3dp.com/1/sls-3d-printing-the-ultimate-guide/>

УДК 621.91.002

Стецько А.Є., канд. техн. наук, доцент

Національний університет «Львівська політехніка», [andrew73@ukr.net](mailto:andrew73@ukr.net)

## МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ ДЕТАЛЕЙ ІЗ КОЛЬОРОВИХ СПЛАВІВ ФОРМУВАННЯМ Ni-Co-P ЗМІЦНЮВАЛЬНИХ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ

У поліграфічному виробництві при виготовленні етикетково-пакувальної продукції великими тиражами дуже часто виникає проблема тиражостійкості металевих штампів та кліше [1], які за технічними вимогами повинні точно відтворювати зображення протягом усього тиражу.

Виготовлені штампи і кліше промисловим способом вже після відносно невеликого тиражу (200-300 тис. тисень) отримують механічні дефекти і руйнуються.

Розроблено метод зміцнення деталей з кольорових сплавів, застосування якого при їхньому виготовленні дає високі результати зносостійкості. Метод полягає в попередній механічній обробці поверхонь деталі, декапування, підготовці до хімічного осадження, нанесення хімічного Ni-Co-P хімічного покриття високої щільності та рівномірності, кінцева обробка.

У процесі осадження металів хімічним способом на відповідних ділянках проходять мікроструми, які утворюються в результаті окремих хімічних реакцій. Ці струми надзвичайно малі та рівномірні, що забезпечують рівномірність осадження покриттів.

За результатами наукових досліджень [2–3], нанесені зміцнені покриття на вуглецевих сталях і кольорових сплавах (в т.ч. на латунях), що дозволяють значно підвищити фізико-механічні характеристики, а саме: отримати зміцнене покриття на фізичній поверхні товщиною від 13-15 мкм за годину осадження і мікротвердістю до 9 ГПа.

Одержані нами дані наукових досліджень дають можливість отримувати зміцнені покриття на поверхнях штампів, які забезпечують потрібні фізико-механічні характеристики штампів для підвищення їх тиражостійкості та забезпечення якості отримання продукції.

Висновки: метод зміцнення шляхом хімічного осадження відновленням за допомогою гіпофосфіту з наступною термічною обробкою дозволяє отримувати надзвичайно рівномірні покриття (товщиною 5 – 30 мкм і більше) на найскладніших поверхнях із високою поверхневою твердістю (6,5 – 9 ГПа), що забезпечує захист покритих деталей машин від корозії та в разі підвищує ресурс їхньої роботи.

### Список посилань

1. Стецько А. Є. Технологічне забезпечення ресурсу роботи виготовлених і відновлених деталей: монографія. – Львів: Видавнича компанія «АРС», 2013. – 240 с.

2. Stetsko A.E., Stetsko Y.T. (2020) Formation of Composite Reinforced Coating by Chemical Deposition and Chemical-Thermal Treatment of Boron and Carbon. In: Pogrebnjak A., Bondar O. (eds) Microstructure and Properties of Micro- and Nanoscale Materials, Films, and Coatings (NAP 2019). Springer Proceedings in Physics, vol 240. Springer, Singapore, P.261–270. – DOI: [https://doi.org/10.1007/978-981-15-1742-6\\_24](https://doi.org/10.1007/978-981-15-1742-6_24).

3. Stetsko A.E., Stetsko Y.T. (2021) The Influence of Carbon, Carbon, and Boron on the Formation of Diffusion Nanocomposite Hardened Layers on the Surfaces of Steel Parts. In: Fesenko O., Yatsenko L. (eds) Nanomaterials and Nanocomposites, Nanostructure Surfaces, and Their Applications. Springer Proceedings in Physics, vol 246. Springer, Cham. P. 699-708. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-51905-6\\_47](https://doi.org/10.1007/978-3-030-51905-6_47).

УДК 631.1

Нечаєв В.П., канд. техн. наук, доцент  
Рязанцев А.О., канд. техн. наук, доцент

Криворізький національний університет, anton.ryazancev87@gmail.com

## ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ НАНЕСЕННЯ ЗАХИСНИХ ПЛАЗМОВИХ ПОКРИТТІВ

У багатьох галузях промисловості широке застосування отримало плазмове напилювання порошкових металів, що дозволяє значною мірою підвищити довговічність деталей, які працюють в умовах циклічних контактних навантажень, що призводять до виникнення стискаючих або розтягуючих напружень, які спричиняють руйнування [1, 2]. Тому при виборі матеріалу та технології нанесення покриття необхідно враховувати низку факторів, серед яких важливу роль відіграє міцність самого покриття.

Було проведено визначення міцності зчеплення покриття ХВС-3. Перед нанесенням покриттів робили обробку поверхні зразків у дробоструминній камері корундом. Для напилення застосовували установку УПУ-3 із пальником ПП-25, плазмоутворювальний газ – суміш аргону з азотом. Виконано експериментальне дослідження впливу основних режимних параметрів процесу на міцність зчеплення покриття з основним матеріалом, з метою оптимізації вказаних параметрів. Набір режимних параметрів визначався в ході досліджень, під час яких було обрано найбільш суттєві та керовані параметри, встановлено ефективну область варіювання їх значень.

Вибір в якості параметру оптимізації міцності зчеплення  $\sigma_{\text{сц}}$  обумовлений умовами експлуатації деталей, що обробляються, оскільки даний параметр визначає їх інші якісні експлуатаційні характеристики. Функціональна залежність характеристики міцності зчеплення від режимних параметрів отримана математичною обробкою результатів експериментів, виконаної за планом дробової репліки  $2^{6-3}$  і має вигляд:

$$\sigma_{\text{сц}} = 13,4 - 0,9P + 0,0165U + 0,00784I - 0,0456Q_n - 0,145Q_r - 0,038L \quad (1)$$

де  $P$  – робочий тиск системи, кПа;

$U, I$  – напруга та струм плазмової дуги, В та А;

$Q_n$  – витрата порошку, кг/год;

$Q_r$  – витрата плазмоутворюючого газу, м<sup>3</sup>/год;

$L$  – довжина плазмової дуги, мм.

Оптимізація параметрів процесу плазмового напилювання проведена методом крутого сходження на основі результатів дробового факторного експерименту. При оптимізації виконано сходження у напрямку точки  $\sigma_{\text{сц}} = 11$  МПа. Для досягнення встановленого рівня характеристики міцності зчеплення необхідно суттєві фактори тримати на межах дослідженої області їх варіювання, а для збільшення значення  $\sigma_{\text{сц}}$  необхідно вносити зміни до складу технологічного обладнання та провести додаткові дослідження.

Режимні параметри, що забезпечують зазначену міцність зчеплення, прийнято вважати граничними за критерієм стійкості електрода плазмотрона. Використання отриманих значень режимних параметрів ( $I = 480-490$  А;  $U = 70-80$  В;  $L = 120-130$  мм;  $P = 1,8-2,0$  кПа;  $Q_r = 3,6-3,8$  м<sup>3</sup>/год;  $Q_n = 4,8-5,0$  кг/год; швидкість руху плазмотрону – 70-100 мм/хв) при плазмовій обробці деталей машин забезпечить підвищення їх ресурсу.

### Список посилань

1. Степанов М. В. К вопросу плазменного напыления покрытий с последующим оплавлением / М. В. Степанов, Л. Н. Трушина // Наука без границ. – 2017. – Т. 12, № 17. – С. 40–45.
2. Kretinin V. I. The qualitative assessment of gas-thermal coating's cohesive strength estimation methods / V. I. Kretinin, V. A. Sokolova, S. A. Voinash // Solid state phenomena. – 2020. – No. 299. – P. 949–954.

УДК 621.924.7

Залюбовський М.Г., канд. техн. наук, доцент  
Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна»,  
markzalubovskiy@gmail.com

Панасюк І.В., докт. техн. наук, професор  
Кошель О.С., аспірант

Київський національний університет технологій та дизайну, a\_koshel@ukr.net

## **АНАЛІЗ МАШИН З РУХОМИМИ РОБОЧИМИ ЄМКОСТЯМИ ДЛЯ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ВИРОБІВ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ**

Обробка деталей виробів легкої промисловості виконується на машинах з спеціальними робочими ємкостями, яким задається різний характер руху, що призводить до контакту деталей між собою, їх взаємодію зі стінками та компонентами технологічного середовища в середині робочих ємкостей. Під час взаємодії відбувається обробка деталей за рахунок пластичної мікродеформації, що виникає на їх поверхнях: шліфування та полірування, заокруглення гострих кромek, очищення заусенців, зміцнення матеріалу поверхневого шару деталей тощо. Для забезпечення руху робочої ємкості використовують різні види обладнання: машини, в яких робочі ємкості обертаються [1], машини вібраційні [2], шпиндельні, щіткові та машини зі складним просторовим рухом робочих ємкостей [3].

На українських підприємствах найбільш поширеним типом обладнання є машини з робочими ємкостями, що обертаються та мають вібраційний характер руху. Однак, такі машини є мало ефективними. Час, що витрачається на обробку деталей за допомогою такого обладнання може рахуватися десятками годин його безперервної роботи, при цьому лінійна величина розміру, що знімається з поверхні деталі за допомогою, наприклад, вібраційної установки не перевищує десятків мікрометрів. Роторні, щіткові та шпиндельні типи машин зазвичай мають специфічне призначення та не використовуються для обробки деталей, що застосовуються в виробі легкої промисловості.

Переміщення масиву деталей в робочих ємкостях утворюється для різних характерів його руху та може здійснюватися при водоспадному, каскадному або змішаному режимах [10]. Виконання технологічних операцій обробки деталей або змішування сипких дрібнодисперсних речовин відбувається при реалізації кожного з режимів руху робочого масиву, які створюють для цього відповідні умови [4]. Так, наприклад, встановлено [11], що для виконання технологічної операції шліфування (полірування) та покращення якості поверхні деталей виготовлених з полімерних матеріалів найбільш раціонально для робочого масиву забезпечувати змішаний режим руху (каскадно-водоспадний), а для реалізації технологічних процесів видалення ливників металевих деталей [12] – водоспадний.

Ефективним та перспективним технологічним обладнанням для обробки деталей виробів легкої промисловості є машини, в яких можуть бути реалізовані всі вище зазначені режими руху робочого масиву деталей. На сьогоднішній день вважається, що таким умовам відповідають машини з робочими ємкостями, які виконують складний просторовий рух [4], зокрема, обладнання на основі класичної конструкції типу «Turbula» [5] зі складним просторовим рухом робочої ємкості, який був вперше реалізований швейцарською фірмою Willy A. Bachofen [6]. Також відомі вдосконалені конструкції машини [7, 8]. В таких машинах кожна окрема деталь робочого масиву виконує складний просторовий рух, який складається з двох: відносного та переносного рухів. Деталь робочого масиву одночасно переміщуються відносно трьох взаємно перпендикулярних координатних осей, які пов'язані з робочою ємкістю та разом з цією рухомою системою координат обертається навколо геометричної вісі робочої ємкості з певною величиною миттєвої кутової швидкості. Саме такий абсолютний рух деталі відносно нерухомої системи координат, що є

результатом складання двох рухів сприяє підвищенню інтенсивності її руху, і значно підвищує ефективність та продуктивність обладнання.

Реалізацію кожного з режимів руху робочого масиву в середині рухомої робочої ємкості існуючого обладнання відомої конструкції відбувається при відповідній кутовій швидкості ведучого валу машини в зв'язку з тим, що ступінь вільності механізму дорівнює одиниця та механізм має одну ведучу ланку.

Ще однією із відомих властивостей такого обладнання є нерівномірне обертання веденого валу машини при умові сталої величини кутової швидкості ведучого, що обумовлено наявністю карданних шарнірів в її конструкції. Нерівномірне обертання веденого валу призводить до того, що переміщення торцевих поверхонь робочої ємкості за цикл руху відбувається з різною інтенсивністю [9], та як наслідок масив деталей, що знаходяться біля торців мають різні величини кінематичних параметрів, що унеможливорює відтворення необхідних режимів руху робочого масиву деталей за весь час циклу роботи машини та є причиною зменшення її працездатності особливо при умові збільшення кутової швидкості ведучого валу. В результаті звужується асортимент деталей, який підлягає обробці на такому технологічному обладнанні, наприклад, стає неможливим застосування такої машини для обробки «делікатних» фурнітурних деталей виробів легкої промисловості.

#### Список посилань

1. Бурмістенков О. П., Панасюк І.В. Основи теорії та практична реалізація пристроїв для зачищувальної обробки формових деталей із полімерних матеріалів – К.: НМК ВО, 1993. – 64 с.
2. Симонюк В.П. Вібраційна обробка деталей та її технологічні особливості // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки» – 2011. – №31. – С. 344-349.
3. Залюбовський М.Г., Панасюк І.В., Малишев В.В. Машини зі складним рухом робочих ємкостей для обробки полімерних деталей: монографія – К.: Університет «Україна», 2018. – 228 с.
4. Marigo M. Discrete Element Method Modelling of Complex Granular Motion in Mixing Vessels: Evaluation and Validation: dissertation – The University of Birmingham, UK., 2012.
5. Mayer-Laigle C., Gatumel C., Berthiaux H. Mixing dynamics for easy flowing powders in a lab scale Turbula mixer // Chemical Engineering Research and Design Volume 95, March 2015, Pages 248-261.
6. Willy A. Bachofen (WAB): сайт Willy A. Bachofen AG, Maschinenfabrik. – 2021 [Електронний ресурс]. URL: <https://www.wab-group.com/en/mixing-technology/products/> (дата відвідування: 10.01.2021)
7. Zalyubovskii M. G., Panasyuk I. V. On the study of the basic design parameters of a seven-link Spatial mechanism of a part processing machine // Int. Appl. Mech. – 2020. – 56, N 1. – P. 54 – 64.  
// Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design – 2019. – Vol. 2. – P. 24 – 32.
8. Zalyubovskii M. G., Panasyuk I. V. Studying the main design parameters of linkage mechanisms of part-processing machines with two working barrels // Int. Appl. Mech. – 2020. – 56, N 6. – P. 762 – 772.
9. Panasyuk I., Zalyubovskiy M. Driving machine shaft angular velocity impact on motion conditional change of granular medium in working reservoir for components compounding and process // Metallurgical and Mining Industry – 2015. – №3. – P. 260 – 264.
10. Панасюк І.В. Визначення залежності режиму руху робочого середовища у ємкості зі складним рухом від кутової швидкості ведучого валу / І.В. Панасюк, М.Г. Залюбовський // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну – 2015. – №1. – С. 43-52.
11. Zalyubovskiy M.G. Experimental investigation of the handling process of polymeric units in a machine with a compacted space movement of working capacity / Zalyubovskiy M.G., Panasyuk I.V., Smirnov Y.I., Klaptsov Y.V., Malyshev V.V. // Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design – 2019. Vol. 2 (132). P. 24 – 32.
12. Залюбовський М.Г. Експериментальне дослідження впливу режимів руху робочого масиву та об'єму заповнення ємкості на інтенсивність відділення металевих деталей від ливників / М.Г. Залюбовський, І.В. Панасюк // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну – 2020. – №1 (142). – С. 27 – 38.

УДК 621.371

**Філатов Ю.Д.,** докт. техн. наук, професор

**Сідорко В.І.,** докт. техн. наук, доцент

**Ковальов С.В.,** канд. техн. наук

Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, м. Київ, [filatov2045@gmail.com](mailto:filatov2045@gmail.com)

**Ковальов В.А.,** канд. техн. наук, доцент

**Юрчишин О.Я.,** канд. техн. наук, доцент

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,

[urchyshynoks@ukr.net](mailto:urchyshynoks@ukr.net)

## ПОЛІРУВАННЯ ПОЛІМЕРНИХ ОПТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

Підвищення якості деталей з полімерних оптичних матеріалів можливе лише за удосконалення технології їх полірування та розробки нових полірувальних дисперсійних систем, які б забезпечували високу якість обробки та відсутність дефектів на оброблених поверхнях за достатньої продуктивності зняття оброблюваного матеріалу [1]. Метою даного дослідження є вивчення закономірностей впливу фізико-хімічних властивостей оброблюваного матеріалу та дисперсної системи на показники полірування полімерних оптичних матеріалів.

Дослідження закономірностей полірування плоских поверхонь деталей з оптичних полімерних матеріалів діаметром 60 мм на верстаті мод. 2ШП-200М за допомогою притиру з пінополіуретану діаметром 100 мм при зусиллі притискання деталі до притиру 50 Н, частоті обертання притиру 90 об/хв., зміщенні 30 мм та довжині штриха 80 мм, середній температурі в зоні контакту оброблюваної деталі та притиру 298 К. Полірування полістиролу ПС (густина  $\rho_1=1,06$  г/см<sup>3</sup>, діелектрична проникність  $\varepsilon_1=2,5$ , коефіцієнт теплопровідності  $\lambda_1=0,15$  Вт/(м·К)) і поліметилметакрилату ПММА ( $\rho_1=1,18$  г/см<sup>3</sup>,  $\varepsilon_1=3,9$ ,  $\lambda_1=0,19$  Вт/(м·К)) здійснювалось за допомогою дисперсної системи з мікро- та нанопорошків (ДС1) ( $\rho_2=3,86$  г/см<sup>3</sup>,  $\varepsilon_2=6,1$ ,  $\lambda_2=1,0$  Вт/(м·К)) та водяної суспензії двооксиду церію (ДС2) ( $\rho_2=6,62$  г/см<sup>3</sup>,  $\varepsilon_2=21,2$ ,  $\lambda_2=3,0$  Вт/(м·К)), яка традиційно застосовується для полірування оптичних матеріалів. Частоти власних коливань молекулярних фрагментів частинок полірувального порошку дисперсної системи ДС1, визначені за спектрами ІЧ-поглинання (Фур'є-спектрометр Nicolet 6700), складали (см<sup>-1</sup>): 597, 733, 777, 850, 870, 943, 984, 1085, а дисперсної системи ДС2 – 465, 521, 848. Досліджувані полімерні оптичні матеріали характеризувались частотами власних коливань (см<sup>-1</sup>): ПС – 537, 696, 753, 905, 1027 і ПММА – 481, 750, 840, 960, 1065. Середні розміри частинок полірувального порошку визначались за зображеннями, отриманими за допомогою растрового електронного мікроскопу Zeiss-EVO50 з системою мікроаналізу AZtec, і складали 409 нм – для ДС1 і 910 нм – для ДС2. Зняття оброблюваного матеріалу визначалось ваговим методом за допомогою аналітичних терезів в мг/30 хв. Параметри шорсткості полірованих поверхонь визначали методом комп'ютерного моделювання та контролювали за допомогою безконтактного інтерференційного 3D профілографа Micron-alpha.

У відповідності до сучасних уявлень про механізм взаємодії оброблюваної поверхні з частинками дисперсної фази полірувальної дисперсної системи, видалення оброблюваного матеріалу відбувається внаслідок міжмолекулярної взаємодії між ними і визначається силами Ван-дер-Ваальса, які є наслідком виникнення локальних дипольних моментів на характерних частотах [1]. Перенос енергії між частинками дисперсної фази та оброблюваною поверхнею відбувається як ферстерівське резонансне перенесення енергії (FRET), коли на відміну від “ефекту карнавалу”, який полягає в реверсуванні переносу енергії [2–3], молекулярні фрагменти частинок дисперсної фази та оброблюваної поверхні є і донорами, і акцепторами одночасно [4–6]. Ефективність FRET, яке відбувається у відкритому мікрорезонаторі, що утворюється двома паралельними поверхнями оброблюваного матеріалу і притира, розділеними шаром дисперсної системи, залежить від

добротності резонатора на відповідних частотах, а продуктивність полірування визначається у відповідності до формули [7]:

$$Q = \eta L_t \frac{\tau}{t_c} q$$

де  $\eta$  – коефіцієнт об'ємного зносу;

$L_t$  – довжина шляху тертя частинки полірувального порошку по оброблюваній поверхні,

$t_c = d/u$  – час контакту частинки полірувального порошку з оброблюваною поверхнею,

$d$  – розмір частинок полірувального порошку,

$u$  – швидкість відносного переміщення деталі та притира,

$\tau$  – час життя кластерів оброблюваної поверхні у збудженому стані,

$q = v_1/(v_2 - v_1)$  – добротність резонатора,

$v_2, v_1$  – частоти коливань молекулярних фрагментів кластерів на поверхні частинок полірувального порошку та на оброблюваній поверхні).

Результати визначення продуктивності зняття оброблюваного матеріалу та параметрів шорсткості оброблених поверхонь наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Показники полірування полімерних оптичних матеріалів

| Показники полірування              | Оброблюваний матеріал |          |         |          |
|------------------------------------|-----------------------|----------|---------|----------|
|                                    | ПС                    | ПММА     | ПС      | ПММА     |
| Дисперсна система                  | ДС1                   |          | ДС2     |          |
| Продуктивність полірування, мг/хв. | 0,25                  | 1,10     | 0,002   | 2,57     |
| Параметри шорсткості               |                       |          |         |          |
| $Ra$ , нм                          | 8,9±0,4               | 12,0±0,8 | 5,2±0,2 | 29,1±2,1 |
| $Rq$ , нм                          | 9,6±0,4               | 12,8±0,9 | 5,5±0,2 | 31,3±2,8 |
| $Rmax$ , нм                        | 17,1±1,7              | 20,3±2,2 | 9,6±0,9 | 51,1±8,6 |

В результаті досліджень показано, що під час полірування ПС і ПММА за допомогою дисперсної системи ДС1 досягаються показниками полірування, які задовольняють вимогам, що висуваються до оптичних поверхонь.

### Список посилань

1. Полірування оптичних поверхонь деталей з полімерних матеріалів. / [Філатов Ю.Д., Сидорко В.І., Бояринцев А.Ю., Ковальов С.В., Кулич В.Г., Ковальов В.А., Юрчишин О.Я.] // Збірник наукових праць «Інструментальне матеріалознавство». Вип. 25. – Київ: ІНМ ім. В.М. Бакуля, 2022. – с. 331–337.

2. Polariton-assisted manipulation of energy relaxation pathways: donor–acceptor role reversal in a tuneable microcavity. / [Dovzhenko D., Lednev M., Mochalov K., Vaskan I., Rakovich Yu., Nabiev I.] // Chem. Sci. – 2021. – Vol. 12. – P. 12794-12805.

3. Nabiev I., Strong light-matter coupling for optical switching through the fluorescence and FRET control. PhysBioSymp 2019. J. Physics: Conference Series. 2021. Vol. 2058 (012001). P. 1–7.

4. Transfer Energy in the Interaction of an Optical Surface with a Polishing Disperse System. / [Filatov Yu.D., Sidorko V.I., Boyarintsev A.Y., Kovalev S.V., Kovalev V.A.] // J. Superhard Materials. – 2022. – Vol. 44. – no. 2. – P. 117–126.

5. Filatov Yu.D., Relationship between the Transfer Coefficients and Transfer Energy during the Polishing of Nonmetallic Materials. / Filatov Yu.D. // J. Superhard Materials. – 2022. – Vol. 44. – no. 3. – P. 226–228.

6. Перенесення енергії між оброблюваною оптичною поверхнею та дисперсною системою при поліруванні. / [Філатов Ю.Д., Сидорко В.І., Бояринцев А.Ю., Ковальов С.В., Кулич В.Г., Ковальов В.А., Юрчишин О.Я. Гаращенко В.В.] // Збірник наукових праць «Інструментальне матеріалознавство». Вип. 24. – Київ: ІНМ ім. В.М. Бакуля, 2021. – с. 417–424.

7. Filatov Yu.D., New Patterns of Polishing Surfaces of Parts Made of Nonmetallic Materials. / Filatov Yu.D. // J. Superhard Mater. – 2023. – Vol. 45, no 2. – P. 140–149.



УДК 621.9-11

Солнцев О.В., аспірант

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,  
oleksii.solntsev@smartzavod.com

### ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ 3D-ПРИНТЕРА НА ОСНОВІ МЕХАНІЗМУ ПАРАЛЕЛЬНОЇ СТРУКТУРИ

Виконані і заплановані дослідження покликані висвітлити підходи та процеси проектування технологічного обладнання з врахуванням сучасних вимог на прикладі використання адитивних технологій [2] з метою суттєвого підвищення швидкості переміщення робочих органів (РО), зокрема, за рахунок використання механізмів паралельної структури (МПС) і застосування модульного принципу [1, 3, 4, 7]. Це дозволяє підвищити продуктивність виготовлення виробів, зменшити час та витрати на проектування, складання і переналагодження.

Проведені патентно-інформаційні дослідження свідчать про те, що переважна більшість 3D-принтерів присвячені виконанню однієї функції, тобто однієї операції, і не передбачають в своєму складі інших модулів з можливістю їх заміни і перекомпонування. З цієї причини автором були проведені дослідження, спрямовані на порівняльний аналіз та синтез різних структур 3D-принтерів, їх схем і конструкцій з теоретичним обґрунтуванням і експериментальним підтвердженням на дослідному зразку [6].

Роботи по дослідженню структури, кінематики і динаміки 3D-принтерів з МПС є актуальними і сприяють подальшому удосконаленню адитивних технологій при створенні високопродуктивної і високоточної техніки нових поколінь, в тому числі мультифункціональної [6, 8].

Основні задачі кінематичного аналізу сформульовані наступним чином:

- а) визначення траєкторій руху вихідної ланки за заданими законами руху приводів (пряма задача кінематики);
- б) визначення законів переміщення керованих координат приводів, що забезпечують необхідний закон переміщення вихідної ланки механізму;
- в) визначення швидкості вихідної ланки по заданим швидкостям керованих приводних координат, а також рішення оберненої задачі, тобто визначення швидкостей керованих координат, що забезпечують задані швидкості вихідної ланки;
- г) розв'язання лінійних рівнянь для розрахунку управління виконавчими приводами для забезпечення заданого закону переміщення вихідної ланки.

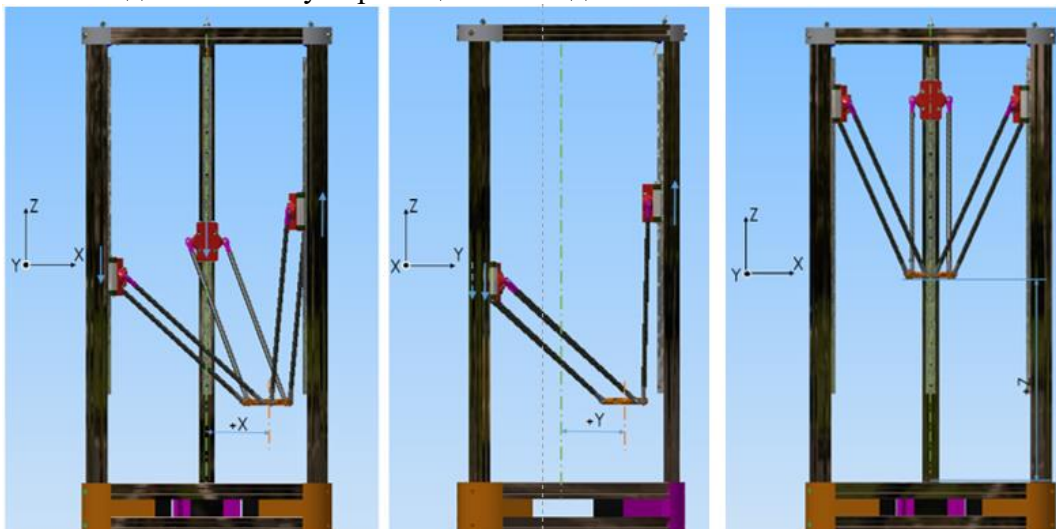


Рис. 1 – CAD-модель 3D-принтера на основі триглайду

Проектування 3D-принтера на основі триглайду вимагає формалізації зв'язків між компонентами системи (рис. 2) для математичного опису з подальшим візуальним моделюванням, оцінкою очікуваних технічних характеристик, визначення оптимальних значень показників і проектування запропонованих верстатів.



Рис. 2 – Операції, пов'язані з кінематичним аналізом при проектуванні 3D-принтера

Розроблено програму в Mathcad, за допомогою якої можна записувати анімації руху принтера за заданою траєкторією, будувати та аналізувати кінематичні характеристики ланок.

Складність вирішення прямої задачі кінематики, полягає в тому що при вирішенні даної задачі виникає математична невизначеність. Тобто вихід в позицію РО з координатами можна досягти більше як одним способом, тобто за різною траєкторією. Тому дана задача вирішується програмно на основі рівнянь, що були знайдені при вирішенні зворотної задачі.

Продовжуються дослідження по розширенню функціональних можливостей й інтелектуальних функцій 3D-принтерів з МПС у виконанні Smart Zavod [8].

### Список посилань

1. Агрегатно-модульне технологічне обладнання. Ч.1 / [Під ред. Ю.М. Кузнєцова] – Кіровоград: Імекс ЛТД, 2004. – 442 с.
2. Интегрированные технологии ускоренного прототипирования и изготовления. Монография. Под ред. Л.Л. Таважнянского, А.И. Грабченко. – Харьков: ОАО «Модель вселенной», 2002. – 140 с.
3. Крижанівський В. А. Технологічне обладнання з паралельною кінематикою / В. А. Крижанівський, Ю. М. Кузнєцов, І. А. Валявський, Р. А. Скляр; [під ред. Ю.М. Кузнєцова]. – Кіровоград, 2004. – 449 с.
4. Кузнєцов Ю.М. //Кінематичний аналіз 3D-принтера модульного компонування на базі механізму паралельної структури / Кузнєцов Ю.М., Солнцев О.В. // Перспективні технології та прилади. – №21. – Луцьк, 2022. – С.43-50. DOI 10.36910/10.36910/6775-2313-5352-2022-21-07
5. Charles Bell. 3D Printing with Delta Printers / Ch. Bell. – Apress, 2015
6. Yurii Kuznietsov. Structural morphological synthesis of parallel kinematics based hybrid 3D-printer and connection with the challenges of INDUSTRY 4.0 / Yurii Kuznietsov, Oleksii Solntsev // Journal of the Technical University of Gabrovo. – vol.65. – 2022. – p.p.1-6.

7. Yuri Kuznetsov. Realization of frame-configurations conception of machine-tools with mechanisms parallel structure / Yuri Kuznetsov, Dmitriy Dmitriev // Journal of Technical University of Gabrovo. – vol.54. – 2017. – p.p.27-31.

8. Yoshimi Ito. Modular design for machine tools. Smart Zavod-McGraw-Hill, New York, London, Toronto, 2006. – 493 p. – DOI: 10.1036/0071496602.

УДК 621.01

**Кошель С.О., канд. техн. наук, доцент**

Київський національний університет технологій та дизайну, a\_koshel@ukr.net

**Кошель Г.В., канд. техн. наук, доцент**

Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна», a\_koshel@ukr.net

## ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ МЕХАНІЗМУ З СТРУКТУРНОЮ ГРУПОЮ ЧЕТВЕРТОГО КЛАСУ ТРЕТЬОГО ПОРЯДКУ

Складні плоскі механізми знайшли широке застосування в технологічному обладнанні різних галузей виробництва, зокрема, в машинах на підприємствах індустрії моди. Задачі дослідження таких багатоланкових механізмів є актуальними, а їх результати дозволяють розширити технологічні можливості існуючого обладнання та проєктувати нові машини з інноваційними техніко-експлуатаційними можливостями.

Складним плоским механізмам присвячуються роботи, в яких виконується структурний [1-4] та кінематичний їх аналіз [5-7], проводиться силовий розрахунок механізму обладнання легкої промисловості [8], зокрема, механізму четвертого класу [9]. В ряді робіт розглядаються задачі дослідження складних просторових механізмів [10, 11].

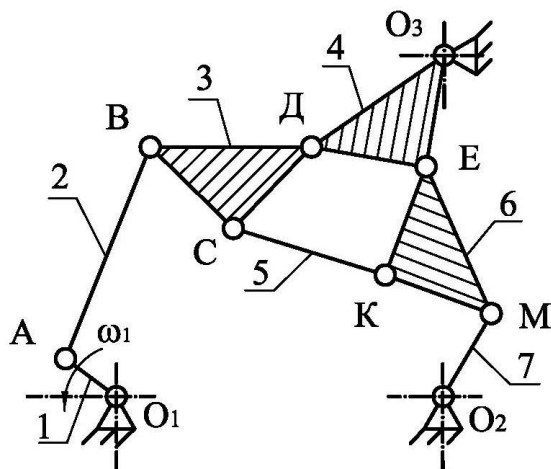


Рис. 1

Механізм першого класу (ланки 0, 1) разом з структурною групою четвертого класу третього порядку (рис.1), до складу якої надходить сукупність шістьох рухомих ланок 2÷7 ( $n=6$ ) разом з дев'ятьма кінематичними парами п'ятого класу А, В, С, Д, О<sub>3</sub>, Е, К, М, О<sub>2</sub> ( $p_5=9$ ) утворюють механізм четвертого класу з ступенем рухомості один та одним кривошипом, формула будови якого наведена на рис.2. До структурної особливості механізму можна віднести наявність трьох складних ланок в його структурі: двох шатунів (ланки 3, 6) та одного коромисла (ланка 4), які разом з шатуном 5 утворюють рухомий замкнений контур С, Д, Е, К.

1 клас (ланки 0, 1) → 4 клас 3 порядок (ланки 2÷7)

Рис. 2

Для структурного аналізу складного плоского механізму четвертого класу використовуємо властивість механічних систем ланок змінювати клас в залежності від умовно обраної іншої можливої вхідної ланки механізму.

Досліджуємо механізм в послідовності, яка обумовлена умовно іншими ведучими ланками 4 та 7. Якщо за початковий механізм вибрати сукупності ланок 0, 4 (0- нерухома ланка ,стояк) та 0,7 - формули будови механізму, відповідно, набувають вигляду (рис.3, 4).

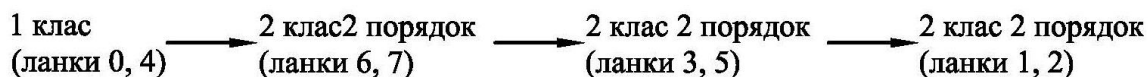


Рис. 3

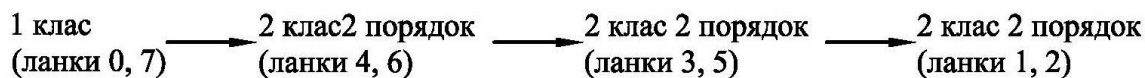


Рис. 4

З структурних формул бачимо, що у випадку, якщо умовно в якості кривошипів обрати коромисла 4 або 7 механізм четвертого класу умовно набуває вигляду механізму другого класу, в структурі якого присутній один початковий механізм з умовно іншою можливою ведучою ланкою, до якого послідовно приєднуються три структурні групи другого класу другого порядку.

Отримані результати у вигляді формул будов механізмів дозволяють по-перше розробити послідовність дій для подальшого кінематичного дослідження параметрів точок, що співпадають з геометричними центрами кінематичних пар структурних груп ланок, а по-друге – спростити такі дослідження в зв'язку з можливістю визначення оптимального варіанту початкового механізму в формулі будови механізму, для якого клас механізму, що досліджується набуває найменшої можливої величини. В нашому випадку для двох можливих варіантів формул механізм, що досліджується структурно стає механізмом другого класу з послідовно приєднаними трьома структурними групами ланок другого класу другого порядку першого виду, тому механізм четвертого класу можна, наприклад, кінематично дослідити в послідовності, яка обумовлена кінематично-еквівалентними механізмами другого класу.

#### Список посилань

1. Koshel S. Structural analysis of the mechanism with a third-class structure group of the fourth order / S. Koshel, A. Koshel // Odes'kyi Politechnichnyi Universytet. Pratsi. – 2019. – N 1. – P. 29 – 34.
2. Modular synthesis of plane lever six-link mechanism of high class. Middle-East / Joldasbekov S., Ibraev S., Zhauyt A., Nurmagambetova A., Imanbaeva N. // Journal of Scientific Research. – 2014. – 21, N 12. – P.2339 – 2345.
3. Кошель С. О. Структурний аналіз складних плоских механізмів третього класу / С. О. Кошель, Г.В.Кошель // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2015. – № 1 – С. 26-36.
4. Кошель С. О. Структурний аналіз плоских механізмів четвертого класу з замкненим контуром, утвореним шатунами та двома складними ланками / С. О. Кошель, Г.В.Кошель // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. 2016. – № 2 – С. 133-144.
5. Koshel' S. O. Kinematic Analysis of Complex Planar Mechanisms of Higher Classes / Koshel' S. O., Dvorzhak V. M., Koshel' G. V., Zalyubovskiy M. G. // International Applied Mechanics. – 2022. – 58, N 1. – P. 111 – 122.
6. Countour graph application in kinematical analysis of crane mechanism / [Dobija M., Drewniak J., Zawislak S., Shingissov B., Zhauyt A.] // 24th Int. Conf. on Theory of Machines and Mechatronic Systems, Poland, 2014. – P. 31 – 32.
7. Koshel S. Definition of accelerations of points of a plane mechanism of the fourth class by graph-analytical method / S. Koshel, A. Koshel // Odes'kyi Politechnichnyi Universytet. Pratsi. – 2018. – N 2. – P. 28 – 33.
8. Дворжак В. М. Силовий аналіз механізму коливального руху вушкових голок основов'язальної машини / В. М. Дворжак // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Технічні науки. – 2019. – № 3 (134). – С. 26-35.
9. Дворжак В. М. Застосування механізму четвертого класу для приводу вушкових голок основов'язальної машини / В. М. Дворжак // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Технічні науки. – 2020. – № 3 (146). – С. 15-24.
10. Zalyubovs'kyi M. G. Synthesis and analysis of redundant-free seven-link spatial mechanisms of part processing machine / Zalyubovs'kyi M. G., Panasyuk I.V., Koshel' S.O., Koshel' G.V. // International

Applied Mechanics. – 2021. – 57, N 4. – P. 466 – 476.

11. Zalyubovskii M. G. Modeling and designing the barreling machine drive with complex spatial motion of the container / Zalyubovskii M. G., Panasyuk I.V., Koshel' S.O., Koshel' G.V. // International Applied Mechanics. – 2022. – 58, N 4. – P. 472 – 480.

УДК 621.923.5

Щербина К.К., канд. техн. наук, доцент

Торчілов Д.Р., аспірант

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький,  
kir2912s@ukr.net

## ДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ ХОНІНГУВАЛЬНОЇ ГОЛОВКИ

Процес зміни величини радіального розміру в процесі хонінгування отворів є одним з найважливіших факторів, котрий впливає на точність та якість оброблюваного отвору. Тому, значна увага приділяється взаємодії кінцевих ланок хонінгувальної головки, особливо в процесі їх функціонування в зоні малих точних переміщень [1].

Розглянемо кінцеву ланку хонінгувальної головки у вигляді клинової кінематичної пари (рис.1) [2]. Зображена схема дії сил у клиновій кінематичній парі та графік залежності зміни сили тертя від швидкості переміщення і коефіцієнту тертя.

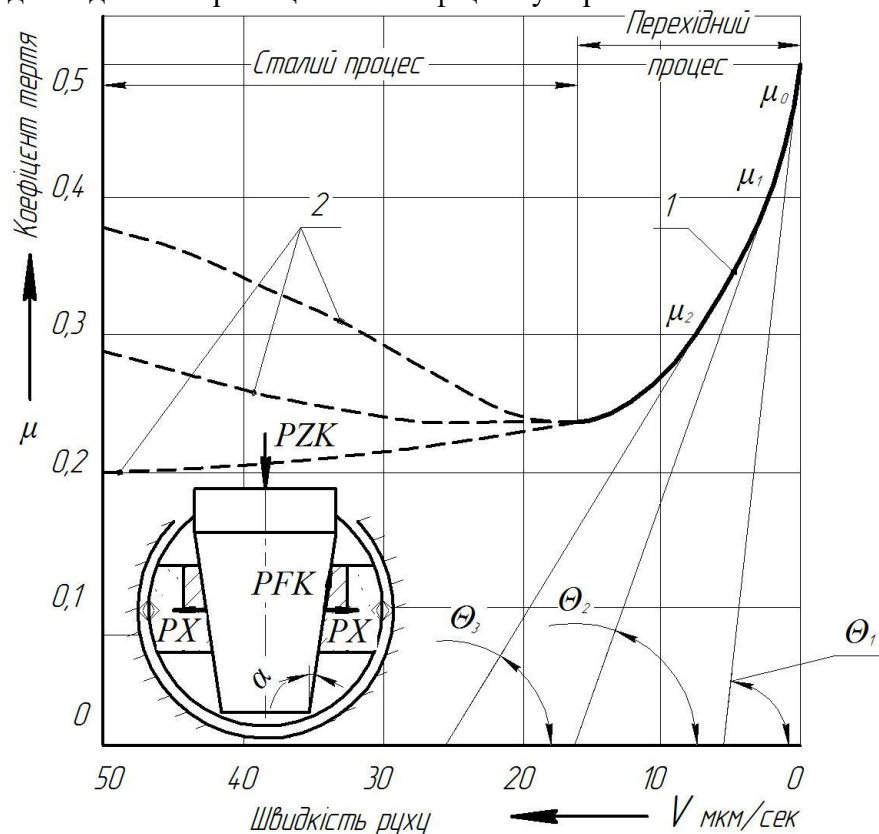


Рис. 1 – Графік залежності  $\mu=f(t)$  та схема дії сил в клиновій ланці

Складемо рівняння рівноваги клинової передачі в статиці, але для цього визначимо значення радіальної сили та сил різання.

$$P_{XK} = \frac{P_{ZK}}{\operatorname{tg}(\alpha + \psi)} \quad (1)$$

Для роботи клинової кінематичної пари необхідно визначити значення радіальної сили різання:

$$PXP = f_x U_{\Sigma} \rho_k \quad (2)$$

Значення сили тертя при малих переміщеннях буде змінюватися від величини зміни швидкості переміщення виконавчих елементів, що підтверджується залежністю наведеною на рис.1. у відповідності до робіт проф. Пуша В.Є, Крагельского І.В. [1]. Приведена залежність рис.1. вказує, що зміна коефіцієнту тертя в межах перехідного процесу має нелінійну залежність, тому необхідно здійснити її лінеаризацію, використовуючи методики теорії автоматичного управління [3], та визначити передавальну функцію кінцевої ланки в динаміці:

$$W = \frac{s_k}{PZK} = \frac{1}{tg\alpha(m_k p^2 + \mu_k p)} \quad (3)$$

За рівнянням передавальної функції клинової кінематичної пари побудуємо перехідну характеристику, використовуючи програмний продукт Matlab.

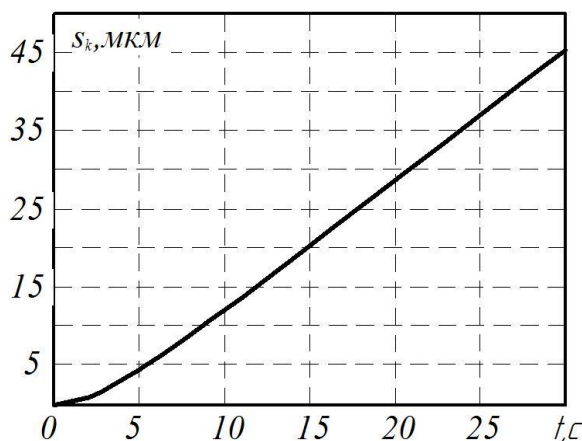


Рис. 2 – Перехідна характеристика клинової кінематичної пари

Враховуючи, той факт, що значення вихідної величини не може бути від'ємним, перехідна функція клинової кінематичної пари досягає свого сталого значення не відразу, а по аперіодичному закону. Тим самим, ланка відображає інерційність процесу, що досліджується і тому її інколи називають інерційною. Перехідна характеристика клинової кінематичної пари рис.2 вказує на нелінійність вихідної дії, а саме зміни величини контактного тиску алмазно-абразивних брусків  $s_k = f(t)$ , що обумовлено наявністю інерційності та неспівпадіння з вхідною дією  $PZK = f(t)$ . Утворене розузгодження вхідної  $PZK$  та вихідної дії  $s_k$  призводить до утворення скачкоподібного руху, що погіршує її точність регулювання радіального розміру. Причиною обумовленого явища є наявність статичного та кінетичного тертя з нелінійною характеристикою в зоні малих переміщень.

#### Список посилань

1. Klocke F. Manufacturing Processes 2 Grinding, Honing, Lapping. / F. Klocke. – Springer Verlag; Berlin, 2009.
2. Динамічний аналіз традиційної кінцевої ланки хонінгувальної головки / М.М. Підгаєцький, К.К. Щербина, В.А. Мажара, Т.В. Дяченко // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кропивницький ЦНТУ, 2019. – Вип.49. – С.194-200.
3. Петраков Ю.В. Автоматизоване управління процесами обробки матеріалів різанням. / Ю.В. Петраков. – Київ: УкрНДІАТ, 2003. – 383 с.



УДК 681.587.72

Валецький Б.П., канд. техн.наук, доцент  
Луцький національний технічний університет, b.valetsky@gmail.com

### РЕІНЖИНІРІНГ МЕХАТРОННОГО СКЛАДУ

Здійснення реінжинірингу – трудомісткий та багатоступеневий процес. Він потребує повної віддачі та розуміння того, що відбувається від його ініціаторів і виконавців. У випадку його успішного здійснення, підприємство отримує значну конкурентну перевагу, зміцнює свої ринкові позиції, збільшує рівень економічної ефективності.

До характерних ознак реінжинірингу відносять:

- 1) орієнтацію на процеси;
- 2) направленість при розробці проекту;
- 3) відмову від застарілих схем та правил;
- 4) творче використання інформаційних технологій і нових методів під час проведення змін.

Серед актуальних завдань реінжинірингу складу доцільно виокремити наступні: створення мережі зв'язків, що використовуються при надзвичайних обставинах (розвиток горизонтальних управлінських зв'язків); створення організаційних передумов з метою централізації інформаційних потоків (сприяння отриманню інформації, відповідно до багатокомпонентних складських процесів); поділ функцій вищої керуючої ланки компанії і створення мережі оперативних груп (дозволяє застосувати для цих цілей технологію роботи фахових команд); створення мотивації для творчого мислення, аналізу ситуації та колективної роботи (ці принципи змінюють характер роботи і дії працівників при реалізації реінжинірингу); успішна координація стратегії з центру і децентралізованого виконання рішень (реінжиніринг спирається на змішані процеси і матричні структури управління); створення організаційних умов для реструктуризації компанії.



Рис. 1. – Основні аспекти реінжинірингу

Одним із процесів, що першочергово підлягає реінжинірингу з метою ефективного використання складів, є застосування теорії логістики. Вона передбачає інтегроване керування матеріальними, інформаційними та фінансовими потоками від виробника до споживача, поєднання цих інтересів вимогам оптимальної організації. В сучасних умовах виокремлюється потреба у функціях економічного впливу на вантажопотоки через систему договірних відносин посередників із виробниками, транспортними компаніями та отримувачами вантажів.

#### Список посилань

1. Валецький Б.П. Транспортне обладнання гнучких виробничих систем пакування / Б.П. Валецький // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник. – Випуск 54. – Луцьк, 2016. – С.53-58.
2. Валецький Б.П. Механотроніка складу / Б.П. Валецький // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник. – Випуск 66. – Луцьк, 2019. – С.46-52.

УДК 621.9.02

Лещенко О. І., канд. техн. наук, доцент

Приазовський державний технічний університет, м. Маріуполь (м. Дніпро),  
aleshenko1954@gmail.com**3D-МОДЕЛЮВАННЯ КІНЦЕВИХ РАДІУСНИХ ФРЕЗ**

Європейські CALLS технології вимагають перенесення випробувань на фізичних моделях в область комп'ютерного моделювання. Наприклад, засоби сучасної 3D графіки дають можливість створювати відбитки форм одного об'єкта на іншому («таврувати») за умови контакту (чи перетину) цих об'єктів. В результаті на 3D гранях утворюються додаткові області до характеристик та редагування яких можна отримати доступ. Якщо програмно змодельовати засобами 3D графіки послідовне положення твердотільної моделі сферичної фрези в процесі її повороту на фіксований кут, як при фрезеруванні заготовки, то можна отримати на передній поверхні гвинтового зуба фрези «відбитки» поперечного перерізу зрізу заготовки, площа якого пропорційна силі різання. Тому результати комп'ютерного аналізу динаміки процесу різання залежатиме від точності побудови 3D моделі сферичної фрези, один із методів якого буде розглянуто.

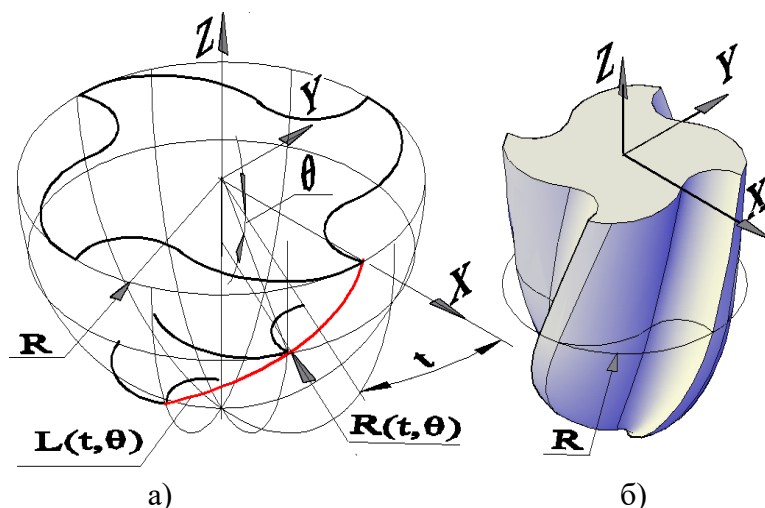


Рис. 1 – Метод перерізів а) побудови сферичної фрези радіусу R та її 3D модель б)

Основою моделі є напівсфера (рис. 1, а) радіуса R у діаметральному перерізі якої  $\varnothing 2 \cdot R$  побудований контур периметра фрези з гвинтовими зубами. Точки гвинтової лінії  $L(t, \theta)$  визначає рівняння (1) з кутовими змінними  $t, q$  в системі координат XYZ.

$$X(t, \theta) = R \cdot \cos(\theta) \cdot \cos(t); \quad Y(t, \theta) = R \cdot \cos(\theta) \cdot \sin(t); \quad Z(t, \theta) = R \cdot \sin(\theta). \quad (1)$$

За допомогою розробленого програмного додатка до графічного пакета послідовно копіюємо в розрахункові точки лінії  $L(t, \theta)$  початковий переріз з поворотом на кут  $t$  щодо осі Z і масштабним коефіцієнтом  $k_t = R_t(t, \theta) / R$ . Потім командою "елемент по перерізах" будуємо твердотільну 3D-модель фрези. Далі потрібно побудувати кути фрези. Якщо задній кут по стрічці сформувати просто, то передній кут значно складніше - потрібно розібратися з роботою верстата для заточування фрез цього типу, при цьому даний процес не одноваріантний. Розв'язання задач формоутворення за допомогою комп'ютерної графіки поки не має достатньо перевірених алгоритмів. Тому моделювання таких процесів потребує підтверджень на фізичних моделях.

УДК 621.9-1-813

Биков М. С., аспірант  
Нешта А. О., канд. техн. наук, ст. викладач  
Дегтярьов І. М., канд. техн. наук, доцент  
Марков Р. В., здобувач вищої освіти  
Сумський державний університет, m.bykov@tmvi.sumdu.edu.ua

## **ПРОБЛЕМИ РІВНОМІЦНОСТІ ШПИЛЬКОВИХ З'ЄДНАНЬ У МІСЦЯХ СТИКУ КРИШКИ ТА КОРПУСУ ВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ**

Відцентрові насоси відрізняються своїми габаритними розмірами і конструкцією. Але у загальній промисловості найбільше розповсюдження отримали насоси горизонтального компонування середніх типорозмірів з подачею від 200 до 600 літрів на хвилину. Проте на атомних станціях використовуються насоси з подачами до 1000 літрів на хвилину. Виходячи з таких параметрів продуктивності та габаритів насосних агрегатів відповідно розміри шпильок, що використовуються у місцях стику кришки і корпусу насоса, варіюються від М20 до М72. Дані шпильки об'єднує те, що вимоги до них є однаковими незалежно від типорозмірів, і в тому числі спосіб затягування, шляхом осьової витяжки.

Конструктивно шпилька відцентрового насоса представляє собою суцільний циліндр одного діаметра, який дорівнює зовнішньому діаметру різі. У вимогах до різей на шпильках стоїть лише розмір та клас точності, але немає вимог до способу її отримання. Враховуючи це їх оброблення зазвичай виконується шляхом нарізання на токарних верстатах різьбовими різцями.

Як вже було сказано вище, то стики відцентрових насосів затягують шляхом попередньої осьової витяжки та при цьому контролюється загальне видовження шпильки. Але через те, що переріз шпильки в місцях западин різі (внутрішній діаметр) менший ніж переріз її безрізьової частини, то і відповідно видовження різьової і безрізьової частин шпильок відрізняється. При цьому очевидно, що різьова частина має більше видовження, тобто і напруження там виникають більші, все також через менший поперечний переріз при однаковій осьовій силі, що прикладається до шпильки в цілому, тобто виникає проблема не рівномірності. В результаті у процесі роботи насосу дана частина шпильки постійно знаходиться під підвищеним напруженням, що в результаті призводить до руйнування однієї чи декількох шпильок, тому і у відповідних стандартах до експлуатації насосів є вимога замінювати всі шпильки під час ремонтних чи регламентних робіт, особливо для агрегатів, що використовуються в атомній енергетиці.

Рішення цієї проблеми досягалось шляхом збільшення номінального діаметра різьової частини шпильки і відповідно її безрізьової частини, але проблема рівномірності нікуди не зникає, адже напруження у різьовій частині шпильки зменшуються до допустимих, а у безрізьовій частині взагалі не перевищують і половини від допустимих значень. Тобто безрізьова частина виконана з великим коефіцієнтом запасу, що підвищує металомісткість, а відповідно масу і вартість насосу в цілому, але практично не розтягується під дією номінального значення сили.

Тому пропонується з метою рівномірного розтягування шпильки і нівелювання величини максимальних напружень в місці найбільшої їх концентрації, а саме на внутрішньому діаметрі різі, виконати шпильку східчастої форми, що нагадуватиме зразок для випробувань на розтягнення, адже шпильки в місцях стику працюють саме за таким принципом.

Для цього треба застосовувати методи чисельного моделювання, щоб досягнути принципу рівномірності, що дозволить зменшити масу та підвищити надійність відцентрових насосів, що буде виконано в подальших дослідженнях.

УДК 621.9-1

Авраменко С. Є., аспірант  
Доленко О. В., здобувач вищої освіти  
Дегтярьов І. М., канд. техн. наук, доцент  
Сумський державний університет, [s.avramenko@tmvi.sumdu.edu.ua](mailto:s.avramenko@tmvi.sumdu.edu.ua)

## **ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ЦИКЛОЇДНИХ ПЕРЕДАЧ У МЕХАНІЗМАХ НАВЕДЕННЯ ОЗБРОЄННЯ НА БЕЗПІЛОТНИХ НАЗЕМНИХ МОБІЛЬНИХ РОБОТИЗОВАНИХ ПЛАТФОРМАХ**

Циклоїдальні передачі набувають все більш широкого застосування у виробництві, а саме у приводах конвеєрів, підйомних механізмах та промислових роботах. Цей факт обумовлений їх компактністю, довговічністю, точністю позиціонування робочих органів за рахунок майже повної відсутності люфтів у з'єднанні робочих пар редуктора, що виконують обкочування одна відносно одної. Проте складність виготовлення профілю, а відповідно і трудомісткість суттєво впливали на ціну готового продукту, що обмежувало його застосування в багатьох галузях, де перевага продовжувала віддаватися більш дешевим, перевіреним часом зубчастим передачам і де не потрібно було досягати мінімальних розмірів та ваги. Тому зокрема на військовій техніці у механізмах повороту башт легкої броньованої техніки застосовувались багатоступінчасті редуктори з прямозубими або косозубими зубчастими передачами та черв'ячні редуктори. Через гарантований зазор для можливості їх функціонування погіршується точність повороту, а відповідно і прицілювання, особливо коли необхідно швидко змінювати напрямок руху на протилежний. До того ж дані передачі через свої габарити мали досить велику масу. Проблеми люфтів вирішувалися встановленням пружин компенсаторів, що забезпечували попередній натяг, але це призводило до збільшення зносу передачі.

Ситуація почала змінюватись, коли сучасне обладнання дозволило виготовляти профіль циклоїдних передач з високою точністю на високоточних фрезерних верстатах із ЧПК без додаткових фінішних операцій шліфування профілю спеціальними головками, що займало дуже багато часу. Також зі зростанням ціни матеріалів необхідність зменшувати металомісткість також стала ще більш актуальною.

В наш час у військових діях все більш активно використовуються безпілотні наземні мобільні роботизовані платформи (БНМРП), які працюють на акумуляторах. Вони здатні добре маскуватися для ведення розвідки та бойових дій, при цьому мають невеликі габарити та масу, через необхідність максимально можливого переміщення на одному заряді акумулятора. Зараз у якості приводів застосовують два варіанти: прямий привід з потужним двигуном, який споживає забагато енергії та привід через високоточний черв'ячний редуктор з регулюванням міжосьової відстані. Проте усунення зазору шляхом регулювання міжосьової відстані вимагає застосування спеціальних рідких змащувальних матеріалів, частого обслуговування і все одно призводить до швидкого зносу передачі.

Все вищесказане дозволяє говорити про перспективність застосування компактних циклоїдних редукторів у сукупності із високообертовими двигунами постійного струму невеликої потужності на приводах керування озброєнням БНМРП. Це дозволить уникнути застосування пружинних компенсаторів, адже через особливість циклоїдального редуктора навіть при зношуванні люфт в передачі майже відсутній і у БНМРП його величиною можна знехтувати. Також це знизить масу БНМРП та відповідно споживання енергії акумуляторів, що підвищить загальну дистанцію пробігу на одному заряді.

\*Робота виконана в рамках держбюджетної науково-дослідної роботи ДР№0123U100113 «Розробка роботизованої платформи для керування стрілецьким озброєнням».

УДК 621.753

Колос В.О., аспірант  
 Іванов В.О., докт. техн. наук, професор  
 Павленко І.В., докт. техн. наук, професор  
 Сумський державний університет, ivanov@tmvi.sumdu.edu.ua

## ПРИЧИННО-НАСЛІДКОВА ДІАГРАМА ІШИКАВИ ПРОЦЕСУ ПРОЄКТУВАННЯ ВЕРСТАТНИХ ПРИСТРОЇВ

Важливим етапом є формування набору вхідних і вихідних даних, довідкової та керівної інформації, що дозволяє обґрунтовано реалізовувати проєктні процедури під час автоматизованого проєктування верстатних пристроїв (ВП).

У процесі експлуатації на ВП впливає зовнішнє середовище. Зокрема, об'єкт оброблення, що оброблюється у ВП, різальний інструмент, що виконує процес формоутворення поверхонь, металорізальний верстат, на якому встановлений ВП, та оператор, який обслуговує робоче місце. Це обумовлює певні обмеження, що безпосередньо впливають на структуру компонування ВП і процес складання та проєктування зокрема.

Використання ВП розширює технологічні можливості металорізальних верстатів, підвищують продуктивність виготовлення продукції та покращують умови праці робітника. Проєктування ВП залежить від: об'єкта оброблення; верстата; різального інструмента; технологічних вимог; виробничих умов; експлуатаційних та економічних характеристик.

До характеристик об'єкта оброблення відноситься: форма, габаритні розміри, вага, матеріал, жорсткість, параметри оброблюваних та функціональних поверхонь.

Для обґрунтованих параметрів, які впливають на процес проєктування ВП, застосовано діаграму Ішикави, що є одним із основних інструментів вимірювання, оцінювання, контролю та покращення якості виробничих процесів [1]. За допомогою причинно-наслідкової діаграми Ішикави визначені найбільш суттєві взаємозв'язки між параметрами та конструкцією ВП під час процесу проєктування (рис. 1).

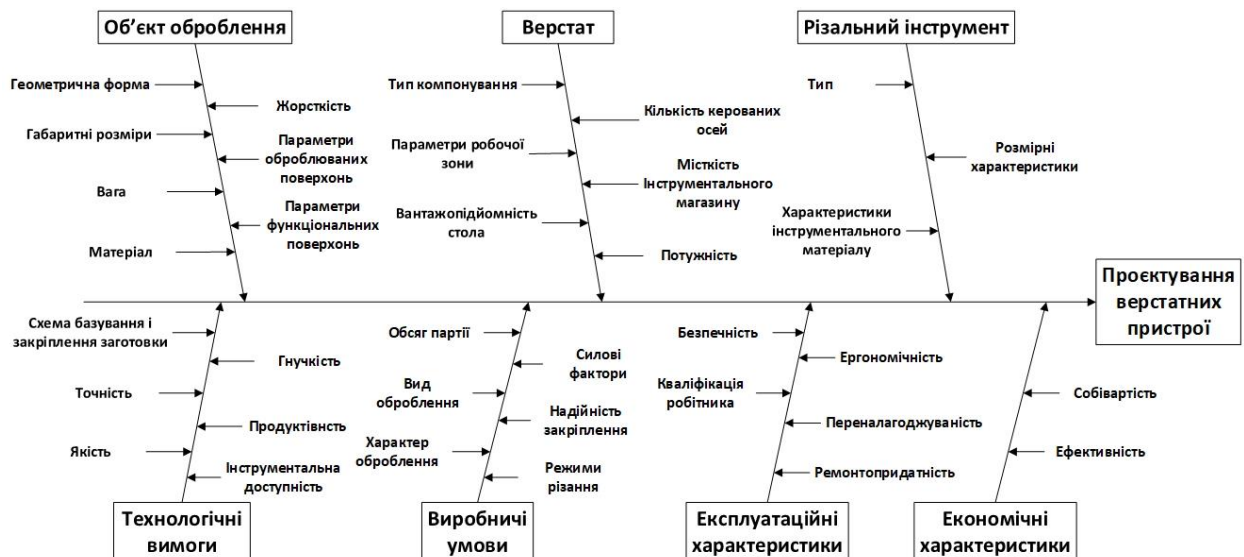


Рис. 1 – Причинно-наслідкова діаграма Ішикави

### Список посилань

1. Botezatu, C. Use of the Ishikawa Diagram in the Investigation of Some Industrial Processes / C. Botezatu, I. Condrea, B. Oroian, A. Hrițuc, M. Ețcu, L. Slătineanu // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – 682. – 012012. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/682/1/012012>.

УДК 621.9-1

Кононович В.М., аспірант  
Дегтярьов І.М., канд. техн. наук, доцент  
Корнієнко А.О., студент

Сумський державний університет, v.kononovych@tmvi.sumdu.edu.ua

## **ВДОСКОНАЛЕННЯ ШТИФТОВИХ КОНІЧНИХ З'ЄДНАНЬ ДЕТАЛЕЙ НАСОСНОГО ОБЛАДНАННЯ**

Штифтові конічні з'єднання використовуються в різних галузях промисловості, де необхідне з'єднання деталей з високою точністю і надійністю.

Одним з основних застосувань є насосне обладнання, де штифтові конічні з'єднання забезпечують надійний зв'язок між корпусами підшипників насоса. Вони також використовуються в механізмах з передачею обертового моменту, наприклад, в приводах верстатів і машин, де необхідна точність та стійкість до високих навантажень.

Штифтові конічні з'єднання також можуть застосовуватися в автомобільній промисловості для з'єднання деталей, що необхідно періодично розбирати.

Крім того, штифтові конічні з'єднання можуть бути використані в будівельній та енергетичній галузях для з'єднання деталей промислових вентиляторів, генераторів, турбін та іншого обладнання.

Штифтові конічні з'єднання деталей насосного обладнання можна вдосконалювати за допомогою різних методів. Ось декілька з них:

- використання новітніх матеріалів. Вибір матеріалу, з якого виготовлені штифти та деталі конічних з'єднань, може впливати на міцність, довговічність та ефективність з'єднання. Застосування новітніх матеріалів, таких як високоміцні сплави або кераміка, може покращити властивості з'єднання.

- використання новітніх технологій виготовлення. Впровадження новітніх технологій виготовлення, таких як комп'ютерне керування обробкою (CNC), може забезпечити більш високу точність та якість деталей.

- вдосконалення конструкції. Розробка нових конструктивних рішень конічних з'єднань та штифтів може покращити міцність, довговічність та ефективність з'єднання.

- використання більш точних методів монтажу. Використання більш точних методів монтажу, таких як запресовування штифтів з високою точністю вимірювання сили запресовування, що дозволить забезпечити потрібний натяг може забезпечити більш стійке з'єднання.

Шорсткість штифтових конічних з'єднань може вплинути на їхню міцність та зносостійкість. З одного боку, занадто висока шорсткість поверхні може призвести до пошкодження поверхні при монтажі, що може зменшити точність з'єднання. З іншого боку, занадто гладка поверхня може призвести до зсуву деталей, що може знизити міцність з'єднання.

Також важливо враховувати, що зносостійкість штифтових конічних з'єднань може залежати від шорсткості поверхні. Занадто висока шорсткість може призвести до швидкого зношування з'єднання. Тому оптимальний рівень шорсткості поверхонь залежить від конкретних умов застосування з'єднання та потреби в точності, міцності та зносостійкості. Таким чином, вдосконалення штифтових конічних з'єднань деталей насосного обладнання є важливою задачею для забезпечення його ефективної та безперебійної роботи. Застосування нових матеріалів, використання спеціальних клеїв та нових методик обробки деталей можуть допомогти покращити міцність та зносостійкість штифтових конічних з'єднань та забезпечити більшу надійність насосного обладнання.



УДК 621.822

Денисюк В.Ю., канд. техн. наук, доцент  
 Луцький національний технічний університет, v.denysiuk@lnu.edu.ua

## ВИЗНАЧЕННЯ ПОХИБОК ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ЗАСОБІВ АКТИВНОГО КОНТРОЛЮ

У машино- та приладобудівному виробництві багато деталей виготовляють із високою розмірною точністю. Для забезпечення високої точності обробки на верстатах застосовують автоматизовані системи активного контролю, що призначені для вимірювання геометричних розмірів деталей у процесі їх оброблення і управління технологічним обладнанням за результатами цих вимірювань [1].

Похибка виготовлення деталі  $\Delta$  характеризується наступним співвідношенням

$$\Delta = \Delta_n + \Delta_{об} + \Delta_0 \leq \delta, \quad (1)$$

де  $\Delta_n$  – похибка приладу;

$\Delta_{об}$  – похибка обробки;

$\Delta_0$  – похибка налаштування приладу та системи верстат-пристрій-інструмент-деталь (ВПІД);

$\delta$  – допуск.

Похибка виготовлення виробів на верстаті з приладом активного контролю може бути представлена формулою:

$$\delta \geq \Delta_0 + \Delta_c(t) + \Delta_p, \quad (2)$$

де  $\Delta_c(t)$  – систематична похибка від зміщення налаштування системи;

$\Delta_p$  – випадкова похибка розсіювання розмірів деталей.

На точність обробки крім похибки видачі кінцевої команди приладу  $\Delta_n$  впливають похибки, зумовлені системою ВПІД. Таким чином, з'являється динамічна похибка  $\Delta_\delta$ , що має, як і динамічна похибка приладу  $\delta_\delta$ , систематичну та випадкову складові [2]. Систематична складова компенсується при налаштуванні верстата з приладом, випадкова виникає через коливання швидкості знімання припуску  $V$  і часу  $t_\delta$  відведення шліфувального круга в кінці обробки та визначається за формулою:

$$\Delta_\delta = \pm 2\sigma_\delta = \pm \sqrt{(t_\delta \sigma_V)^2 + (V \sigma_t)^2}, \quad (3)$$

де  $t_\delta$  – середній час спрацьовування механізму відведення шліфувального круга, що дорівнює приблизно 0,1 с;

$\sigma_V$  – середня квадратична похибка, що характеризує непостійність швидкості зміни розміру при припиненні обробки;

$\sigma_t$  – середня квадратична похибка, що характеризує непостійність часу відведення шліфувального круга.

Похибка  $\Delta_\delta$  невелика і становить приблизно 0,2 – 0,5 мкм. Похибка форми  $\Delta_\phi$  та похибка  $\Delta_c$  системи ВПІД не впливають безпосередньо на момент закінчення обробки та відведення шліфувального круга, а виявляються вже на оброблених деталях. Для того щоб оцінити співвідношення між похибками форми та похибкою приладу, умовно представимо, що похибка обробки включає лише ці дві складові ( $\Delta_\phi$  та  $\Delta_n$ ).

Похибка обробки  $\Delta_{об}$  залежить не тільки від полів складових похибки, а й від їх розташування (рис. 1). У найсприятливішому випадку складові похибки  $\Delta_\phi$  та  $\Delta_n$  розташовані симетрично відносно рівня налаштування, і це відповідає найменшій похибці

обробки  $\Delta_{об}$  (рис. 1, а). Найбільше значення похибка обробки  $\Delta_{об}$  має місце у тому випадку, якщо її складові розташовані цілком по одну сторону від рівня налаштування (рис. 1, б).

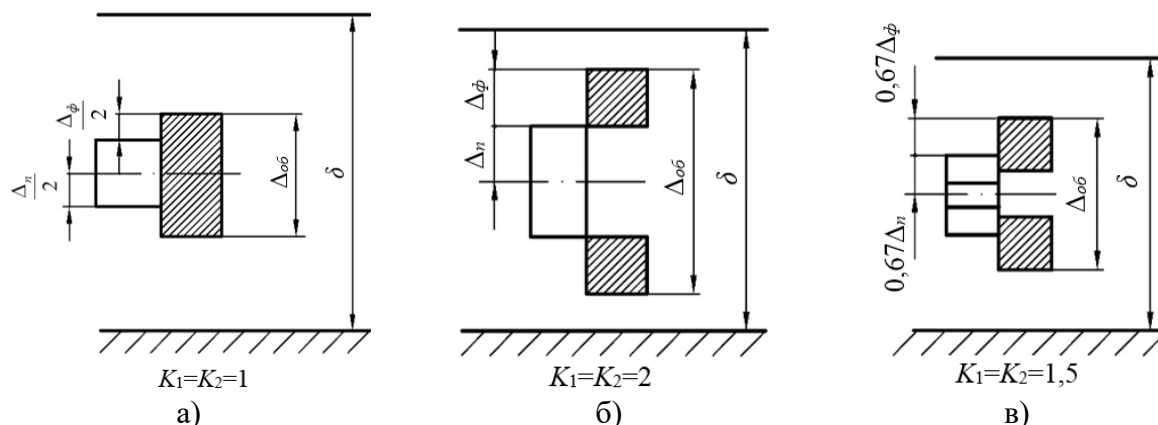


Рис. 1 – Розташування складових похибок у полі допуску розміру

Таким чином, похибку обробки  $\Delta_{об}$  можна представити формулою:

$$\Delta_{об} = K_1 \Delta_n + K_2 \Delta_\phi, \quad (4)$$

де  $K_1$  і  $K_2$  – коефіцієнти, що залежать від розташування поля кожної складової похибки відносно вихідного розміру, тобто похибки  $\Delta_n$  відносно номінального або дійсного рівня налаштування, наприклад, середини поля допуску, та похибки форми  $\Delta_\phi$  відносно дійсного розміру. Значення  $K_1$  та  $K_2$ , наведені на рисунку 2 а, б, є граничними. Для попередніх розрахунків точності обробки доцільно орієнтуватися на середнє значення цих коефіцієнтів  $K_1 = K_2 = 1,5$  (рис. 1, в).

У таблиці 1 наведено похибки обробки  $\Delta_{об}$  при деяких значеннях  $\Delta_n$  і  $\Delta_\phi$ , підраховані за формулою (4).

Таблиця 1 – Співвідношення похибок форми та обробки

| $\Delta_n/\delta$ | $\Delta_\phi/\delta$ | $\Delta_{об}/\delta$ |
|-------------------|----------------------|----------------------|
| 0,2               | 0,2                  | 0,42                 |
| 0,2               | 0,6                  | 0,95                 |
| 0,3               | 0,2                  | 0,54                 |
| 0,3               | 0,55                 | 0,94                 |
| 0,4               | 0,2                  | 0,67                 |
| 0,4               | 0,5                  | 0,96                 |
| 0,5               | 0,2                  | 0,81                 |

Таким чином, похибки форми істотно впливають на точність обробки. На відміну від інших способів обробки, коли можуть допускатися відхилення форми в межах усього поля допуску розміру, при автоматичному контролі відхилення форми завжди повинні бути обмежені лише частиною допуску розміру. Найбільший допуск форми може становити  $\Delta_\phi = 0,6\delta$  (при  $\Delta_n < 0,2\delta$ ). Однак оптимальним слід вважати  $\Delta_\phi < 0,4\delta$ . За цієї умови похибка приладу може скласти  $\Delta_n = 0,5\delta$ .

#### Список посилань

1. Денисюк В. Ю. Метрологічне забезпечення точності приладів активного контролю в процесі обробки. / Денисюк В. Ю., Симонюк В. П., Лапченко Ю. С., Новосад Б. І. // «Перспективні технології та прилади»: зб. статей. – 2020. – Вип. 16. – С. 38 – 47.
2. Денисюк В.Ю. Динамічні похибки в системах активного контролю та їх визначення в умовах експлуатації. / В.Ю. Денисюк // «Інформаційно-вимірювальні технології ІВТ-2022»: зб. тез доп. Міжнар. наук.-практ. конф., м. Львів, 9–10 листопада 2022 р. – Львів, 2022. – С. 53 – 55.

УДК 539.4: 621.7

Долгов М.А., докт. техн. наук, професор

Інститут проблем міцності імені Г.С.Писаренка НАН України, dna@ipp.kiev.ua

Смирнов І.В., докт. техн. наук, професор

Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського»

Тарасовська С.О., канд. техн. наук, старший дослідник

Інститут проблем міцності імені Г.С.Писаренка НАН України,

Скиба В.А., аспірант

Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського»

## МІЦНІСТЬ ЗЧЕПЛЕННЯ ПЛАЗМОВИХ ПОКРИТТІВ ПРИ ДОСЛІДЖЕННЯХ НА ВІДРИВ ТА ЗСУВ

Для підвищення характеристик міцності плазових покриттів застосовують модифікатори порошків для напилювання. Досліджували вплив наночастинок оксиду титану (Rutile) розміром 20 – 50 нм виробництва Nanostructured & Amorphous Materials Inc., USA як модифікатору на міцність зчеплення плазових покриттів з оксиду алюмінію. Для напилення покриттів використовували порошок  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  фракцією 63 + 40 мкм, як без модифікатора, та з добавкою нанопорошку  $\text{TiO}_2$  у кількості 1,5 мас. %.

Для приготування гомогенної суміші мікропорошку з нанопорошком використовували механохімічну обробку в планетарному кульовому млині XQM-2 з додатковим вакуумуванням робочої камери. Покриття товщиною 250 – 300 мкм напилювали плазмотроном з частково винесеною дугою і додатковим обдуванням плазового струменя концентричним потоком захисного газу в ламінарному режимі, що сприяє збереженню та перенесенню наночастинок в покриття.

Міцність зчеплення покриттів зі сталлю Ст.3 визначали при випробуваннях зразків циліндричної форми (діаметром 25 мм) на відрив та плоскої (розміри покриття: 28 мм × 18 мм) – на зсув. Відрив покриття при розтягуванні циліндричних зразків в напрямку, перпендикулярному поверхні зони адгезійного з'єднання між покриттям та сталеву основою дозволяє оцінювати міцність зчеплення (рис 1, а). Дослідження міцності зчеплення на зсув полягало у визначенні критичних напружень, які виникають внаслідок дії дотичних напружень в зоні адгезійного з'єднання покриття та основи (рис. 1, б).

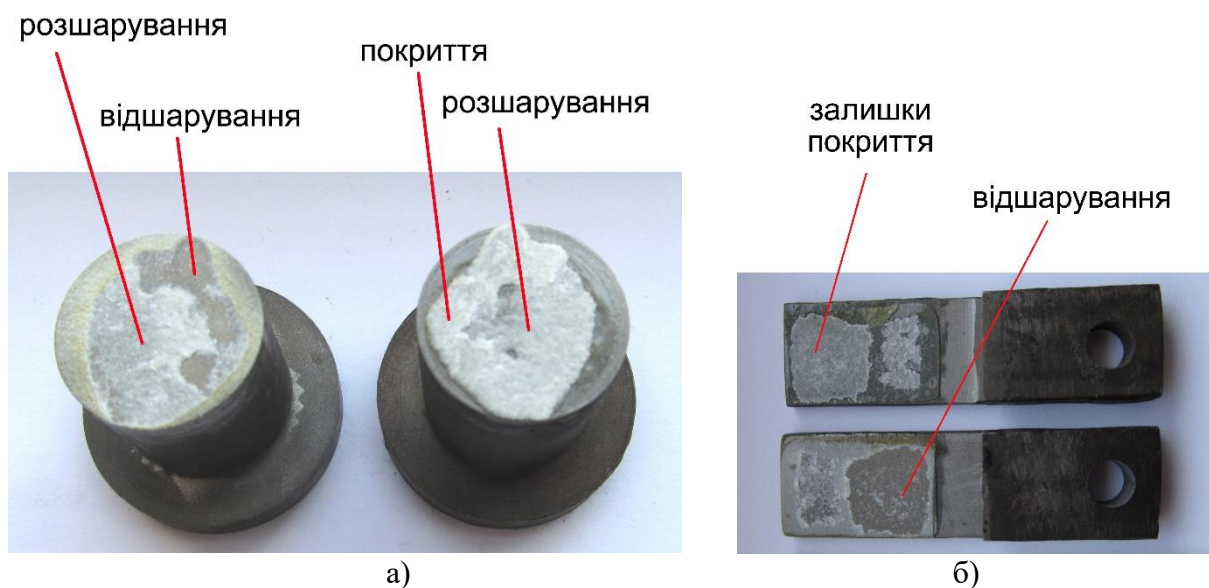


Рис. 1 – Руйнування зразків після випробування: а – на відрив; б – на зсув

Для склеювання поверхні напиленого покриття з контрзразками циліндричної та плоскої форм використовували клей на епоксидній основі [1]. Випробування виконували на розривній машині FM 1000.

На результати оцінювання міцності зчеплення при розтягуванні впливає інтенсивність абразивноструминної обробки сталеві поверхні перед напилуванням покриття. Аналітичним методом був проведений аналіз розподілу дотичних напружень в площині адгезійного контакту покриття та основи під час випробування на зсув. Результати показали, що сингулярність напружень в околі вільного краю покриття впливає на розподіл дотичних напружень, які, своєю чергою, впливатимуть на точність визначення характеристик міцності покриття. Крім того, відзначено, що інтенсивність абразивноструминної обробки поверхні перед напилуванням покриття має такий самий вплив на результати дослідження міцності зчеплення при зсуві, як і при розтягуванні циліндричних зразків. Це свідчить про можливість оцінювання міцності зчеплення на відрив за результатами визначення міцності зчеплення при зсуві. Для коректного порівняння критичних нормальних та дотичних напружень, які викликають відшарування покриттів під час випробувань на відрив та зсув відповідно, розраховували середні значення нормальних напружень, які характеризують міцність зчеплення на відрив, та середні значення дотичних напружень, які характеризують міцність зчеплення на зсув. Неоднорідність напруженого стану покриттів під час випробувань та сингулярність напружень в околі вільного краю покриття не враховували для порівняльного аналізу характеристик міцності покриттів. Результати визначення характеристик міцності покриттів показали, що міцність зчеплення покриття із не модифікованого  $\text{Al}_2\text{O}_3$  складає 16 та 11 МПа для випробувань на відрив та зсув, відповідно. Додавання до мікропорошку  $\text{Al}_2\text{O}_3$  нанопорошку  $\text{TiO}_2$  підвищується міцність зчеплення покриттів до 20 та 12 МПа для випробувань на відрив та зсув, відповідно. Зроблено висновки, що модифікація мікропорошку нанопорошком підвищує міцність зчеплення як на відрив, та і на зсув.

#### Список посилань

1. Dolgov M.A., Zubrets'ka N.A., Buketov A.V., Stukhlyak P.D. Use of the method of mathematical experiment planning for evaluating adhesive strength of protective coatings modified by energy fields // Strength Mater. – 2012. – V.44. – P. 81 – 86.

УДК 621.787.4

**Шепеленко І.В., докт. техн. наук, професор**

Центральноукраїнський національний технічний університет, [kntucpfzk@gmail.com](mailto:kntucpfzk@gmail.com)

**Немировський Я.Б., докт. техн. наук, професор**

Державний університет «Житомирська політехніка»

**Магопець С.О., канд. техн. наук, доцент**

**Красота М.В., канд. техн. наук, доцент**

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький

### ПРОВЕДЕННЯ ПРИСКОРЕНИХ ЗНОСОСТІЙКИХ ВИПРОБУВАНЬ ГІЛЬЗ ЦИЛІНДРІВ

В роботах [1, 2 та ін.] доведена доцільність та ефективність використання фінішної антифрикційної безабразивної обробки (ФАБО) гільз циліндрів двигунів внутрішнього згорання. Впровадження таких технологій вимагають проведення зносостійких випробувань робочих поверхонь виробів. Враховуюче те, що традиційні методи та установки не завжди дозволяють в точності відтворити умови роботи пари тертя «гільза – кільце», а також пов'язані з витратою часу на проведення випробувань, виникає питання розробки методів прискорених випробувань.

При проведенні зносостійких випробувань робочих поверхонь гільз, оброблених ФАБО, необхідно максимально точно відтворити механічні умови роботи антифрикційних покриттів, а також врахувати особливості роботи пари тертя. Аналіз напружено-деформованого стану (НДС) антифрикційних покриттів дозволив встановити наступні закономірності [3]:

- на зносостійкість покриття впливають два процеси: адгезійне стирання на ділянці контакту кільця з гільзою та втомлюване руйнування під дією циклічних розтягуючих і стискаючих напружень;

- напруження виникають на різних межах контактних ділянок. Причому попереду контактних ділянок – піки стискаючих напружень, а позаду – розтягуючі;

- величина цих піків залежить від величини перехідних ділянок.

Розрахунок НДС антифрикційних покриттів показав [4], що при дискретному контакті у кінцевих точках виникають зони сильної концентрації напружень  $\sigma_x$  (т.А – стискаючі, т.В – розтягуючі (рис. 1).

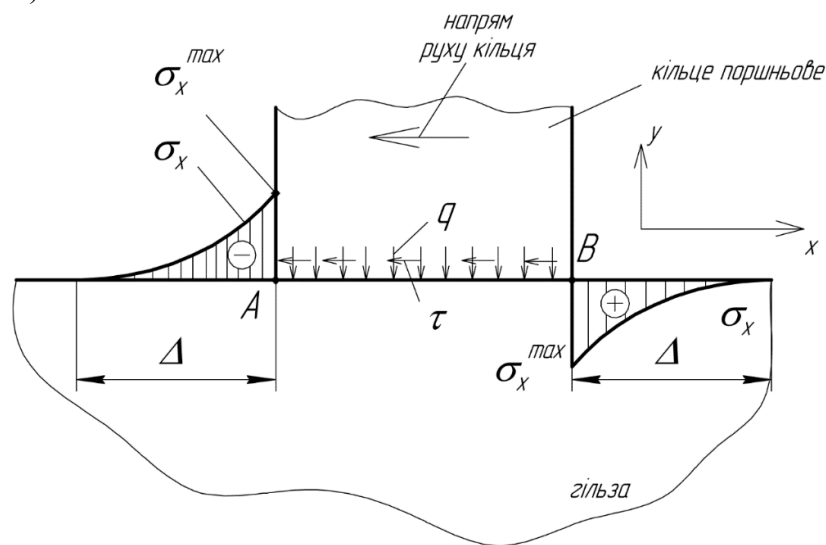


Рис. 1 – Схема НДС контактної зони кільця з поверхнею гільзи

Оскільки будь-яка матеріальна точка на поверхні гільзи зазнає дії змінних розтягуючих і стискаючих напружень  $\sigma_x^{max}$ , що впливають на міцність та стійкість покриття, визначено, що при моделюванні зносу необхідно створювати періодичну дію цих напружень. Встановлені закономірності лягли в основу розробки конструкції контртіла для випробування зносостійкості робочої поверхні гільзи (рис. 2).

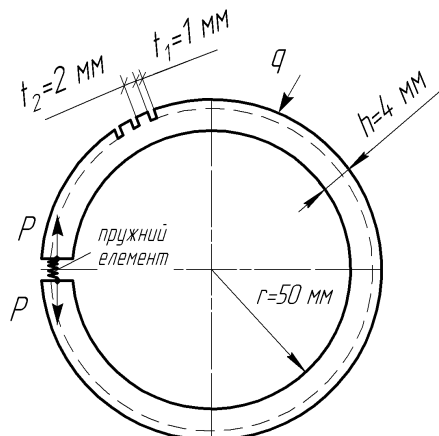


Рис. 2 – Конструкція контртіла, що взаємодіє з поверхнею гільзи

Для здійснення прискореного процесу вивчення зносостійкості гільз циліндрів контртіло виконано у вигляді пружного розрізного кільця з внутрішнім радіусом  $r = 50$  мм і товщиною  $h = 4$  мм. Внаслідок дії пружного елемента із силою  $P$  з боку гільзи виникає контактний тиск  $q$ . Така схема відповідає схемі роботи пари тертя «гільза – кільце». Висота зовнішньої поверхні кільця дорівнює 2 мм. На зовнішній поверхні кільця виконані пази шириною  $t_1 = 1$  мм з виступами шириною  $t_2 = 2$  мм. Це забезпечить на окружності кільця довжиною 310 мм приблизно 100 виступів. Така кількість виступів відповідає числу поршневих кілець, які одночасно працюють в моделюючому пристрої, та гарантує значне скорочення часу на випробування зносостійкості гільз циліндрів при максимальній відповідності умов роботи пари тертя «гільза – кільце».

#### Список посилань

1. Шепеленко І.В. Технологія зміцнення робочої поверхні гільз циліндрів із забезпеченням їх антифрикційних властивостей/ І.В. Шепеленко, Я.Б. Немировський, Е.К. Посвятенко// Технологія і техніка друкарства. – 2022. – № 1(75). – С. 29–36. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.1\(75\).2022.266644](https://doi.org/10.20535/2077-7264.1(75).2022.266644).
2. Паніна В.В. Спосіб відновлення гільз циліндрів з використанням ФАБО/ В.В. Паніна, Г.І. Дашивець // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. – 2015. – Вип. 5, Т. 1. – С. 134–139.
3. Шепеленко І.В. Наукові основи технології нанесення антифрикційних покриттів з використанням пластичного деформування: Автореф. дис....д-ра техн. наук: 05.02.08 / НТУУ „КПІ ім. І. Сікорського”. – К., 2021. – 43 с.
4. Шепеленко І.В. Особливості розрахунку напружено-деформованого стану антифрикційних покриттів / Шепеленко І.В., Гуцул В.І., Магопєць М.С. // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС - 2022): матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції (26–27 травня 2022 р.): у 2-х т. – Чернігів, 2022. – Т.1. – С. 104 – 105.

УДК 678

**Бойко С.В., канд. техн. наук, доцент**  
**Соловей В.В., здобувач вищої освіти**

Національний університет «Чернігівська політехніка», [svboyko.cstu@gmail.com](mailto:svboyko.cstu@gmail.com)

#### ВИКОРИСТАННЯ ВТОРИННИХ ПОЛІМЕРІВ У 3D-ДРУЦІ

В Україні, станом на 2023 рік, кожна людина генерує понад 500 кг сміття за рік, серед якого до 40% полімерів, які можливо повторно використовувати. В роботі досліджено нестандартне використання таких полімерів як: PLA, PET, ABS у 3D-друці та розробка пристрою для переробки звичайних пластикових пляшок у філамент для 3D-друку. Основним біорозкладним полімером у 3D-друці є PLA - біорозкладний термопластичний полієфір, що одержують на основі молочної кислоти. Згідно останніх досліджень[1], вироби з PLA на 99.9% розкладаються за 32-40 місяців, при відносній середній вологості 80%, та середній температурі 25 °С. А розкладання до 90%, тобто до повної втрати форми та перетворення на пил, здійснюється лише за 16-24 місяці при тих самих умовах. У теплій морській воді процес розкладання на 99,9% цього полімера становить від 4 до 8 місяців.

Основним вторинним полімером у 3D-друці є ABS. З нього виготовлено близько 30-45% предметів з пластику, що нас оточують. Отже, виходячи з того, що цей матеріал є вторинним, дешевим і відносно простим у 3D-друці, його можна використовувати для друку моделей технічного та декоративного призначення.

Головною особливістю PET пластику є можливість багаторазової переробки (до 50 разів), на відміну ABS, який придатний лише до 7-10 циклів переробки.



Вага однієї середньої 1.5л пляшки – 43 грама.



а)



б)

Рис. 1 – Етапи переробки PET тари а) PET-тара б) подрібнені смужки

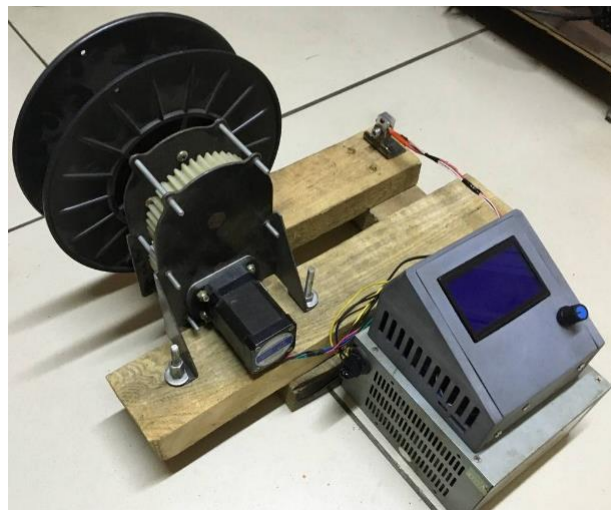


Рис. 2 – Прототип пристрою з протяжним механізмом та нагрівальним елементом

Продуктивність цього пристрою вийшла приблизно 120-150 грамів філаменту на годину. Точність діаметру філаменту становить  $1.75 \pm 0.07$  мм (рис. 3), це є прийнятним відхиленням. Дозволяє отримати середньо-високу якість моделей. Максимальна довжина однієї протяжки становить 180-200 метрів. З однієї пляшки 1.5л можна отримати приблизно 22-25 метрів філаменту. У ролі рами була використана деревина із піддонів, як найбільш дешевий варіант, оскільки для остаточного прототипу немає сенсу використовувати дорогий пластик чи метал.



Рис. 3 – Точність діаметру філаменту



а)



б)

Рис. 4 – Отриманий філамент а) і надрукована модель з переробленої РЕТ-тари б)

Цей проект у найближчому майбутньому буде повністю адаптований під 3D-друк, відрами, до підшипників з мінімальною кількістю металевих деталей, також в планах є розширення підтримки плат управління. Процес автоматизації нарізання РЕТ-тари майже знаходиться на етапі тестування. Це дозволить усунути головний недолік верстата на сьогодні, якій полягає у тому, що максимальна довжина філаменту обмежена максимальною довжиною стрічки, тобто розмірами пляшки.

#### Список посилань

1. The Economist. Science & technology. Nov 28th 2009 edition. Synthetic biology. Your plastic pal. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.economist.com/science-and-technology/2009/11/26/your-plastic-pal>

УДК 621.8 :519.711.3

**Ковалевський С.В., докт. техн. наук, професор**

**Ковалевська О.С., канд.техн.наук, доцент**

**Коваленко О.М., аспірантка**

**Сидюк Д.М., аспірантка**

Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, kovalevskii61@gmail.com

### МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПІЗНАВАННЯ БАГАТОВИМІРНИХ ОБ'ЄКТІВ В ВЕКТОРНОМУ ПРОСТОРИ

Розробка системи розпізнавання передбачає формування масиву даних на основі матриці прецедентів (навчальна вибірка – сукупність об'єктів для яких свідомо відомі їхні образи); вибір моделі уявлення об'єктів; вибір значимих показників як із найважливіших етапів розробки системи розпізнавання; розробка класифікаційного правила, яке за значеннями характеристичних властивостей об'єкта віднесе його до одного із образів; складання алгоритму реалізації процесу розпізнавання станів об'єктів (діагностика станів об'єктів) на основі класифікаційного правила; перевірка якості алгоритму розпізнавання (діагностики); використання результатів на вирішення оптимізаційних завдань діагностики до ухвалення управлінських рішень.

Основним завданням роботи є створення методики діагностики стану об'єктів на підставі удосконалення перетворення координат станів та їх класифікації.

Ілюстрація запропонованого перетворення координат для діагностики об'єктів подання на класичному завданні «виключаюче «або»» [1]. При складанні матриці прецедентів допустимо: рядкам матриці прецедентів зіставляються описи об'єктів у векторному просторі характеристичних ознак прецедентів, а стовпцям – характеристичні ознаки.

Елемент набуває значення «1», якщо  $j$ -а ознака властива  $i$ -му об'єкту, «0» – не властивий. Об'єкти, яким відповідають рівні рядки матриці належать одному образу, а безліч відповідних рядків матриці задає опис даного образу [2].

Якщо розгорнути систему координат і виконати відображення точок координат однієї групи множини відносно однієї з координатних осей, то суміщені точки  $Y(0,0) = B(0)$  та  $Y(1,1) = B(1,1)$ , а також точки  $Y(0,1) = A(0,1)$  та  $Y(1,0) = A(1,0)$  дозволять провести групування з поділом множин векторів. Це, у свою чергу, дозволить зарахувати кожен вектор до тієї чи іншої групи однорідних ознак так як наведено (рис.1).

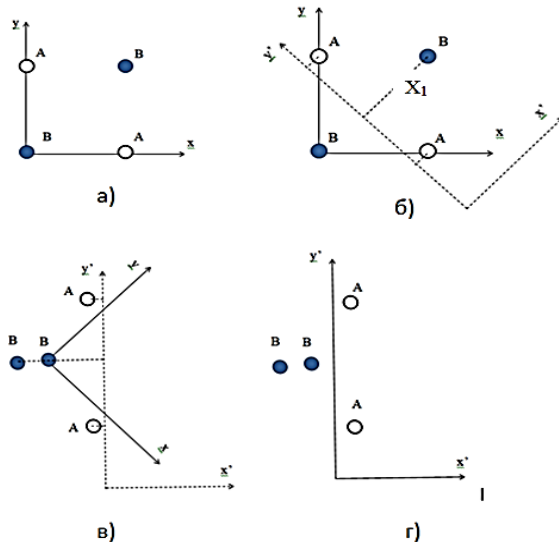


Рис. 1 – Графічна ілюстрація задачі «виключаюче «або»: а) загальна постановка задачі в координатах  $x$ - $y$ ; б) поворот координат  $x$ - $y$  паралельно одній осі у двом ознакам у загальній класифікаційній групі навчальної множини; в) відображення (перенесення) щодо обраної осі всіх точок, що характеризують координати станів об'єкта (А та В); г) зміщення осі  $y$ , що розділяє множини у бік розташування точок класифікаційної множини А і В на величину, що дорівнює половині відстані від точок В до найближчої точки А.

Представлена задача прогнозування ситуацій: є таблиця даних щодо ситуацій, які діагностувалися у процесі виготовлення та експлуатації виробів машинобудування  $a_{11}, a_{12} \dots a_{21}, a_{22} \dots a_{mn}$ . Значення бінарних ознак дорівнюють 0 (відповідь "ні" для вхідної ознаки) і 1 (відповідь "так" для вхідної ознаки).

Результати поділу множин багатовимірних ознак є функцією  $F_j$  (1), ілюстрація значень якої наведено на рис. 2:

$$F_j = \sum_{i=1}^n a_i x_i \quad (1)$$

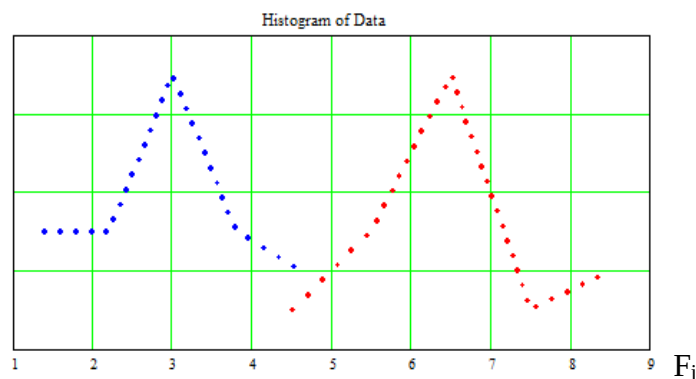


Рис. 2 – Значення функції  $F_j$  ( $j = 1, 2$ ), яка представляє результати розділення багатовимірних множин

Вирішення оптимізаційних завдань: якщо взяти до уваги можливі витрати  $C_i$  для досягнення необхідних значень  $x_i$ , можна надати математичну модель оптимізаційної задачі у вигляді, поданому системою (2):

$$\left\{ \begin{array}{l} F = \sum_{i=1}^n a_i \cdot x_i = \text{const}, \\ a_i \geq 0, \\ a_i \leq 1, \\ x_i = 0; 1, \\ F_c = \sum C_i \cdot a_i \cdot x_i \rightarrow \min \end{array} \right. \quad (2)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} F_c = \sum C_i \cdot a_i \cdot x_i = \text{const}, \\ a_i \geq 0, \\ a_i \leq 1, \\ x_i = 0; 1, \\ \sum_{i=1}^T C_i = \text{const} \\ F = \sum_{i=1}^n a_i \cdot x_i \rightarrow \max(\min) \end{array} \right. \quad (3)$$

Суть завдання полягає в тому, що необхідно визначити таке поєднання значень  $x_i$ , для яких можна досягти мінімуму сумарних витрат на досягнення мети  $F$ . Як константа приймається центр розподілу функції вирішального правила для стратегій управління життєвим віком виробів машинобудування.

Вирішуючи оптимізаційну задачу пошуку значень  $x_i$  методом сполучених градієнтів для  $C_i=10$ ;  $C_i=5$ ;  $C_i=1$  отримані результати (табл.1), які дозволяють зробити висновки.

Таблиця 1 – Значення ознак  $x_i$  для різних стратегій прийняття рішень

| Значення<br>ознак | F=6,65 |      |      | F=2,94 |      |      |
|-------------------|--------|------|------|--------|------|------|
|                   | C=1    | C=5  | C=10 | C=1    | C=5  | C=10 |
| $a_1$             | 0,43   | 0,43 | 0,43 | 0,00   | 0,00 | 0,00 |
| $a_2$             | 0,92   | 0,95 | 0,95 | 0,66   | 0,61 | 0,61 |
| $a_3$             | 0,00   | 0,00 | 0,00 | 0,00   | 0,00 | 0,00 |
| $a_4$             | 1,00   | 1,00 | 1,00 | 0,37   | 0,41 | 0,41 |
| $a_5$             | 0,51   | 0,51 | 0,51 | 0,14   | 0,08 | 0,08 |
| $a_6$             | 1,00   | 1,00 | 1,00 | 1,00   | 1,00 | 1,00 |
| $a_7$             | 0,99   | 0,99 | 0,99 | 0,98   | 1,00 | 1,00 |
| $a_8$             | 0,00   | 0,00 | 0,00 | 0,00   | 0,00 | 0,00 |
| $a_9$             | 0,18   | 0,18 | 0,18 | 0,00   | 0,00 | 0,00 |
| $a_{10}$          | 0,99   | 0,98 | 0,98 | 1,00   | 0,94 | 0,94 |
| $a_{11}$          | 0,00   | 0,00 | 0,00 | 0,00   | 0,00 | 0,00 |
| $a_{12}$          | 0,00   | 0,00 | 0,00 | 0,00   | 0,00 | 0,00 |

1. Будь-яка стратегія має передбачати фінансування напрямків  $a_6$ ,  $a_7$  і  $a_{10}$ .

2. Вплив на результат управління життєвим циклом виробу може мати відмінність у фінансуванні напрямків  $a_2$ ,  $a_4$  і  $a_5$ .

Оптимізаційне завдання розподілу коштів  $\sum_{i=1}^n C_i = \text{const}$  для досягнення необхідної мети описується системою виразів (3).

Вирішуючи друге оптимізаційне завдання дозволяє зробити висновки про те, що для досягнення позитивних результатів керування життєвим циклом виробу слід приділяти увагу підвищенню ознак  $a_3$ ,  $a_8$  і  $a_{11}$  і зменшувати прояв ознак  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_4$ ,  $a_5$ ,  $a_6$ ,  $a_7$ ,  $a_9$ ,  $a_{10}$ , і  $a_{12}$ .

Вказано, що перетворення векторного простору дозволяють виконати розпізнавання образів багатовимірних об'єктів, представлених векторним простором. При цьому може бути побудовано досить просте вирішальне правило на основі поєднання повороту координат з наступним відображенням однієї з координатних осей. Таку дію можна повторювати, застосовуючи функції «поворот-відображення» кожної пари відповідей одного класу. В результаті формуються значення параметрів розділової функції.

Методика визначення значення параметрів розділової функції дозволяють прогнозувати ступінь впливу кожної складової вектору образу. З огляду на витрати на досягнення заданої мети можна обґрунтувати такі стратегії, які дозволять отримати результат з бажаним ефектом.

Запропонований підхід дає можливість обґрунтовувати проектування інноваційних технологій, які б забезпечували оптимізацію життєвих циклів виробів машинобудівного виробництва.

#### Список посилань

1. Huang Q., Cai Z., Lan. T. A Single Neural Network for Mixed Style License Plate Detection and Recognition. 2021. IEEE Access 9:21777–85. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3055243.
2. Chertov O., Tavrov D. Memetic Algorithm for Solving the Task of Providing Group Anonymity. M. Jamshidi, V. Kreinovich, J. Kacprzyk Eds. Springer International Publishing Switzerland, 2014. vol. 312. P. 281–292.

УДК 621.81.002

**Ковалевський С.В.,** докт. техн. наук, професор  
**Ковалевська О.С.,** канд.техн.наук, доцент  
**Сидюк Д.М.,** аспірантка  
**Коваленко О.М.,** аспірантка

Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, kovalevskii61@gmail.com

### КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ МАШИНОБУДУВАННЯ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ВИРОБУ

Однією з ключових особливостей сьогодення є акцент на людино-машинну співпрацю. У той час, коли виробництво зосереджується на створенні досконалої інтелектуальної системи на основі здобутків ІТ-технологій, встає завдання створити робоче середовище, в якому люди і машини можуть працювати разом з людиною для досягнення найкращих результатів, та наголошує на важливості створення нового розуміння використання роботів [1]. Цільовими чинниками такого середовища є:

- створення синергетичних зв'язків між людиною та штучним інтелектом та роботизованими системами через використання цифрових пристроїв – «цифрових двійників», що дозволяє уособлювати людино-центричний підхід до використання технологій;
- цільовий фокус на розвиток сталості та конкурентоспроможності;
- залучення альтернативних режимів керування моделями, що ведуть до сталості та стійкості;
- вимагає створення системи сталої економіки з високою стійкістю ланцюгів доданої вартості та екосистем виробництв до нових потрясінь, у незалежності від їх джерела;
- розширення корпоративної відповідальності та введення індикаторів, що показують прогрес кожної екосистеми у досягненні стійкості, процвітання та сталості.

У технологічному секторі загальні особливості виробництва перетворюються на ключові особливості галузі:

- виготовлення на замовлення: перехід від типових продуктів до продуктів з високим ступенем персоналізації (тобто одиничне виробництво);
- залучення роботів у співпраці з креативністю та винахідливістю людини для створення індивідуальної продукції під окремі вимоги;
- розширення можливостей людини через відведення повторюваних та монотонних операцій штучному інтелекту та роботам;
- збільшення швидкості та якості завдяки новим технологіям, впровадженню автоматичних ліній тощо;
- екологічна повага шляхом використання відновлюваних джерел енергії та використання ланцюгів виробництва з меншими витратами ресурсів.

Інтеграція штучного інтелекту і машинного навчання виводить комплексну автоматизацію на новий рівень, інтегруючи штучний інтелект і машинне навчання у

виробничий процес, створюючи умови для управління з використанням «цифрових двійників» [1]. Це означає, що машини адаптуватися до нових ситуацій, що робить їх найбільш ефективними та результативними.

Однак, більшість ключових аспектів стосуються виробництва невеликих або середніх за габаритами та вагою деталями, для яких можна застосувати переміщення на роботизованих візках, автоматичне встановлення та вивірення. Для великогабаритних деталей не завжди можливо застосовувати технології, які забезпечують екологічні та економічні умови виробництва, високу продуктивність та одночасну якість деталі, оскільки певна частина заготовок має низьку якість поверхні, що унеможливлює виконання правильного та міцного захвату роборукою на операціях попередньої обробки. Тому, високу складність становить інтеграції виготовлення надважких та складно-профільних деталей на різних етапах технологічної революції, оскільки технологічна спадковість та обмежуюча вага вимагає особливого підходу. З огляду на це, основним завданням проектування і виконання технологічних процесів виробництва є оптимізація повного життєвого циклу виробів за наступними фазами:

1. Фаза проектування. Закладає основу усього життєвого циклу виробництва, оскільки передбачається загальний аналіз ринку та тенденцій виробництва. Проектування технології виготовлення виробів і їх складових відбувається з врахуванням особливостей замовлень. Це вимагає застосування нових програм з моделювання, проектування та підготовки виробництва [2].

2. Фаза виготовлення. Повинна передбачати інтеграцію людини, штучного інтелекту, машинного навчання та роботів, передбачаючи оптимізацію нових, або існуючих технологічних процесів в напрямках:

- застосування передових ідей та концепцій побудови технологічних машин, якими, перш за все, є металорізальні верстати, з ціллю збільшити термін «морального життя» оснащення та виконувати перехід до багатомономенклатурного гнучкого виробництва (яскравим прикладом є використання технологічних машин з кінематикою паралельної структури [2]);

- застосування окремих методів, які дозволяють подовжити строк служби інструментального оснащення, пристосування та верстатів (до таких методів можна віднести, як ідею додаткового зміцнення ріжучих пластин за допомогою магнітно-резонансної обробки, так і застосування системи активного контролю для поточного визначення стану технологічної системи та корегування заданих режимів обробки, що дозволяє створити умови для досягнення вимог часткової і життєвого циклу виробів);

- розробки та застосування сучасних методів зменшення впливу пікових навантажень при експлуатації деталей виробів [3].

3. Фаза експлуатації. Повинна бути оптимізована шляхом додержання стану експлуатації виробів згідно оптимальності по Беллману-Понтрягіну [4].

4. Фаза утилізації. Найменш досліджувана фаза, яка впливає на навколишнє середовище і повернути витрати, в тому числі за рахунок вторинного використання, яке зворотним чином впливає на фази 1 і 2.

Реалізація всіх фаз життєвого циклу кожного виробу повинна супроводжуватися забезпеченням умов системності, які забезпечували б додержання принципу емерджетності на кожному кроку створення і існування виробу.

#### Список посилань

1. Стратегія розвитку штучного інтелекту в Україні: колективна монографія / [За заг.ред. А.І.Шевченка]. Київ: ІПШ, 2023. 307 с.

2. Ковалевський С.В., Ковалевська О.С. Формування реконфігурованої структури ділянок у механо-складальних цехах на основі мобільних верстатів-роботів. Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. 2017. № 1 (40). С. 69-72.



3. Ковалевський С.В., Ковалевська О.С., Лупа Ю.В. Підвищення експлуатаційних характеристик деталей машин на основі комбінованого впливу сильних магнітних полів. Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету (технічні науки). Т. 2. Вип. 39. 2021. С. 42-50.

4. Pardoux, E. and Aurel Rascanu, A.(2014): Stochastic Differential Equations, Backward SDEs, Partial Differential Equations. In Stochastic Modelling and Applied Probability, Vol. 69, Springer.

УДК 621.375.826

**Ашкелянєць А.В., канд. техн. наук, доцент**

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,

[ashkelianets@gmail.com](mailto:ashkelianets@gmail.com)

**Миронова Т.М., докт. техн. наук, професор**

Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро, [t.myronova.myh@gmail.com](mailto:t.myronova.myh@gmail.com)

**Бондарев С.В., канд., техн. наук**

**Сех В.І., бакалавр**

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

### **МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ КУВАННЯ ДЛЯ РОЗРОБКИ ТЕХНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ БАГАТОШАРОВИХ ПОКОВОК**

Одним з головних резервних напрямів економії дефіцитних високолегованих сталей є використання двошарових сталей. Дана група сталей включає в собі дві особливі якості конструкційного матеріалу: міцність основного слою та спеціальні особливості високолегованого контактного слою (в якості антикорозійного шару використовують аустенітні сталі марок 08X18H10T, 08X17H13M3T та ін.), який безпосередньо контактує з робочим середовищем. Завдяки цьому двошарова група сталей характеризується сукупністю властивостей, які забезпечують корозійну стійкість при високій міцності, зносостійкість, ударній в'язкості та ін. [1]. Одним із найбільш поширених способів виготовлення таких матеріалів є гаряче деформування, а саме: вальцювання (наприклад, плакування листів і плит), пресування (плакування труб). Однак значну частину деталей складної конфігурації що забезпечують експлуатаційну надійність продукції багатьох підприємств, виготовляють вільним куванням або штампуванням.

Метою досліджень, що проводились в даній роботі є використання моделювання процесу кування пакетів із сталей різного призначення для визначення параметрів, що характеризують поведінку композитних матеріалів, врахування яких необхідно для розробки технології отримання багатошарових сталевих поковок з проміжними шарами із міді та латуні.

Для багатошарових пакетів, що підлягали куванню використовували наступні сплави: для центрального шару сталі марок- ШХ15, Ст.3, для обкладок сталь AISI304, що є аналогом сталі 08X18H10, для проміжних шарів – Мідь марки М1 та латунь марки Л63. Для проведення експериментальних досліджень було складено наступні пакети: пакет №1: сталь ШХ15 товщиною – 3мм; мідь марки М1, товщиною – 1мм; корозійностійка сталь аустенітного класу AISI304 товщиною – 2,5мм; пакет №2: сталь: Ст.3 товщиною – 3мм; мідь марки М1, товщиною – 1мм; корозійностійка сталь аустенітного класу AISI304 товщиною – 2,5мм; пакет №3: сталь: Ст.3 товщиною – 3мм; латунь марки Л.63, товщиною – 1мм; корозійностійка сталь аустенітного класу AISI304 товщиною – 2,5мм.

Для розроблення режиму кування багатошарових заготовок в роботі здійснювали комп'ютерне моделювання у програмі QForm [2].

Прийняті розміри заготовки: товщина 10 мм, висота 100 мм; матеріал заготовки: Ст.3пс, AISI304; температура верхнього і нижнього бойку 20°C; час охолодження на повітрі 3с.; обладнання: пневматичний молот з масою падаючих частин 160 кг.

Результати моделювання показали, що при першому ударі підвищення температури на поверхні і всередині заготовки складає майже 25...30°C. Найбільш інтенсивний напружений стан спостерігається у внутрішньому шарі, а в поверхневих шарах значно менше. Навпаки цьому, більш інтенсивному пластичному деформуванню підлягають поверхневі шари аустенітної корозійностійкої сталі, а центральний шар отримує майже в 2 рази менший ступінь деформування.

Враховуючи отримані результати було визначено експериментальний режим обробки композитних пакетів. Деформування експериментальних зразків здійснювали протягуванням. Після розрахунку параметрів кування прийнято два проходи для деформації заготовки з сумарним уковом 2,56, що відповідає нормативним показникам при куванні поковок з подовжених зливок –  $У\sum = 2,0...2,5$ ; при куванні з сортового прокату –  $У\sum = 1,5...2$ . Дослідження зон контактів сплавів пакетів після кування проводили за допомогою оптичного мікроскопу AXIOVERT 200 MAT.

З'єднання пластин проміжного мідного шару, як і з сталлю Ст.3, так і зі сталлю AISI304, має рівномірний щільний характер, розплавлення не спостерігається рис. 1. Однак у випадку із проміжними пластинами латуні спостерігається розшарування, а також масоперенесення латуні у вуглецеву сталь як наслідок того, що при деформуванні відбулося майже повне розплавлення пластини латуні Л63, що має температуру плавлення 906°C.

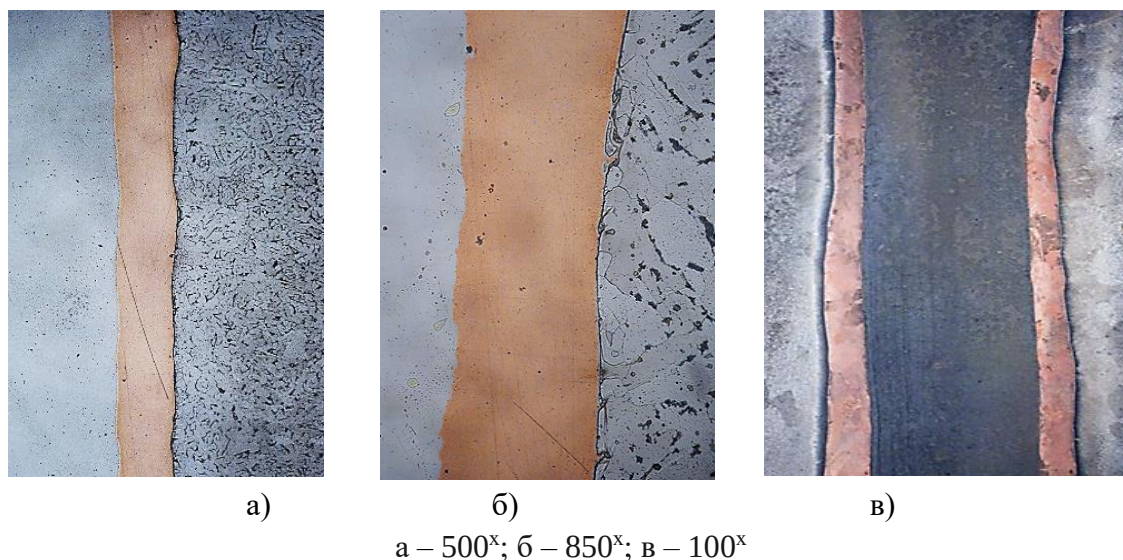


Рис. 1 – Мікроструктура з'єднання шарів сталі AISI321, міді М1 та вуглецевої сталі Ст.3 (а, б) а також композиту пакету 1(в) після кування при температурі 950-1000°C

Враховуючи отримані результати моделювання визначено режими нагріву та проведено кування композитних пакетів із різних сталей. Досліджено особливості мікроструктури в зонах контактного зварювання шарів латунь – вуглецева сталь і латунь сталь AISI304, мідь-вуглецева сталь, мідь – сталь AISI304, мідь сталь ШХ15. В якості проміжного шару для кращого зварювання сталевих шарів між собою в процесі кування, а також для запобігання дифузії вуглецю та легуючих елементів, доречно рекомендувати застосування пластини міді М1.

#### Список посилань

1. Крахмальов О.В., Ситников П.А. Технологічні особливості зварювання двошарових сталей в енергетичному комплексі/Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я. НТУ ХПІ. Харків. – 2017. Ч. II. – С.38 <http://repository.kpi.kharkov.ua>
2. Nikolay Biba, Alexander Maximov, Sergei Stebunov, Alexey Vlasov. The model for simulation of thermally, mechanically and physically coupled problems of metal forming. URL: <http://www.qform3d.co.uk/publications//Article.-MetalForming,2012>.

УДК 621.941-229.3:531.133

Луста Ю. Р., аспірант

Мачуга О. С., докт. техн. наук, професор

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, oleg\_mach@ukr.net

## РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ ВЗАЄМОДІЇ ЛІСОВИХ МАШИН З РОБОЧИМ СЕРЕДОВИЩЕМ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРИНЦИПУ СУПЕРПОЗИЦІЇ СИЛ

Робота в лісовій промисловості супроводжується ризиком травмування. Щороку 8,1% працівників галузі звертаються до органів охорони здоров'я з серйозними травмами. 30,2% травм пов'язані із заготівлею деревини з використанням спеціалізованого обладнання [1]. Доцільно проводити оцінку безпечних меж експлуатації для зменшення відсотку травмувань. Для спеціалізованої лісозаготівельної техніки існує низка чинників, які можуть спричинити перекидання чи ковзання [2]: кут ухилу місцевості, кут повороту робочого органу, відстані від вантажу до транспортного засобу, ваги вантажу, швидкості повороту маніпулятора, тримної здатності ґрунту та інших специфічних чинників. Слід визначити вплив кожного з цих чинників для окреслення безпечних умов експлуатації. Використання методу суперпозиції сил дозволяє розділити чинники впливу на групи та визначити їх сумарний вплив на спеціалізовану техніку (1).

$$\sum F = \sum F_i^G + \sum F_i^A, \quad (1)$$

де  $\sum F_i^G$  – сума сил від ваги елементів машини (транспортне положення),

$\sum F_i^A$  – сума сил від асиметричного навантаження.

Умовою виникнення небезпечної ситуації (перекидання) є втрата контакту з опорною поверхнею одного з коліс, тобто сила нормальних реакцій є рівною нулю (2).

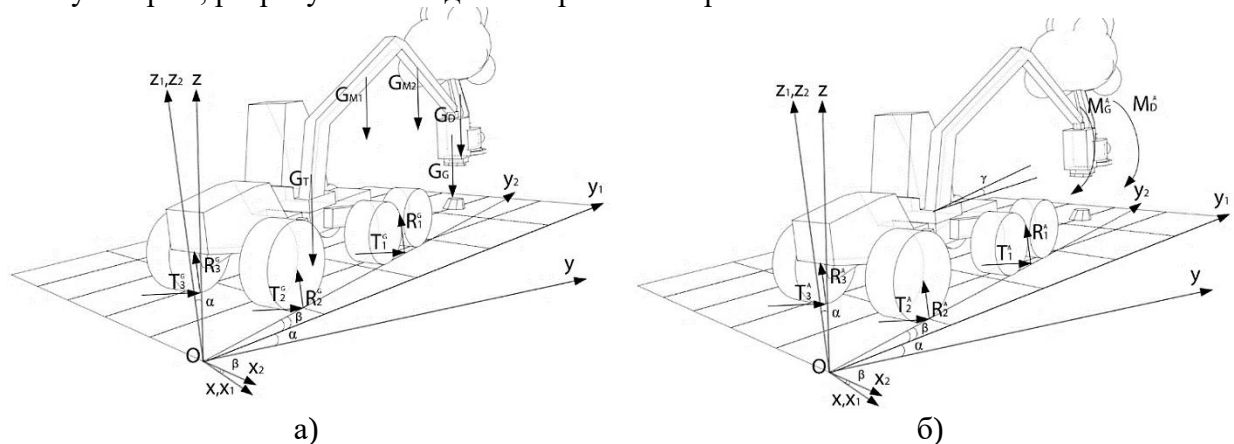
$$R_n = R_n^G + R_n^A = 0, \quad (2)$$

де  $R_n$  – сумарна реакція на найменш навантаженому колесі,

$R_n^G$  – реакція від ваги елементів машини в транспортному положенні,

$R_n^A$  – реакція від асиметричного навантаження.

Для демонстрації використання методики вибраний харвестер Valmet 911.3 зі стрілою-маніпулятором, розрахункова модель зображена на рис. 1.



Нормальні реакції в транспортному положенні визначено з умови перерозподілу ваги між осями машини [3] – реакції під двигуном  $R_d^G \approx 0,2R_n^G$  та під візком  $R_v^G \approx 0,3R_n^G$ .

Для розрахунку нормальних реакцій від дії асиметричного навантаження (рис. 1, б) використовується система рівнянь (3):

$$\begin{cases} R_1^A + R_2^A + R_3^A + R_4^A = 0; \\ -(R_3^A + R_2^A) \cdot a - (G_G + G_D) \cdot (L_{M1} + L_{M2}) \cos \gamma \cdot \cos \alpha = 0; \\ (R_1^A + R_2^A - R_3^A - R_4^A) \cdot \frac{b}{2} - (G_G + G_D) \cdot (L_{M1} + L_{M2}) \sin \gamma \cdot \cos \alpha = 0; \\ R_1^A = R_4^A \cos \gamma + R_2^A \sin \gamma. \end{cases} \quad (3)$$

де  $\gamma$  – кут повороту стріли маніпулятора від напрямку руху праворуч,

$b$  – ширина машини,

$a$  – база машини,

$L_{M1,2}$  – довжина першої та другої ланки маніпулятора,

$G_{G,D}$  – сила від ваги головки маніпулятора та дерева відповідно.

Система рівнянь (3) складається з трьох рівнянь рівноваги паралельної системи сил від дії моментів сил що виникли внаслідок асиметричного положення робочого органу та додатково містять четверте рівняння, яке пов'язує відповідні реакції з геометричних міркувань. Реакції найбільш та найменш навантажених коліс від положення стріли  $\gamma$  для різних ухилів місцевості наведено на рис. 2.

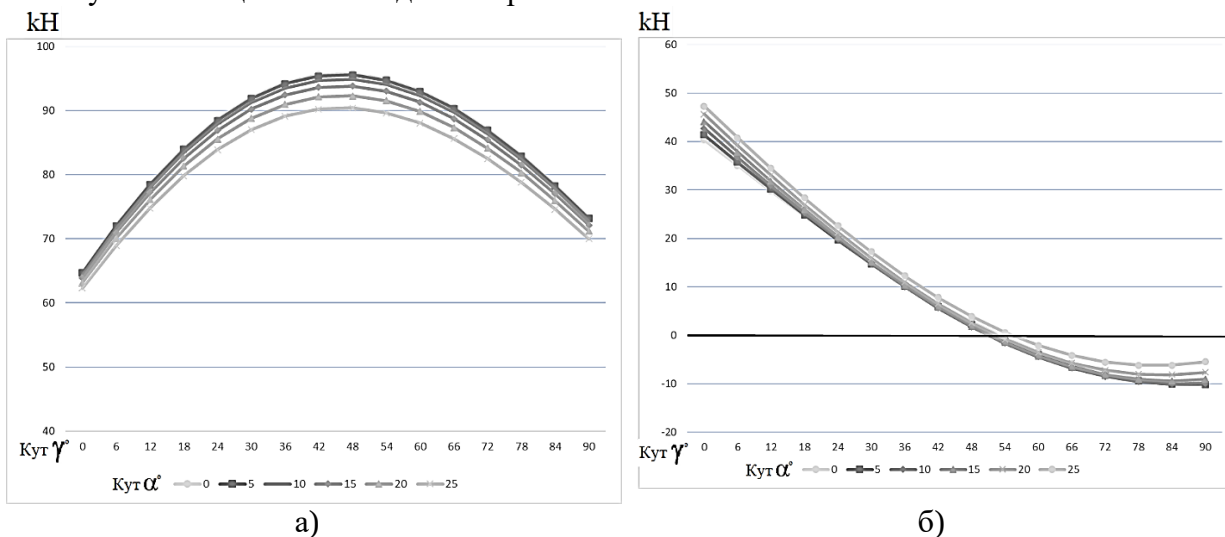


Рис. 2 – (а): графік для реакції R1 (найбільш навантажене колесо); (б): графік для реакції R3 (найменш навантажене колесо)

Із отриманих графіків можливо визначити кут відхилення стріли – маніпулятора, за яких настає втрата поперечної стійкості машини. Для продемонстрованого випадку це значення кутів  $\gamma$  та  $\alpha$  для яких дані рис. 2 розташовано нижче нуля.

#### Список посилань

1. Ghaffariyan M. R. Analysis of forestry work accidents in five Australian forest companies for the period 2004 to 2014 / Ghaffariyan M. R. // Journal of forest science. – vol. 62, no. 12 – 2016. – p. 545–552. doi: 10.17221/80/2016-JFS
2. Edwards D., Parn E. A., Sing M. C-P., Risk of excavator overturning. Engineering. – Construction and Architectural Management. – vol. 26, no. 3, – 2019. – p. 479-498. doi: 10.1108/ECAM-03-2018-0125
3. Білик Б. В. Теорія та проектування самохідних лісових машин. / Б. В.Білик. – Львів: РВВ НЛТУУ, 2014. – 297 с.

4. Библюк Н.І. Лісозаготівельні комбайни: особливості конструкції, функційні схеми, перспективи. / Библюк Н.І., Мачуга О.С. // Вістник національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Машинобудування. – К.: НТУУ «КПІ». – 2009. – 55. – с. 235 – 241.

5. Мачуга О.С. Методи визначення допустимого ухилу місцевості для безпечної експлуатації спеціалізованої техніки під дією нестационарного навантаження. / Мачуга О.С., Борис М.М., Луста Ю.Р. // Mechanics and advanced technologies. – vol. 6, no. 2 – 2022. – p. 130 – 138. doi: 10.20535/2521-1943.2022.6.2.257604

УДК 539.4

**Хворостяний В. В., канд. техн. наук**  
**Бодунов В. Є., гол. інженер-дослідник**  
**Качинська І. Р., пров. інженер**

Інститут проблем міцності імені Г. С. Писаренка НАН України, м. Київ, plt2002@ukr.net

### **МЕТОДИКА ОЦІНКИ СТУПЕНЮ ЛОКАЛІЗОВАНОГО ПОШКОДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ З БАГАТОШАРОВОГО СКЛА МЕТОДОМ СТАТИЧНОГО ПРОДАВЛЮВАННЯ ПУАНСОНОМ**

Розв'язання задач контролю міцності, ударної стійкості, масштабу і характеру неоднорідності пошкоджуваності та зменшення жорсткості сучасних систем композитних і гібридних елементів конструкцій балістичного захисту потребує застосування розроблених та вдосконалених експериментально-розрахункових підходів, що враховують виробничі та експлуатаційні фактори із забезпеченням відповідності вимогам надійності та функціональності [1]. У структурі захисного скління, що складається з багатошарової ударостійкої пластини з силікатного флоат-скла та адгезійних полімерних прошарків, після балістичних уражень відбуваються значні зміни механічних характеристик. В зонах ударних впливів та на деяких відстанях від них утворюються локалізовані пошкодження скляних пластин з деградацією їх механічного стану, що позначається на працездатності і збереження ними своїх функціональних властивостей. Саме тому актуальними є методи досліджень, що ставлять за мету визначення впливу ступеню пошкодження скляних пластин при ураженнях на їх несівну здатність для обґрунтування можливості продовження терміну використання бронеелементу у реальних обставинах на проміжок часу до здійснення ремонту та відновлення систем прозорого бронювання.

У наведеній роботі запропоновані шляхи вирішення зазначеної проблеми, що полягають у застосуванні методики оцінки механічного стану елементів конструкцій балістичного захисту в умовах їх статичного локального продавлювання (індентування) сталевим пуансоном по нормалі до площини скла на різних відстанях від кромки та осередків уражень. Реалізація методу здійснювалась на модернізованій гідравлічній установці ZD-4 для механічних випробувань крихких матеріалів з використанням універсальної вимірювальної системи GT-12-M18 та відповідного програмного забезпечення GlassBend.

Об'єктом дослідження була багатошарова ударостійка пластина (триплекс) з розмірами 225 мм × 170 мм × 46 мм, структура якої мала вигляд 10 – 8 – 8 – 6 – 6 – 3, тобто з'єднано 6 стекол між якими наявні адгезійні полімерні прошарки. Ця пластина була після балістичних випробувань і мала два осередка ураження без наскрізного пробиття. Експерименти з індентування триплексу виконували на лицевій стороні першого шару скла товщиною 10 мм, який першим зазнавав ударних впливів високошвидкісними ударниками. Застосовано жорсткий пуансон циліндричної форми з конічною ділянкою та пласкою круглою вершиною (площадкою) діаметром 4 мм з кутом при вершині 30°, виготовленого із загартованої сталі (Сталь 45) твердістю HRC≥62. Голівка пуансону мала форму наближену до оживальної (обтічна, проміжна між конусом та еліпсоїдом), що дозволяло імітувати умови контактної взаємодії скляної захисної пластини з реальними засобами ураження.

Слід зазначити, що під час виконання випробувань здійснювалась реєстрація наступних параметрів: величин прикладених зусиль, необхідних для руйнування першого та наступних шарів скла триплексу, переміщення (заглиблення) пуансону та розрахованих значень питомого тиску. Основні результати експериментальних досліджень були наведені у вигляді діаграм залежностей навантаження на пуансон від його переміщення вглиб структури матеріалу. На рис. 1 приведені характерні залежності для випадків продавлювання пуансоном до моменту руйнування першої скляної пластини триплексу та глибокого індентування з фіксацією руйнування усіх його складових шарів окрім останнього.

Індентування на різних відстанях від країв пластини та осередків балістичних ударних впливів були виконані для оцінки рівня стійкості структури елементу прозорого бронювання з ураженнями, неоднорідності його пошкодження та ступеню фрагментації скла. Факторами експериментального вивчення слугували наступні геометричні параметри: мінімальна відстань від центру ділянки індентування до епіцентрів уражень; мінімальна відстань від центру ділянки індентування до найближчих тріщин областей уражень; мінімальна відстань від центру ділянки індентування до краю пластини.

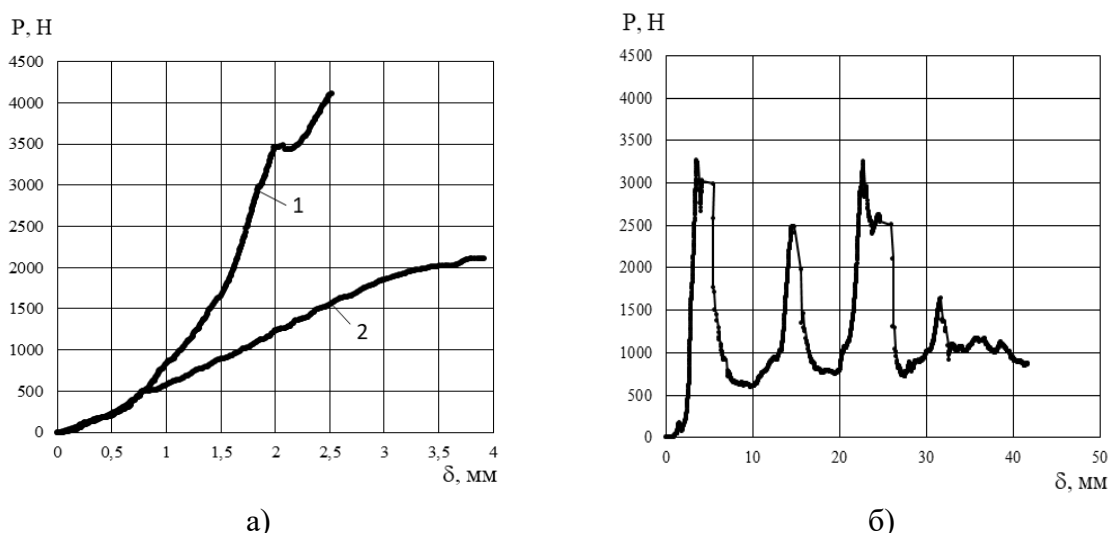


Рис. 1 – Діаграми залежності прикладеного навантаження на пуансон  $P$ , Н та його переміщення (заглиблення)  $\delta$ , мм: а) – при локальному руйнуванні першої пластини триплексу; б) – при індентуванні з руйнуванням усіх пластин триплексу окрім останньої

Як базові розглядалися встановлені загальні закономірності пошкодження скла в умовах локального контактного навантаження. Визначено значення критичної величини зусилля при руйнуванні першої пластини та характер такого руйнування залежно від розташування ділянок індентувань. Спостерігались суттєві відмінності у величині переміщення пуансону вглиб матеріалу та різний характер залежностей для вибірок індентаційних випробувань на ділянках, що віддалені (рис. 1, а, крива 1) та наближені (рис. 1, а, крива 2) до осередків уражень. Це свідчить про те, що опір проникненню пуансону у матеріал значно відрізняється відповідно до стану пошкодженої структури триплексу, наявності тріщин та порушення його суцільності. При глибокому індентуванні (рис. 1, б) визначені особливості руйнування багатошарової пластини, наведені на діаграмі залежності «хвилеподібного» вигляду з піковими значеннями навантаження в моменти руйнування окремих пластин скла.

#### Список посилань

1. Сорока О. Б. Методи експериментального контролю міцності та пошкодження структурних елементів багатошарових склополімерних блоків балістичного захисту [Текст] / О. Б. Сорока, Ю. М. Родічев, О. А. Шабета та ін. // Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. Матеріали міжнародної науково-технічної конференції, 21 — 24 грудня 2020 року / за заг. ред. В. Д. Ковальова. — Краматорськ: ДДМА, 2020. — 112 с.



УДК 621.171:633

**Фришев С.Г.,** докт. техн. наук, професор  
**Лукач В.С.,** канд. пед. наук, професор, директор

**Василюк В.І.,** канд. техн. наук, декан

**Ікальчик М.І.,** канд. техн. наук, зав. кафедри

Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування  
України «Ніжинський агротехнічний інститут», [fryshev@outlook.com](mailto:fryshev@outlook.com)

**Волоха М.П.,** докт. техн. наук, професор

**Яблонський П.М.,** канд. техн. наук, доцент

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», [volmp@i.ua](mailto:volmp@i.ua)

## **МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ТРАНСПОРТУВАННЯ КОРЕНЕПЛОДІВ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ ПІСЛЯ ВИКОПУВАННЯ**

Буряки цукрові збирають та перевозять потоковим, перевалочним, потоково-перевалочним та перевантажувальним способами [1].

Найбільш ефективним способом вивезення буряків з поля до приймального пункту заводу є поточковий, за умови застосування автопоїздів у складі великовантажних автомобілів (АМ) з причепами. Але такий спосіб має наступні суттєві недоліки:

- враховуючи великі відстані перевезення до цукрових заводів та коливання часу обороту автомобільних транспортних засобів (АТЗ) для роботи бурякозбиральних комбайнів (БК) без зупинок потрібна значна кількість АТЗ, адже встановлено, що простой БК в очікуванні транспорту сягають 20% [2];

- неможливість роботи АТЗ на полях з перезволоженими ґрунтами;

- за підвищеної твердості ґрунтів з полів разом з ворохом коренеплодів вивозиться значна кількість родючого ґрунту;

- великовантажні АТЗ значно ущільнюють ґрунт, що спричиняє його деградацію і, як наслідок, потребує додаткових витрат на відновлення структури.

Нині у західноєвропейських країнах з'явилися досконаліші БК з бункерами великої місткості 40 м<sup>3</sup> (комбайни фірми ROPA, Vervaet Beet Eater 625 та ін.) та 50 м<sup>3</sup> (12-рядний комбайн Agrifac HEXA 12) і причепа-перевантажувачі RUWHAWE (40 м<sup>3</sup>) в агрегаті з трактором John Deere 8400, а в Україні – великотонажні тракторні напівпричепа (НП) ТЗП-27 «Атлант», завдяки чому слід впроваджувати прогресивну потоково-перевантажувальну технологію збирання, яка поєднує поточковий і перевантажувальний способи.

Збирання та транспортування буряків доцільно розглядати як роботу технологічного ланцюга, який складається з трьох ланок: «поле-БК», «БК-НП», «НП-АТЗ». Основні кроки аналізу загальної пропускної здатності протікаючого процесу – це аналітичне визначення пропускної здатності першої, другої і третьої ланок, їх зіставлення та вибір оптимальних варіантів. Теоретично доводиться можливість зменшення пропускної здатності третьої ланки до гранично можливої, тобто до пропускної здатності першої ланки за рахунок зменшення кількості автомобілів з одночасним збільшенням їх технічної швидкості руху.

Отже, перевагами потоково-перевантажувального способу транспортування буряків є гнучкість і адаптивність до умов збирання урожаю. За сприятливих погодних умов і достатній кількості АТЗ буряки відвозяться від комбайна НП та перевантажуються у великовантажні АТЗ, що знаходяться на краю поля. При зміні умов (дощова погода, перезволожений ґрунт, недостатність АТЗ) додається навантажувач-очищувач і робота комплексу переходить на перевалочний або потоково-перевалочний спосіб.

### **Список посилань**

1. Цукрові буряки (виращування, збирання, зберігання). За ред. Д. Шпаара. – Київ. ННЦ ІАЕ, 2005. – 340 с.

2. Zagurskiy O. et al (2020). Study of efficiency of transport processes of supply chains management under uncertainty. Monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole. – 162 p.

УДК 621.923.42

**Венжега В.І., канд. техн. наук, доцент**

**Пасов Г.В., канд. техн. наук, доцент**

Національний університет «Чернігівська політехніка», [vivenzhaga@gmail.com](mailto:vivenzhaga@gmail.com)

**Рудик А.В., канд. техн. наук**

Державний науково-дослідний інститут випробувань та сертифікації озброєння та військової техніки, м. Черкаси, [andrei.rudik@gmail.com](mailto:andrei.rudik@gmail.com)

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ОБРОБКИ ПОВЕРХОНЬ ПРИ ДВОСТОРОННЬОМУ ТОРЦЕВОМУ ШЛІФУВАННІ**

Існує два основні види плоского шліфування поверхонь деталей – периферією та торцем круга. Обидва ці види шліфування широко поширені і мають свої переваги та недоліки.

Шліфування торцем інструменту порівняно зі шліфуванням периферією круга має ряд характерних особливостей [1,2]. При шліфуванні торцем круга маємо довшу лінію контакту різальних зерен з оброблюваною поверхнею, тому в роботі різання бере участь більша кількість різальних зерен, зменшуючи навантаження на одне ріжуче зерно. Сліди мікронерівностей на обробленій поверхні мають вигляд сітки, що знижує їх висоту, зменшуючи шорсткість поверхні деталі. Для підвищення продуктивності і кращого використання ріжучих властивостей робочої поверхні круга його вісь повертають на деякий кут, розрахований з урахуванням перекриття припуску, що знімається. Нахил осі круга створює умови, за яких зберігається площинність його робочого торця. Відсутність увігнутості робочої поверхні круга можна пояснити вирівнюванням фактичної роботи різання між окремими зернами, попри різні окружні швидкості. Абразивні зерна, розташовані ближче до периферії круга, працюють на підвищених швидкостях, зрізуючи тонші стружки, у зв'язку з чим сили різання, що діють на кожне абразивне зерно, порівняно невеликі, і вони краще утримуються у зв'язці. Центральні ділянки торця круга швидше зношуються, оскільки абразивні зерна знімають товстіші стружки, і на них діють більші сили різання, що виривають їх із зв'язки. Периферійні абразивні зерна постійно зрізуватимуть свіжі ділянки металу на оброблюваній поверхні. У міру наближення до центру, зерна наноситимуть подряпини на вже прорізані ділянки, тому відбувається розвантаження абразивних зерен і зменшується їх знос, що протидіє утворенню увігнутості. Незважаючи на різні різальні властивості абразивних зерен, викликані різною окружною швидкістю, фактична робота різання між окремими зернами значно вирівнюється, і тим самим створюються умови для самопідтримання первинної плоскої форми торця круга.

До недоліків торцевого шліфування належить нерівномірність зношування шліфувального круга. Більша частина об'єму металу зрізається ділянкою круга, що прилягає до периферії, тоді як ближче до центру круга і за центром круга метал знімається менше, тому периферійна ділянка зношується швидше з утворенням забірного конуса, після чого навантаження між різними ділянками круга вирівнюється.

Ряд деталей, що мають паралельні площини, обробляються торцями двох кругів за один прохід одночасно із двох сторін. Цей метод шліфування є різновидом шліфування торцем круга і для нього характерні вище перераховані особливості. Промисловістю випускаються верстати з вертикальним та горизонтальним компонованням шпиндельних вузлів двосторонніх торцешліфувальних верстатів. Верстати, як правило, складаються з литої чавунної станини, на якій кріпляться дві шліфувальні бабки з незалежними електроприводами, механізм подачі виробів у зону обробки та механізм правки шліфувальних кругів. Крім цих вузлів, є допоміжні прилади та пристрої: пристрій повороту шліфувальних

бабок у вертикальній та горизонтальній площинах, система подачі СОЖ, пристрій компенсації зносу шліфувального кола та інші. Конструктивною особливістю цих верстатів є висока сумарна жорсткість від круга до круга у напрямі дії нормальних та тангенціальних сил різання, висока точність обертання шпинделя та чутливість до малих переміщень.

Обробка деталей, що мають дві паралельні одна одній зовнішні площини на двосторонніх торцешліфувальних верстатах, характеризується рядом особливостей, що зумовлюють її перевагу, порівняно з обробкою одним торцем інструменту. Ці особливості поділяються на дві групи [3, 4].

Перша група пов'язана з абразивним інструментом. Велика кількість абразивних зерен, що одночасно здійснюють шліфування відразу з двох сторін заготовок, забезпечує повільне розмірне зношування і високу стабільність форми шліфувального інструменту при вельми значних швидкостях подачі оброблюваних деталей, тобто можливість створення високопродуктивного безперервного процесу, який легко підлягає автоматизації. За допомогою повороту шліфувальних бабок у вертикальній і горизонтальній площинах створюються сприятливі умови для розподілу знімаемого припуску по координаті обробки. Основне видалення матеріалу відбувається в зоні периферії на високих швидкостях різання, а формування точності (виходжування) – у середній зоні при менших окружних швидкостях. Така «спеціалізація» зон шліфувального інструменту створює, по-перше, можливість роботи в режимі самозагострення, по-друге, отримання високої точності обробки при значних зніманнях матеріалу за один прохід.

Друга група особливостей процесу пов'язані з базуванням оброблюваних деталей. Особливістю формоутворення при двосторонньому плоскому шліфуванні є те, що самі торці деталей, що шліфуються, є установочною базою для обробки, отже, неточність базування зведена до нуля.

#### Список посилань

1. Кальченко В.І. Наукові основи шліфування криволінійних поверхонь з керованою орієнтацією абразивного інструмента: дис. д-ра техн. наук: 05.03.01 / Кальченко Віталій Іванович. – ХДПУ Харків, 1995. – 475 с.
2. Кальченко В.В. Підвищення ефективності двостороннього шліфування торців циліндричних деталей орієнтованими абразивними кругами: дис. канд. техн. наук: 05.03.01 / Кальченко Володимир Віталійович. – ХДПУ Харків, 1998. – 142 с.
3. Кальченко В.В. Наукові основи ефективного шліфування зі схрещеними осями абразивного інструмента і деталі: дис. д-ра техн. наук: 05.03.01 / Кальченко Володимир Віталійович. – НТУ „ХПІ”, Харків, 2006. – 489 с.
4. Венжега В.І. Підвищення ефективності шліфування торців при схрещених осях деталі та круга з калібрувальною ділянкою: дис. канд. техн. наук: 05.03.01/ Венжега Володимир Іванович. – НТУ „ХПІ” Харків, 2009. – 214 с.

УДК 621.833.1. : 621.9.025.1

Литвиняк Я.М., канд. техн. наук, доцент

Юрчишин І.І., канд. техн. наук, доцент

Литвиняк О.Я., канд. техн. наук, доцент

Національний університет «Львівська політехніка», lytvyniak.yaroslav@gmail.com

#### СИНТЕЗ ПРОФІЛЮ ЗУБЦІВ ПЛОЩИННОГО ЗАЧЕПЛЕННЯ

Покращення якісних показників циліндричних зубчастих передач шляхом удосконалення параметрів зачеплення є актуальним завданням у сучасному машинобудуванні. Синтез профілів зубців, які визначають параметри зачеплення зубчастих коліс та профілів зубообробних інструментів, що реалізують процеси виготовлення зубчастих коліс методом обкочування, належить до базових аспектів створення та

використання працездатних циліндричних зубчастих передач. Синтез або аналіз площинних зубчастих зачеплень здебільшого супроводжується визначенням профілю зуба спряженого заданому (встановлюють огинаючу до сукупності положень первинного профілю зубця ведучого колеса чи рейки) та встановлення лінії зачеплення спряжених профілів зубців згідно положень диференціальної геометрії або положень кінематичного способу при застосуванні складних математичних методик.

Розроблено теоретичні положення з удосконалення кінематичного способу синтезу зубчастих зачеплень або профілювання металорізальних інструментів для нарізання зубців на деталях методом обкочування [1]. Розглядаючи зубчасте зачеплення приймаються до уваги: профілі зубців у площинному зачепленні належать до взаємоогинаних, для яких у точці контакту загальна нормаль проходить через миттєвий полюс зачеплення (миттєвий центр обертання), вектор відносної швидкості точок контакту профілів зубців спрямований вздовж загальної дотичної в точці контакту (перпендикулярно до вектора спільної нормалі) та положення теоретичної механіки про кінцеве переміщення площинної фігури (вихідного профілю зубця) як послідовності елементарних миттєвих поворотів навколо миттєвих центрів обертання. Для зубчастого зачеплення, завдяки визначеним координатам точок контакту на вихідному профілі, що описується відомим виразом, встановлюються вирази для опису профілю, спряженого з вихідним профілем, та лінії зачеплення.

На відміну від існуючих методів визначення точок контакту, пропонується встановити точку контакту за величиною граничної відстані від точок вихідного профілю до миттєвого центра обертання (полюса зачеплення) при певному положенні вихідного профілю у зачепленні. Гранична відстань це одна із відстаней від точок вихідного профілю до полюса зачеплення. Гранична відстань є максимальною для випуклого та мінімальною для увігнутого вихідного профілю. Сукупність точок контакту у нерухомій системі координат зачеплення визначають рівняння лінії зачеплення яке згодом використовується для визначити шуканого виразу для опису спряженого профілю. Запропонована методика дозволяє уникнути складних процедур властивих традиційним методам та використати її при синтезі або аналізі зачеплення у системах автоматизованого проектування при проектуванні зубчастих передач чи профілюванні різальних інструментів.

#### **Список посилань**

1. Литвиняк Я. М. Доповнення до кінематичного способу синтезу профілю зубців площинного зубчастого зачеплення / Я. М. Литвиняк // Вісн. Нац. ун-ту "Львів. політехніка". - 2014. - № 786. - С. 93-98.

УДК 53.08:620.178.5

**Стахова А.П., канд. техн. наук, доцент**

Національний авіаційний університет, м. Київ, sap@nau.edu.ua

**Ігнатенко П.Л., канд. техн. наук, доцент**

Національний університет «Чернігівська політехніка», ignatenkop11@i.ua

### **ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЗОНАНСУ ТА ХАРАКТЕРИСТИК КОЛИВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ**

Резонанс та вібрація є важливими явищами, які впливають на різні аспекти нашого життя. Вони знаходяться в основі фізичних процесів, технологічних систем і природних явищ. Розуміння цих явищ та розробка методів їх контролю та зниження вібрації має велике значення для багатьох галузей [1,2].

Резонанс можна описати як явище, коли зовнішня сила діє на систему з частотою, що співпадає з її власною частотою коливань [1]. Це призводить до посилення амплітуди коливань системи, що може мати як позитивні, так і негативні наслідки. У деяких випадках

резонанс може призводити до зруйнування структур, погіршення ефективності систем та небезпеки для життя людей.

Вібрація, у свою чергу, є поширеним явищем в природі і техніці [2]. Вона може бути причиною шуму, нестабільності та пошкоджень різних систем. Тому контроль вібрації стає важливим завданням для багатьох інженерних проектів і розробок.

У цьому контексті, дослідження резонансу та методів зниження вібрації мають велике значення. Вони дозволяють розуміти причини виникнення вібрації [3], вивчати вплив на системи та розробляти ефективні методи контролю та зменшення. Це все може сприяти покращенню ефективності технологічних процесів.

Для пояснення методів зниження вібрації на шляхах її поширення розглянемо основні характеристики коливальної системи [4]. До них віднесемо частоту збуджувальної сили  $\omega$ , (рад/с). Це показник, який визначає кількість повних коливань, що відбуваються протягом однієї секунди.

Іншою важливою характеристикою є частота власних коливань  $\omega_0$ , рад/с, яка визначається властивостями самої системи і вказує на те, з якою швидкістю система може коливатися самостійно без зовнішнього впливу.

Механічний імпеданс, що є комплексним опором віброуючої системи  $Z$  і залежить від сили інерції, тертя та пружності. Цей показник характеризує відповідь системи на зовнішню збуджувальну силу. Механічний імпеданс відображає співвідношення між амплітудою зовнішнього збудження та вібраційною відповіддю системи.

Вивчення цих основних концепцій дозволить краще розуміти і аналізувати методи зниження вібрації на шляхах та вплив цих характеристик на результати досліджень та практичні застосування.

Розглянемо ці характеристики на прикладі найпростішої коливальної системи з одним ступенем свободи. Така система є ідеалізованим моделюванням реальних фізичних систем і дозволяє нам вивчити основні принципи коливань.

У такій системі масовий елемент  $m$  представляє собою об'єкт з масою, який може коливатися навколо свого рівноважного положення. Елементи пружності  $q$  у вигляді пружини забезпечують відновлювальну силу, що притягує масу до рівноважного стану після зміщення. Демпфування-тріщину  $S$  можна уявити як механізм, що забезпечує зниження амплітуди коливань з часом, приглушуючи енергію системи.

Залежно від значень маси, жорсткості пружини та демпфування, коливання системи можуть мати різні характеристики. Наприклад, в системі зі збалансованими значеннями пружності та демпфування можуть виникати затухаючі коливання, внаслідок яких амплітуда коливань поступово зменшується з часом. У системах з незбалансованими значеннями пружності та демпфування можуть спостерігатися незатухаючі коливання або навіть резонансні явища, коли система відповідає на зовнішні впливи з максимальною амплітудою.

На рисунку 1, точка  $O$  позначає положення статичної рівноваги, від якого вимірюється координата  $x$  - зміщення тіла масою  $m$  під впливом гармонічної збуджувальної сили  $F$ . Крім того, на тіло діють сила інерції  $\tilde{F}_m = m \cdot \ddot{a}$ , сила пружності  $\tilde{F}_q = q \cdot \tilde{x}$  і сила демпфування-тріщини  $\tilde{F}_s = s \cdot \tilde{v}$ . Змінні  $\ddot{a}$ ,  $\tilde{x}$ ,  $\tilde{v}$  - відображають поточні значення зміщення, швидкості і прискорення.

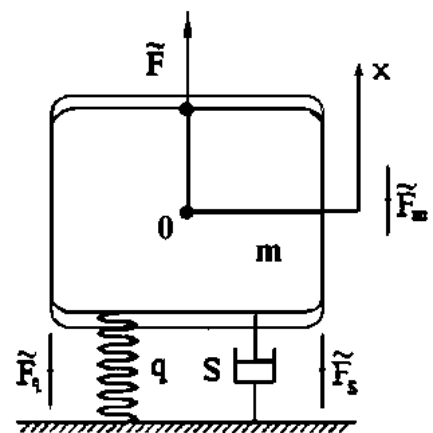


Рис. 1 – Коливальна система з одним ступенем свободи

Відповідно до принципу Д'Аламбера маємо  $\tilde{F} = \tilde{F}_m + \tilde{F}_q + \tilde{F}_s$ , що відповідає рівнянню руху  $\tilde{F} = m \cdot \tilde{a} + q \cdot \tilde{x} + s \cdot \tilde{v}$ . При цьому  $\tilde{a} = j\omega \tilde{v}$ ,  $\tilde{x} = \frac{\tilde{v}}{j\omega}$ , тоді рівняння руху через коливальну швидкість приймає вигляд  $\tilde{F} = m \cdot j\omega \tilde{v} + q \cdot \frac{\tilde{v}}{j\omega} + s \tilde{v}$ .

Механічний імпеданс при гармонічних коливаннях в комплексній формі визначається як відношення сили до швидкості:

$$\dot{Z} = \frac{F}{\tilde{v}} = \left[ S + j \left( m\omega - \frac{q}{\omega} \right) \right]$$

Тобто, він складається з трьох імпедансів:

-імпедансу демпфування (тріщини)  $\dot{Z}_s = S$ ;

-імпедансу маси  $\dot{Z}_m = j\omega m$ ;

-імпедансу упругості (жорсткості)  $\dot{Z}_q = -j \frac{q}{\omega}$ .

Дійсна частина імпедансу визначається тріщиною  $S$  (енергія коливального руху перетворюється на тепло), а уявна частина визначається жорсткістю та інерцією  $m\omega - \frac{q}{\omega}$ .

Під впливом жорсткості, енергія перерозподіляється в часі, перетворюючись змінною в постійну форму. Таким чином, імпеданс відображає фізичні властивості системи, де енергія коливань перетворюється на тепло, а також узгоджену взаємодію жорсткості та інерції.

Модуль механічного імпедансу  $Z = |\dot{Z}| = \sqrt{S^2 + \left( m\omega - \frac{q}{\omega} \right)^2}$  відображає фізичну величину,

яка включає тривалість коливань, жорсткість та інерцію. Графічне зображення залежності елементів механічного імпедансу від частоти  $\omega$  збуджуючої сили показано на рисунку 2.

Як відомо, явище резонансу характеризується збігом частоти збуджуючої сили  $\omega$  та власної частоти коливної системи  $\omega_0$  у точці перетину імпедансу маси  $\dot{Z}_m$  та імпедансу пружності  $\dot{Z}_q$  (рис. 2). Інерція та жорсткість системи втрачають суттєву роль у коливному процесі. При цьому уявна частина імпедансу стає рівною нулю  $\left( m\omega - \frac{q}{\omega} \right) = 0$ , а амплітуда вібропереміщення  $A_x$  та віброшвидкості  $A_v$  досягають максимального значення.

Ми розглянули основні характеристики коливальної системи та їх вплив на поведінку системи. Від частоти збуджувальної сили до механічного імпедансу, кожна характеристика має своє значення і

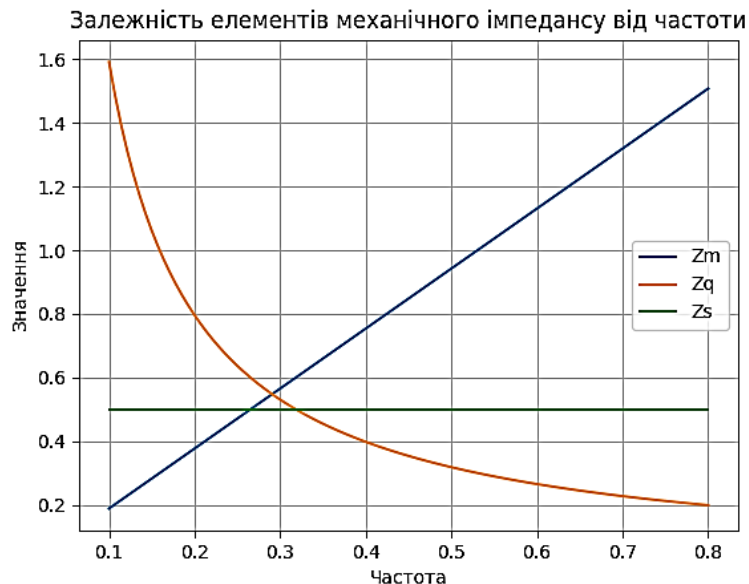


Рис. 2 – Залежність елементів механічного імпедансу від частоти збуджуючої сили  $\omega$



визначає режими коливань системи. Вивчення цих основних концепцій дозволяє краще розуміти і аналізувати методи зниження вібрації та їх вплив на результати досліджень та практичне застосування.

Особлива увагу необхідно звернути увагу на резонанс, коли частота збуджуючої сили збігається з власною частотою системи, що призводить до значного збільшення амплітуди коливань. Резонанс може призводити до значного збільшення амплітуди коливань, що потребує особливого контролю. Аналіз графіка механічного імпедансу дозволяє визначити властивості системи та її реакцію на зовнішні впливи. При цьому резонансна точка, коли частота збуджуючої сили збігається з власною частотою системи, є особливо важливою, оскільки вона може призводити до небажаних ефектів.

В цілому, розуміння основних характеристик коливальної системи, резонансу та методів зниження вібрації має велике значення. Це допомагає удосконалювати дизайн і функціонування різних систем, забезпечувати їх надійність та ефективність. Розуміння резонансу дозволяє уникнути небажаних наслідків, що можуть виникнути при співпадінні частот зовнішньої сили і власної частоти системи.

#### **Список посилань**

1. Kukulin, V.I. Krasnopol'sky, V. M.; Horáček, J. Theory of resonances: Principles and Applications. Springer Science & Business Media, 2013.
2. Thomson, William. Theory of vibration with applications. CrC Press, 1996.
3. Стахова А.П. Виявлення можливих несправностей для машинного обладнання з використанням вібродіагностики / А.П.Стахова, В.П. Квасніков // Вісник ЧДТУ. – 2021. – №1. – С. 32 - 41.
4. Сіренко Геннадій Олександрович; Фундюр, Дарія Андріївна; Стефанюк, Ганна Яківна. Теорія та аналіз випадкових процесів: 1. Коливання та коливальні системи (огляд). 2016.

УДК 656.025.2:93

**Пасов Г.В., канд. техн. наук, доцент**  
**Венжега В.І., канд. техн. наук, доцент**  
**Кологойда А.В., канд. техн. наук, доцент**  
**Кужельний Я.В., канд. техн. наук, доцент**

Національний університет «Чернігівська політехніка», genapasov@gmail.com

#### **СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ САМОСКИДИ ТА ЇХ ОСОБЛИВОСТІ**

Автомобілями і автопоїздами-самоскидами називаються спеціалізовані автотранспортні засоби, обладнані кузовами, які можуть самі розвантажувати вантажі, тобто процес розвантаження повністю механізований [1-4]. Самоскиди призначені для перевезення сипучих (навалювальних), напіврідких і скельних вантажів, а також вантажів, які не вимагають обережності при розвантаженні.

З усіх типів спеціалізованого рухомого складу самоскиди мають найбільше поширення, оскільки застосування їх дозволяє значно скоротити час і витрати на розвантажувальні роботи. Самоскиди складають приблизно третю частину вантажного автомобільного парку країни.

Сільськогосподарські самоскиди призначені як для перевезення різних насипних, навалювальних будівельних вантажів, що використовуються в сільському будівництві, так і основних сільськогосподарських вантажів, до яких відносяться добрива, корми, зерно, силос, картопля, овочі, коренеплоди і т. п (рис. 1-2). Ці самоскиди можуть бути також використані для різних господарських і будівельних робіт.

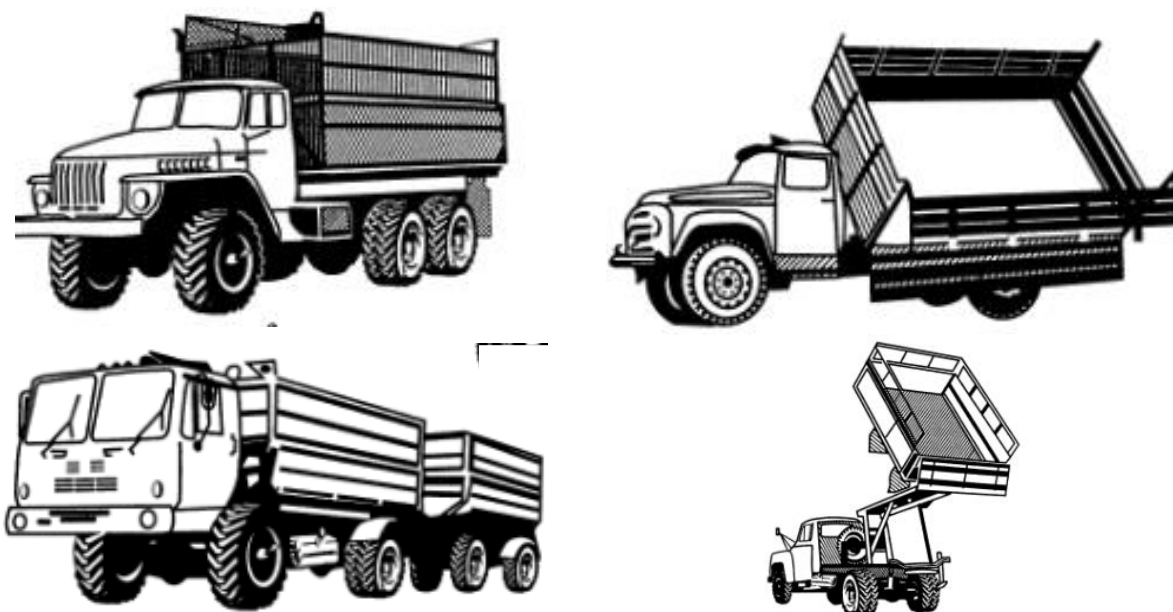


Рис. 1 – Сільськогосподарські самоскиди минулих років



Рис. 2 – Сучасні сільськогосподарські самоскиди різних країн світу

Сільськогосподарські самоскиди працюють у важких дорожніх умовах. При перевезенні сільськогосподарських вантажів їх пробіг поза дорогами становить майже 50%. Сільськогосподарські самоскиди, як і будівельні, випускають на базі шасі основних моделей вантажних автомобілів. Вони відрізняються від будівельних самоскидів великими обсягами вантажних кузовів і тристороннім напрямком розвантаження. Крім того, сільськогосподарські самоскиди додатково обладнуються надставними бортами, які збільшують місткість кузовів в 1,5 – 2 рази, що дозволяє при перевезенні порівняно легковагих сільськогосподарських вантажів повніше використовувати їх вантажопідйомність.

Вантажопідйомність сільськогосподарських самоскидів 2,4...5,5 т, місткість кузова 4,3...6 м<sup>3</sup> (з надставними бортами 6,7...2,5 м<sup>3</sup>), кут підйому кузова при розвантаженні 48...58°, час підйому і опускання кузова 15 с.

#### Список посилань

1. Кальченко В. І. Історія спеціалізованого автомобільного транспорту – Будівельні, сільськогосподарські, кар’єрні самоскиди. – Випуск 2 – Самоскиди: навчальний посібник / В. І. Кальченко, В. В. Кальченко, Г. В. Пасов. – Чернігів: ЧНТУ, 2019. – 258 с.
2. Кашканов А.А. Спеціалізований рухомий склад автомобільного транспорту: конструкція. Навчальний посібник. / Кашканов А.А., Ребедаєло В.М. – Вінниця: ВДТУ, 2002. – 164 с.
3. Технічне обслуговування та ремонт вантажних і легкових автомобілів, автобусів: Підручник: У 2 кн. / О.П. Строков, М.Г. Макаренко, В.Ф. Орлов, В.О. Павленко. – За ред. О.П. Строкова. – К.: Грамота, 2005, - 352 с.
4. Хто є хто на ринку спецтехніки. Випуск № 9. – 2019-2020. – Міжнародний щорічник. – 160 с.

УДК 62-4

Мурашківська В.П., ст. викладач

Остапенко О.В., студент

Національний університет «Чернігівська політехніка», vmurashkovska@gmail.com

#### РОЗВ’ЯЗОК ЗАДАЧІ НА ПРОГІН СТРУНИ В СЕРЕДОВИЩІ MATHCAD

Нехай потенціальна енергія струни, яка закріпленої в точках  $x = 0$  та  $x = l$ , під дією зовнішнього навантаження  $f(x)$  визначається рівнянням:

$$I = \frac{1}{2} \int_0^l \left( \frac{\mu}{2} (y')^2 + f \cdot y \right) dx, \quad (1)$$

де  $y(x)$  – рівняння струни,

$\mu$  – деяка стала, значення якої залежить від матеріалу, з якого виготовлена струна.

Таким чином, потрібно знайти функцію  $y(x)$ , яка задовольняє крайовим умовам:  $y(0) = y(l) = 0$ ; і для якої наведений інтеграл приймає найменше значення.

Система Mathcad дозволяє безпосередньо знайти мінімум отриманої функції, що сприяє підвищенню точності розв’язку даної задачі. Інтеграли, які виникають в процесі розв’язання, доцільно визначати спочатку в символьному виді.

Розглянемо в якості прикладу розв’язок задачі про знаходження мінімуму інтеграла (1). Припустимо, що шукана функція перетворюється в 0 на кінцях відрізка  $[0,1]$ ,  $\mu = 3$ ,  $f(x) = x(1 - x)$ . Розв’язок будемо шукати в вигляді:

$$y = \sum_{l=1}^5 c_l \sin(i\pi x).$$

Тоді,

$$\int_0^1 [y''(x)]^2 dx = \sum_{l=1}^5 \sum_{j=1}^5 c_l c_j i^2 j^2 \pi^4 \int_0^1 \sin(i\pi x) \sin(j\pi x) dx = \frac{1}{2} \sum_{l=1}^5 c_l^2 i^4 \pi^4.$$

Припустимо

$$a_i = \frac{i^4 \pi^4}{2}.$$

Далі покладемо

$$b_i = \int_0^1 x(1-x) \sin(i\pi x) dx = \frac{2}{i^3 \pi^3} (1 - \cos(\pi i)).$$

Подальші розрахунки проводимо в системі Mathcad

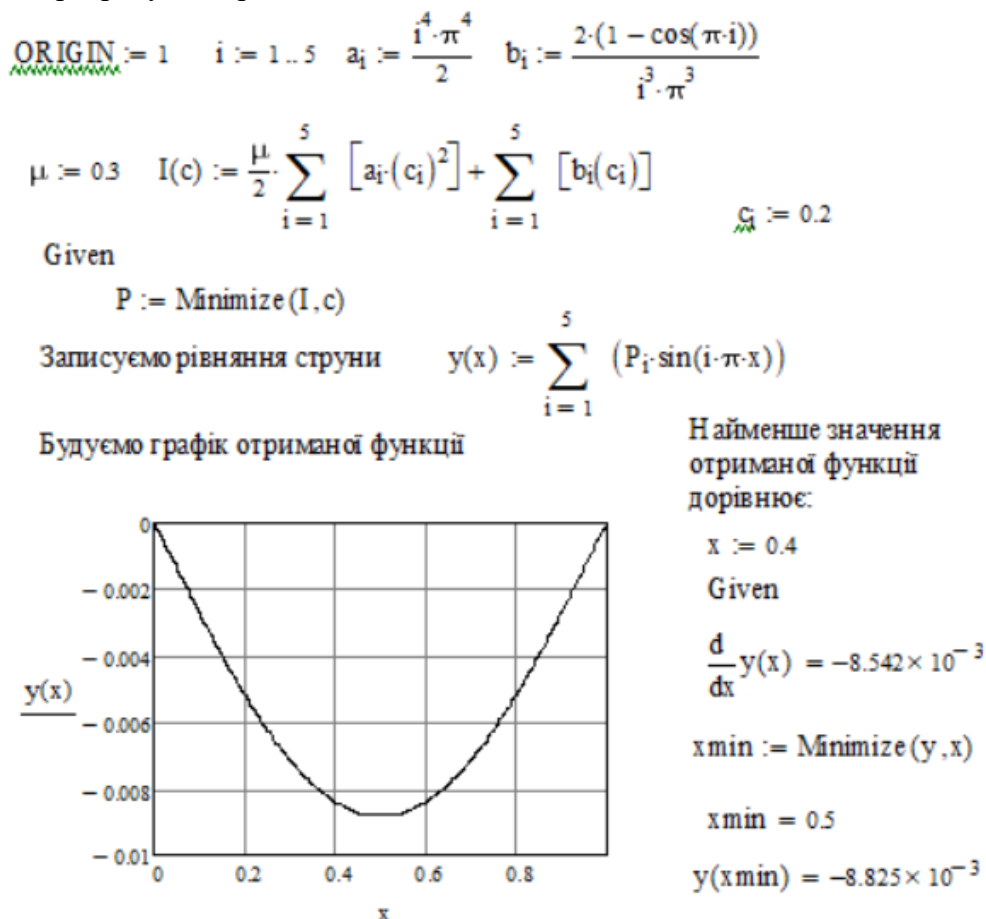


Рис 1. – Розв’язання задачі на прогин струни в середовищі Mathcad

В результаті розв’язку отримали профіль струни та знайшли його мінімум.

#### Список посилань

1. Глушков В. М. Енциклопедія кібернетики. Т1 / В. М. Глушков, М. М. Амосов, І. П. Артеменко, О. О. Бакаєв и др.; за ред. В. М. Глушкова. – К. : Головна редакція УРЕ АН УРСР, 1973. – 590 с.
2. Жалдак М. І. Основи теорії і методів оптимізації : навчальний посібник / М. І. Жалдак, Ю. В. Триус. – Черкаси: Брама-Україна, 2005. – 608 с.
3. Кундрат А.М., Кундрат М.М. Науково-технічні обчислення засобами MathCAD та MS Excel. Навч. посібник. – Рівне: НУВГП, 2014. – 252с.
4. Колесницький О. К. Чисельні методи: навчальний посібник / Колесницький О. К, Арсенюк І. Р., Месюра В. І. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – 130 с.
5. Шаповаленко В. А. Чисельні методи та моделювання на ЕОМ: Навч. посібник. – Ч. 1. – Модуль 1. / В. А. Шаповаленко, Л. М. Буката, О. Г. Трофименко. – Одеса: ОНАЗ, 2009. – С. 95.
6. Фельдман Л. П. Чисельні методи в інформатиці: Підручник /Л. П. Фельдман, А. І. Петренко, О. А. Дмитрієва. – К.: Видавнича група ВНУ, 2006. – 480 с.
7. Kvyetnyy R. Basics of Modelling and Computational Methods / Kvyetnyy R. – Вінниця: ВДТУ, 2007. – 147 с.

УДК 621.515

Цивінда Н.І., канд. техн. наук, доцент  
 Пікільняк А.В., канд. техн. наук, доцент  
 Зюган У.І., асистент  
 Зуєв І. О., студент

Криворізький національний університет, [civinda.n@knu.edu.ua](mailto:civinda.n@knu.edu.ua)

## АНАЛІЗ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ У ВИРОБНИЧИХ УМОВАХ

У дослідженнях вітчизняних вчених стійкість різця визначається при постійній швидкості різання. Але в виробничих умовах обробки деталей гірничо-металургійного обладнання в період, що визначає стійкість різця швидкість різання змінюється. Для призначення оптимальних режимів різання з урахуванням конкретних умов обробки, є необхідність аналізу графічного визначення режимів різання при токарній обробці. Це дослідження залежності шляху різання  $L$  від стійкості  $T$  та залежності інтенсивності зношування різця від швидкості різання.

Визначення залежності стійкості різця від шляху різання здійснюється за формулою:

$$v = \frac{C}{T^m}, \quad (1)$$

де  $C$  – постійний коефіцієнт;

$T$  – стійкість інструменту;

$m$  – показник відносної стійкості.

Якщо помножити обидві частини на  $T$ , отримаємо:

$$L = CT^{(1-m)}, \quad (2)$$

У подальшому, при обробці деталей з різними швидкостями різання  $v_1, v_2, v_3, \dots, v_n$ , знаючи відповідну стійкість різця  $T_1, T_2, T_3, \dots, T_n$ , згідно формули (1), можна визначити шлях різання і час роботи, тобто:

$$v_1 T_1 + v_2 T_2 + v_3 T_3 + \dots + v_n T_n = C (T_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_n)^{(1-m)} \quad (3)$$

За результатами експериментів точіння сталі 45Х ДСТУ 7809-2015,  $\sigma_b = 1030$  МПа різцями з твердого сплаву при швидкості 600 м/хв, була побудована номограма (рис. 1).

Коефіцієнт  $C$  і показник відносної стійкості  $m$  у формулі (1) визначають за залежністю:  $C=L$  при  $T=1$  та  $m=1-\text{tg}\alpha'$  (рис. 1).

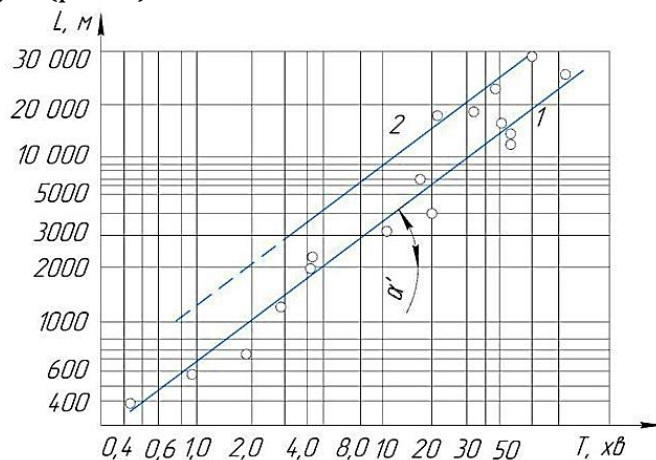


Рис. 1 – Номограма залежності стійкості різця від шляху різання при точінні сталі 45Х;  
 1 – різальна пластина зі сплаву Т15К6, 2 – різальна пластина зі сплаву Т60К6.



Інтенсивністю зношування різця  $U$  є відношення його зношення  $\delta$  по задній грані до стійкості інструменту:

$$U = \frac{\delta}{T}, \quad (4)$$

В залежності від швидкості різання інтенсивність зношування можна установити за графіком залежності, проведенням експериментів.

При проведенні експериментів обирали швидкість різання в діапазоні від 120 до 600 м/хв з  $v_1, v_2, v_3 \dots v_n$ , та часом обробки  $T_1, T_2, T_3 \dots T_n$  та зношенням  $\delta_1, \delta_2, \delta_3 \dots \delta_n$  та визначили величину зношення за формулою (4).

Використовуючи, результати вимірювань зношення різця  $\delta_0 = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \dots \delta_n$  і відповідно стійкість різця  $T = T_1 + T_2 + T_3 + \dots T_n$  визначають еквівалентну інтенсивність зношування  $U_{\text{екв}} = \frac{\delta_0}{T}$ , за значеннями якої, графічно, визначають швидкість різання  $U_{\text{екв}}$  (рис. 2).

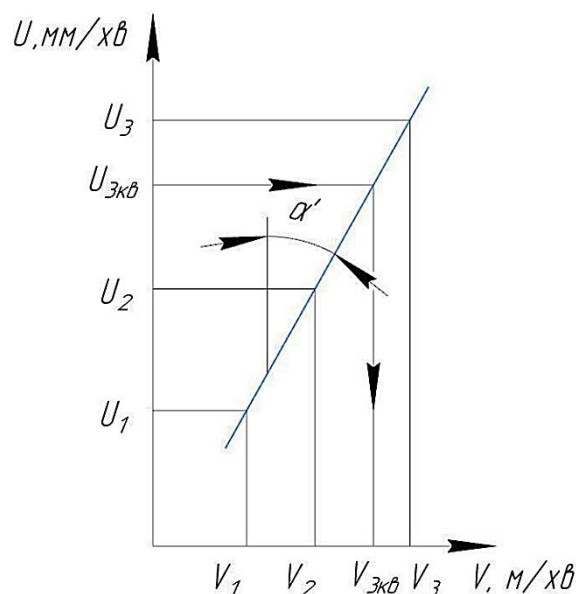


Рис. 2 – Графік залежності інтенсивності зношування різця по задній грані від швидкості різання

Відповідно складові формули (1) визначаються:  $m = \text{tg} \alpha'$ , а  $C = v_{\text{екв}} T^m$ .

Висновок. Тож графічно можливо визначити оптимальні режими різання, що збільшують стійкість інструменту в виробничих умовах.

УДК 669.14.018.2:622.24.051.004.6

Петрина Д. Ю. докт., техн. наук, професор

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, [perperiko@ukr.net](mailto:perperiko@ukr.net)

## ПОРІВНЯННЯ ВИМОГ ДО ХАРАКТЕРИСТИК ТВЕРДОСТІ ЦЕМЕНТОВАНОГО ШАРУ БУРОВОЇ ШАРОШКИ СВІТОВИХ ФІРМ ВИРОБНИКІВ

Гірничорудні тришарошкові бурові долота призначені для руйнування гірських порід високої міцності. Складні умови роботи висувають комплекс вимог щодо застосування матеріалів, особливості конструкції та технології виготовлення й зміцнення шарошок. Світові виробники бурових шарошок використовують різні сталі для їх виготовлення, які відрізняються хімічним складом та механічними характеристиками [1-4].

Відомо, що тенденції у виборі плавок сталі провідних виробників бурових доліт цілком обґрунтовуються вимогами до забезпечення високої тріщиностійкості. При цьому



цементовані і загартовані шари деталей імпортованих доліт виявляють високу твердість, а серцевина поряд з високою міцністю має високі показники в'язкості і пружності. Твердість підповерхневих шарів цементованого шару на рівні глибини 0,35 – 0,50 мм має бути в межах 57 – 59 HRC [1]. Однак відсутні дані щодо характеру розподілу твердості та концентрації вуглецю у конкретних умовах. Для цього представлено результати хімічного аналізу (табл. 1).

Таблиця 1 – Хімічний склад сталей шарошок деяких виробників

| Виробник       | Сталь | Вітчизняний аналог | Встановлений хімічний склад, % |      |      |      |      |      |      |       |       |
|----------------|-------|--------------------|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
|                |       |                    | C                              | Cr   | Ni   | Mo   | Mn   | Cu   | Si   | S     | P     |
| „Sandvic”      |       | 14X2H4MA           | 0,20                           | 1,67 | 4,01 | 0,53 | 0,61 | 0,10 | 0,23 | 0,003 | 0,003 |
| „Baker Hughes” | 4813H | 14XH3MA            | 0,18                           | 1,46 | 2,93 | 0,16 | 0,54 | 0,10 | 0,19 | 0,021 | 0,016 |
| „Baker Hughes” |       | 17H3MA             | 0,20                           | 0,21 | 3,51 | 0,40 | 0,76 | 0,21 | 0,19 | 0,019 | 0,010 |
| „Baker Hughes” |       | 17H3MA             | 0,19                           | 0,24 | 3,55 | 0,51 | 0,76 | 0,29 | 0,19 | 0,010 | 0,008 |
| „Reed”         |       | 17H3MA             | 0,23                           | 0,05 | 3,30 | 0,22 | 0,54 | 0,10 | 0,30 | 0,003 | 0,003 |
| „Smith”        | 4813H | 14X2H3MA           | 0,17                           | 1,54 | 3,10 | 0,14 | 0,65 | 0,10 | 0,20 | 0,005 | 0,005 |
| „Glinik”       |       | 20X2H4A            | 0,19                           | 1,29 | 3,50 | 0,16 | 0,30 | 0,10 | 0,18 | 0,004 | 0,008 |
| Китай          |       | 17H3MA             | 0,19                           | 0,14 | 3,07 | 0,20 | 0,60 | 0,08 | 0,24 | 0,004 | 0,007 |

На рис. 1 представлено порівняння вимог специфікації на якість цементованих деталей бурових доліт Security Division of Dresser Industries та встановленого характеру розподілу концентрації вуглецю в цементованому шарі для шарошок „Baker Hughes” та „Glinik”.

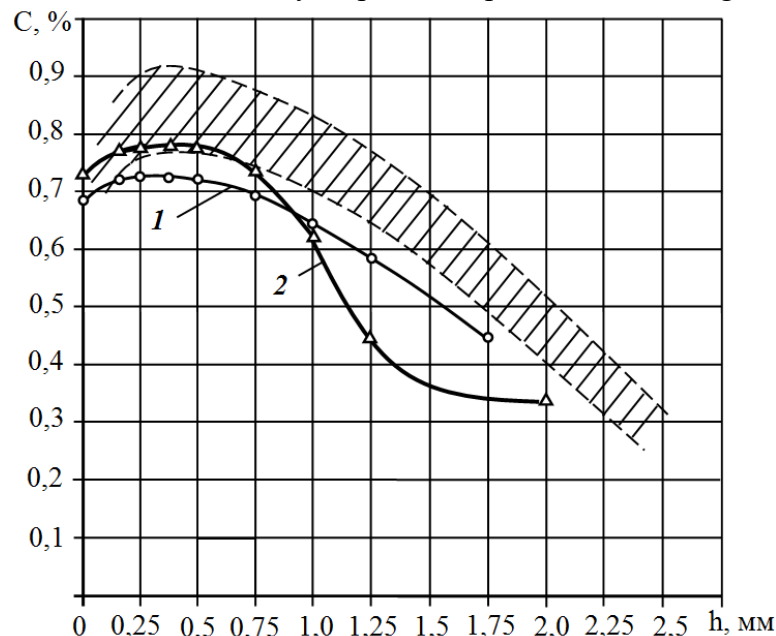


Рис. 1 – Порівняння вимог до вмісту вуглецю в загартованих цементованих шарошках середнього типорозміру фірми „Security” та встановлених значеннях концентрації вуглецю в цементованому шарі для шарошок „Baker Hughes” (1), та „Glinik” (2)

Крива розподілу вуглецю по глибині дифузійного шару має нисхідний характер з плавним пониженням вмісту вуглецю від поверхні до серцевини. Тим не менше аналізом

темплетів виготовлених з шарошок провідних зарубіжних виробників, зокрема шарошок доліт „Baker Hughes” встановлено дещо інший характер кривої розподілу вуглецю. В ділянці, що приблизно відповідає  $\frac{1}{4}$  глибини цементованого шару від поверхні, виявлено ділянку зі сталою концентрацією вуглецю. Як показує досвід зміцнення цементованих шарошок такого ефекту можна добитися контрольованим процесом цементації (згідно моделі процесу) та на етапі другого гартування. Також специфікації „Reed Tool Co.”, „Security DBS Dresser Industries Inc.” та ін. регламентують жорсткий контроль концентрації вуглецю, наголошуючи на тому, що при збільшенні вуглецю більше 0,8% в поверхневому цементованому шарі та за умов неоптимального характеру розподілу різко підвищується схильність шарошки до крихкого руйнування. Тому надзвичайно важливим є контроль параметрів термообробки, особливо другого гартування та відпусків. Також важливо забезпечити дотримання вимог щодо раціонального розподілу концентрації вуглецю та твердості загартованого цементованого шару шарошок.

#### Список посилань

1. Яким Р. С. Теорія і практика забезпечення якості та експлуатаційних показників цементованих деталей шарошкових бурових доліт: монографія. / Яким Р. С., Петрина Ю. Д. – Івано-Франківськ: Видавництво ІФНТУНГ, 2011. – 189 с.
2. Yakym R. S. Increase of durability of three-cone rock bit cutters. / Yakym R. S., Petryna D. Yu. // *Journal of Hydrocarbon Power Engineering*. – 2017. – Vol. 4, Issue 2. – P. 49 – 53.
3. Яким Р. С. Аналіз причин раптових руйнувань шарошок тришарошкових бурових доліт зі вставним породоруйнівним оснащенням. / Яким Р. С., Петрина Д. Ю. // *Нафтогазова енергетика*. – 2019. – № 1(31). – С. 72 – 82.
4. Elevated temperature toughness and fatigue testing of steels for geothermal Applications: Final Report: BNL Contract № 492267-S, Number of registration: October, 1981, TR 81-97 / R. A. Cutler, E. C. Goodman, R. R. Hendricks (Terra Tek, Inc.), W. C. Leslie (University of Michigan) – [Submitted to: Brookhaven National Laboratory, Attn: Dr. Daniel Van Rooyen]. – New York: Terratek, 1981. – 140 p. (University research park, Salt lake City, Utah).

УДК 004.9:621.7

**Макруха Т. О., канд. техн. наук, доцент**  
**Пузирьов О. Л., канд. техн. наук, доцент**  
**Кисельова Ю. О., студент**

Економіко-технологічний інститут імені Роберта Ельворті, м. Кропивницький  
[tmakruha@gmail.com](mailto:tmakruha@gmail.com)

#### ВИКОРИСТАННЯ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ ДЛЯ СПЕЦІАЛЬНОСТІ 131 «ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА»

Технології 3D-друку з кожним днем набувають ширшого використання та навіть впроваджуються у виробництво продукції. Кілька десятиліть тому адитивні технології застосовувалися виключно для прототипування, а нині використовуються під час виробництва високоточних надсучасних приладів і систем. Різноманітність методів тривимірного друку, широка номенклатура використовуваних матеріалів і вражаючі можливості такої техніки дозволили залучити 3D-друк у багатьох сферах життєдіяльності людини. Крім того, адитивні технології також можуть бути використані для виготовлення компонентів машин і обладнання з високою точністю і міцністю, що може бути важливо для деяких застосувань [1]. Наприклад, титанові деталі, створені з використанням 3D-друку, можуть бути легкими, міцними та стійкими до корозії, що є важливим у літакобудуванні.

Існує кілька видів 3D-друку, кожен з яких має свої переваги та недоліки. Даваймо розглянемо деякі з них:

1) Fused Deposition Modeling (FDM) або Fused Filament Fabrication (FFF): метод використовує пластикові нитки, які плавляться та відкладаються шарами, щоб створити об'єкт. Його перевагою є те, що він відносно дешевий та простий у використанні. Однак, недоліками є більш обмежена точність та якість поверхні в порівнянні з іншими методами, а також більш великі шанси на виникнення дефектів при друку.

2) Stereolithography (SLA): метод використовує лазер для зміцнення рідинних смол, які тверднуть під дією світла. Його перевагою є висока точність та якість поверхні, а також можливість створювати складні деталі з високою деталізацією. Недоліками є більш високі витрати на матеріали та обмежені розміри друкування.

3) Selective Laser Sintering (SLS): метод використовує лазер для зміцнення порошкового матеріалу, який тверднить і утворює об'єкт. Його перевагою є висока точність та можливість використання більш широкого спектру матеріалів, включаючи метали та кераміку. Недоліками є високі витрати на обладнання та матеріали, а також обмежена якість поверхні.

4) Binder Jetting (BJ): метод використовує зв'язуючу рідину та порошковий матеріал, який твердіє під дією світла. Його перевагою є більш доступні витрати на матеріали та обладнання, а також можливість створення деталей більшого розміру ніж інші методи друку. Недоліками BJ є обмежена точність та розширення матеріалів, які можна використовувати. Більшість матеріалів, які можна використовувати з цим методом, мають досить низьку температуру плавлення, тому неможливо використовувати матеріали, які потребують високої температури. Крім того, зазвичай зображення з високою роздільною здатністю не можуть бути відтворені з високою точністю в порівнянні з іншими методами друку, такими як SLS або SLM.

5) Digital Light Processing (DLP): цей вид 3D-друку використовує спеціальний проектор, щоб зміцнити рідинну смолу, створюючи деталь за деталлю. Перевагами DLP є швидкість друку та висока точність. Однак недоліками є обмежена здатність до друку високоточних деталей та обмеженість використання матеріалів, оскільки рідинна смола може бути досить дорогим матеріалом [2, 3].

В результаті дослідження було обрано спосіб Fused Deposition Modeling (FDM), оскільки цей метод є одним з найпоширеніших видів 3D-друку, який відрізняється своєю простотою та доступністю. Крім того, FDM може бути використаний для вирішення широкого спектру завдань, таких як виготовлення прототипів, моделей, інструментів, запчастин та інших предметів. Також, на відміну від інших методів 3D-друку, він не вимагає спеціальних підготовок поверхні та дозволяє друкувати більш складні форми. Тому він є найкращим варіантом для використання в вищих навчальних закладах для спеціальності 131 «Прикладна механіка» для освоєння дисциплін «Адитивні технології», «Деталі машин», «Технологія машинобудування» тощо.

Для виготовлення деталей обрано PLA-пластик, оскільки він є:

1) екологічним: PLA виготовляється зі стійкої до розкладання рослинної сировини, тому він біорозкладається і не завдає шкоди навколишньому середовищу.

2) легким до друку: PLA дуже легко друкувати і не потребує спеціального обладнання.

3) не містить отруйних речовин, тому він не виділяє неприємних запахів при друкуванні.

4) жорстким: PLA дуже жорсткий і міцний матеріал, що робить його ідеальним для друкування міцних та стійких деталей.

5) має широкий вибір кольорів: PLA доступний у великому асортименті кольорів, що дозволяє створювати яскраві та красиві вироби.

6) дешевим: PLA відносно недорогий матеріал, що робить його доступним для багатьох користувачів.

На рис. 1. наведено виготовлені деталі студентами 3 курсу групи ПМ-20 Економіко-технологічного інституту імені Роберта Ельворті.



а)



б)

Рис. 1 – Деталі отримані за допомогою 3D-друку: а) болт та гайка; б) електричний лічильник

#### Список посилань

1. Муравйов О. В. Сучасний стан та перспективи розвитку адитивних технологій / О. В. Муравйов, Ю. М. Нижник, В. Ф. Петрик, А. Г. Протасов, К. М. Серий // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки, 2021. – Том 32 (71). – № 5. – С. 114-119.
2. Андрощук Г. О. Адитивні технології: перспективи і проблеми 3D-друку / Г. О. Андрощук // Наука, технології, інновації. – 2017. – № 1 (1). – С. 68-77.
3. Пасічник В. А. Стан і перспективи адитивного виробництва / В. А. Пасічник / Резание и инструменты в технологических системах, 2018. – № 89. – С. 134-140.

УДК 621.715.4

Олійник С.Ю., канд. техн. наук

Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ,  
[dgma.tm.su.oleynik@gmail.com](mailto:dgma.tm.su.oleynik@gmail.com)

#### ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ ПРИ ВИКОРИСТАННІ МАГНІТОМ'ЯКИХ ЕЛАСТОМЕРІВ В ВУЗЛАХ ПРИСТОСУВАНЬ

Основні проблеми базових поверхонь тонкостінних великогабаритних оболонок є похибки форми, що впливає на динамічні характеристики технологічної системи (ТС) під час механічної обробки [1, 2]. Зменшити вплив похибки форми можливо при використанні матеріалу, який приймає існуючу базову форму поверхні, вибирає зазори і дозволяє закріпити заготовку з достатньою силою. Серед таких матеріалів запропоновано розглянути магнітом'які еластomers (ММЕ). ММЕ знайшли достатнє використання в різноманітних приладах, пристосуваннях і елементах, які призначені для підвищення жорсткості технічної системи і дисипації коливань [3, 4].

До властивостей ММЕ відноситься: «магнітодеформаційний ефект» – зміна розміру і форми в напрямку дії магнітного поля, магнітореологічний ефект – підвищення жорсткості під дією магнітного та електричного поля та підвищення коефіцієнта дисипації.

Дослідження магнітореологічних еластомерів в більшості стосуються дослідження складових, структури та технології їх отримання з заданими властивостями. Дані експериментальних досліджень властивостей в різних джерелах розрізняються. Це може бути пов'язано з тим, що властивості таких матеріалів в більшості залежать від їх структури, технології виготовлення та розмірів частинок.

Комп'ютерне дослідження зміни властивостей ММЕ під дією магнітного поля на коливання технологічної системи оправка-заготовка дозволить визначити необхідні параметри таких еластомерів в залежності від структури самого матеріала та конструкції оправки з ММЕ вставками. Вирішення цього завдання дозволить отримати комплексну оцінку впливу еластомерних вставок на закріплення складнопрофільних тонкостінних оболонок, а також оболонок з додатковими елементами.

Для комп'ютерного моделювання в дослідженнях приймалися опубліковані результати експериментів, які стосуються зміни модуля зсуву та модуля пружності під дією магнітного поля [5]. Числові дослідження виконані за допомогою програми Solid Works Simulation з використанням методу скінчених елементів.

Результати розрахунків впливу використання ізотропного ММЕ на жорсткість ТС представлені в таблиці 1.

В моделі базового варіанту обробки враховано зазор до 0,1 мм на циліндричній опорі, що відповідає реальній похибці встановлення. За допомогою частотного аналізу отримані розрахункові значення власної частоти та форми коливань. Деформації технологічної системи під дією сили різання, отримані за допомогою статичного аналізу та представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати розрахунків впливу використання ізотропного ММЕ на жорсткість ТС

| Варіант закріплення тонкостінної заготовки на оправці                                           | Нижча власна частота ТС, Гц | Нижча власна частота заготовки, Гц | Переміщення заготовки під дією сили різання, мм |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Базовий варіант (без використання ММЕ)                                                          | 130                         | 276                                | 0,052                                           |
| Використання ММЕ в опорі оправки. Вплив «магніто-деформаційного» ефекту                         | 141                         | 327                                | 0,048                                           |
| Використання ММЕ в опорі оправки. Вплив «магніто-деформаційного» та магніто-реологічного ефекту | 151                         | 533                                | 0,02                                            |

Інша модель має в складі конструкції ММЕ елемент, розташований на поверхні циліндричної опори. Властивості матеріалу (модуль зсуву та модуль пружності) прийнято по експериментальним даним [5] для ізотропного ММЕ матеріалу. У середньому помірне магнітне поле здатне подовжити зразок такого матеріала на 10–16%.

Для оцінки магнітореологічного ефекту, для ЕЕМ прийняті експериментальні дані [5]: під впливом магнітного поля з  $B=0,3$  Тл:  $E=3,2$  МПа,  $G=0,9$  МПа, наповнювач складає 27%.

Вплив гармонічної складової сили різання, яка обумовлена коливаннями інструмента під час обробки та отримана за результатами експериментальних вимірювань [1], оцінено за допомогою динамічного аналізу.

Використання на циліндричній опорі оправки ММЕ елементів дозволяє підвищити коефіцієнт жорсткості технологічної системи в 2,6 разів за рахунок вибирання зазору та підвищення жорсткості циліндричної опори, що викликало зростання нижчої власної частоти коливань зі 130 Гц до 151 Гц (на 14%). Використання ММЕ елементів дозволяє знизити амплітуду вимушених коливань під дією сили різання на 35% за рахунок підвищення модуля втрат та підвищення жорсткості опори. Незначні зміни властивостей технологічної системи та її динамічної поведінки, які отримані за результатами розрахунків, вимагають побудови оптимізаційної моделі, яка врахує вплив наявних властивостей ММЕ елемента, оптимальний напрямок та розподіл магнітного поля для досягнення максимальної

жорсткості ТС для обробки тонкостінних оболонок різної форми та складності. В подальших дослідженнях необхідно розглянути використання складних гібридних магнітно-реологічних еластомерів в яких за параметри оптимізації можуть бути використано різне співвідношення між м'якими та твердими магнітореологічними фракціями.

#### Список посилань

1. Oliinyk S.Yu. Technological fixtures for machining of large-sized thin-walled shells of complex profile / S.Yu. Oliinyk, L.P. Kalafatova // Cutting & tool in technological system. – Kharkiv NTU «KhPI». – 2021. – №94, С. 28–41.
2. Patent US 2010/0164187 A1, B23 31/30 (2006.01), B23Q3/08 (2006.01). Adaptive design of fixture for thin-walled shell a cylindrical components / Zunmin Geng (Nottingham GB); assignee The University of Sheffield (Sheffield GB)/ - № PCT/GB2008/OOOT45; PCT Fled: Mar. 5, 2008; date Mar. 17, 2010, 12/529,834. – p.11.
3. Дущенко В.В. Застосування магнітореологічних еластомерів для керування характеристиками систем підресорювання колісних транспортних засобів / В. В. Дущенко, В. Г. Маслієв, Р.А. Нанівський, А. О. Маслієв // Електротехніка і Електромеханіка. – №5, 2019. – С. 50-59.
4. Anil K.Bastola. A review on magneto-mechanical characterizations of magnetorheological elastomers / Anil K.Bastola, Mokarram Hossain // Composites Part B: Engineering. – Volume 200, 1 November 2020. – P. 21.
5. Kallio M. The elastic and damping properties of magnetorheological elastomers / Kallio M. – VTT Publications, 2005. – 149 pp.

УДК 621.52

**Юрковець В.І., аспірант**

**Вислоух С.П., канд. техн. наук, доцент**

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,

[yurkovec.v@gmail.com](mailto:yurkovec.v@gmail.com)

### **МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ СКЛАДАННЯ ВІСЕСИМЕТРИЧНИХ ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ ВЕРТИКАЛЬНОЇ СХЕМИ ТИПУ «ВТУЛКА-ВАЛ»**

Складання циліндричних з'єднань у приладобудуванні складає близько 40% усіх складальних операцій, при цьому автоматизація цього процесу залишається актуальною і для підвищення її ефективності все більше застосовуються роботизовані системи, в основі роботи яких закладено математичне моделювання процесу поєднання [1].

Більш ніж 80% робіт розглядають вертикальний процес складання для схем типу «вал-втулка», де вал закріплений в захваті маніпулятора і центрується відносно базової деталі (втулка). Відповідно для підвищення ефективності автоматизованого складання, доцільно застосовувати і схему поєднання «втулка-вал».

Відповідно, якість і надійність процесу автоматизованого складання залежить не тільки від механічних переміщень деталей відносно один одного, але й від схеми складання.

Для підвищення ефективності автоматизованого складання циліндричних деталей широко застосовують роботизовані системи, що керують процесом складання для різних схем складання за допомогою комп'ютерних програм, розрахованих на основі реального експеримента або на основі математичного моделювання процесу поєднання. Для вертикальних схем складання актуальною проблемою залишається зменшення сил взаємодії в точках контакту між деталями, які значно збільшуються при зменшенні кута між осями.

Дослідження процесу складання, при якому приєднувальній деталі (валу) задається крутний момент, було проведено в роботах [2], [3], в яких для спрощення розрахунків валу задають властивості гіроскопа, що не зовсім чітко відображає динаміку рух деталі.



В опублікованих роботах описується єдиний принцип вертикального поєднання деталей «вал-втулка», де «вал» є приєднувальною деталлю, а «втулка» – базовою. Проте для підвищення ефективності автоматизованого складання доцільно також виконати дослідження поєднання деталей типу «втулка-вал», де «втулка» – приєднувальна деталь, а «вал» – базова.

Тому метою даної роботи є моделювання процесу автоматизованого складання, шляхом визначенні мінімальних сил взаємодії в точках контакту між приєднувальною деталлю «втулка» і базовою «вал» із застосуванням крутного моменту для схеми одноточкового контакту деталей.

Розглядається процес поєднання вісесиметричних деталей з гарантованою щільністю для вертикальної схеми складання, при якій вал закріплюється нерухомо у вертикальному положенні, а втулка центрується зверху, для цього їй задається необхідний рух для поєднання деталей між собою.

При автоматизованому складанні вісесиметричних деталей із гарантованою щільністю використовувався метод осьового поєднання. Відносно позиціонування досягається завдяки забезпеченню деталей на позиції складання такого відносного розташування, при якому їх осі стають паралельними і знаходяться на відстані, що не перевищує половини гарантованої щільності  $\delta = 0,5(D - d)$ , де  $D$  – діаметр отвору втулки,  $d$  – діаметр валу.

Поєднання деталей при такій умові досягається за допомогою відносного поступового переміщення втулки, паралельно осі валу. Осьове з'єднання вимагає високої точності відносного позиціонування, а отже, високої точності складального устаткування. Осьове з'єднання в залежності від параметрів деталей і допуску в з'єднанні можливе при кутах перекосу, що становлять  $0,1^\circ - 0,15^\circ$ . З метою підвищення точності відносного позиціонування застосовуються фаски, та різноманітні уловлювачі. Проте у автоматизованому складанні, важко забезпечити паралельність осей приєднувальних деталей без маніпуляторів.

Відносно позиціонування деталей, при якому контакт між ними відбувається в одній точці між твірною валу і кромкою отвору втулки. Кут між осями деталей  $\gamma$  може бути будь-яким, проте величина занурення втулки на висоту валу  $l$  в процесі поєднання має бути достатньо малою і не повинна перевищувати значення  $l = h \leq \sqrt{D^2 - d^2}$ , де  $h$  – висота втулки,  $D$  – діаметр втулки,  $d$  – діаметр валу.

В іншому випадку, контакт між внутрішньої кромки втулки та твірною валу не можливий, а осі деталей не будуть паралельними.

При правильному відносному позиціонуванні деталей складальний рух втулки задається обертальним навколо осі, що проходить через точку контакту перпендикулярно площині симетрії деталей, і обертання триває до моменту, коли осі деталей стануть паралельними, й деталям надається відносний поступальний рух. У цих випадках заклинювання та пошкодження деталей виключено.

В результаті досліджень встановлено, що сили, які прикладені до втулки зі сторони маніпулятора, повинні забезпечити плоскопаралельний рух і крутний момент. Відповідно плоскопаралельний рух і крутний момент втулки, в процесі її поєднання з валом, можна описати системою диференційних рівнянь Лагранжа, що складається з двох рівнянь: що визначають сил взаємодії в процесі плоскопаралельного руху і суму моментів діючих сил відносно миттєвого центру швидкостей.

Отримана закономірність процесу поєднання деталей в одно-точковому контакті при виконанні вертикального плоско-паралельного руху за схемою типу «втулка-вал» з ефектом обертання приєднувальної деталі. Схема диференційних рівнянь дозволяє визначити значення сил в точках контакту, встановити ступінь їх впливу на процес складання та відслідковувати процес поєднання деталей типу «втулка-вал». Перспективним напрямком використання розробленої моделі є синтез системи, що забезпечить необхідні

характеристики процесу складання, а також комп'ютерне моделювання процесу складання вісесиметричних деталей для вертикальної схеми типу «втулка-вал».

#### Список посилань

1. Юрковець В.І., Вислоух С.П. Кінематичний аналіз процесу складання вісесиметричних деталей // Збірник праць XVIII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених "Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні", 06-07 грудня 2022 р. – К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2022. – 128-133.
2. M. W. Abdullah, H Roth. M. Weyrich and J. Wahrburg. / An approach for peg-in-hole assembling using intuitive search algorithm on human behavior and carried by sensors guided industrial robot, IFAC-PapersOnLine 48(3), 1476-1481 (2015)
3. K. Van Wyk, M. Culleton, J. Falco and K. Kelly. Comparative peg-in-hole testing of a force-based manipulator control robotic hand, IEEE Transactions on Robotics 34(2), 542-549 (2018).

УДК 621.923

**Кальченко В.В., докт. техн. наук, професор**  
**Кальченко В.І., докт. техн. наук, професор**  
**Венжега В.І., канд. техн. наук, доцент**  
**Машковцев Д.С., аспірант**

Національний університет «Чернігівська політехніка», mashkovtsevdmitro@gmail.com

#### **АНАЛІЗ МЕТОДІВ ШЛІФУВАННЯ ЗІ СХРЕЩЕНИМИ ОСЯМИ РОЗПОДІЛЬНОГО ВАЛУ ТА КРУГА**

Через конкуренцію на ринку машинобудування та автомобільного транспорту якість обробки деталей дуже важлива. Тому актуальним завданням для науковців є модернізація процесів та якості обробки кулачків та шийок розподільних валів у машинобудуванні та автомобілебудуванні.

Для виготовлення високоточних поверхонь кулачків та шийок розподільних валів необхідно використовувати новітні способи обробки поверхні. Процеси шліфування розподільних валів та верстати для шліфування поступово змінюються та модернізуються. Тому необхідно проводити аналіз методів шліфування розподільних валів. В процес шліфування зі схрещеними осями додаються нові методи обробки тому необхідно провести їх аналіз.

В роботі [1] описується процес шліфування опорних кулачків розподільного валу орієнтованим інструментом за один установ.

В науковій статті [2] проведений аналіз методів для дослідження, кількісного визначення, характеристики вібрацій та хвилястості під час шліфування розподільного валу, а також показано застосування цих методів для дослідження параметрів що впливають на вібрації при високошвидкісному шліфуванні розподільного валу.

В статті [3] розглядаються проблеми управління процесом шліфування, які виникають при виготовленні колінчастих валів. Дослідження було зосереджено на вимірюванні таких параметрів, як рівень, лінійність, паралельність, биття та співвісність відповідних механічних частин шліфувальної машини.

В статті [4] представлено структуру верстата для шліфування розподільного валу та порівняно два методи шліфування розподільного валу, переваги моторизованого шпинделя, опорного підшипника, системи подачі та застосування.

У роботі [5] запропоновано модульне тривимірне геометричне моделювання інструментів, зняття припуску та формоутворення опорних шийок та кулачків розподільних валів. Шліфування опорних шийок та кулачків розподільного валу виконується за один установ кругом зі схрещеними осями його і деталі.

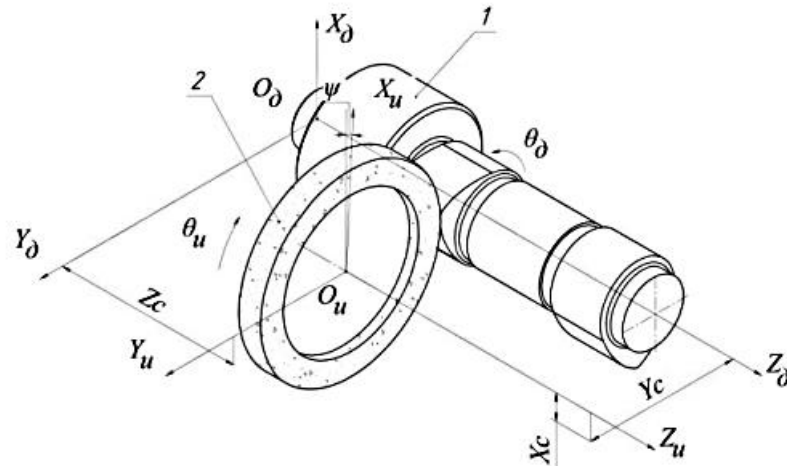


Рис. 1 – Розрахункова схема шліфування розподільного валу: 1 – розподільний вал, 2 – абразивний круг

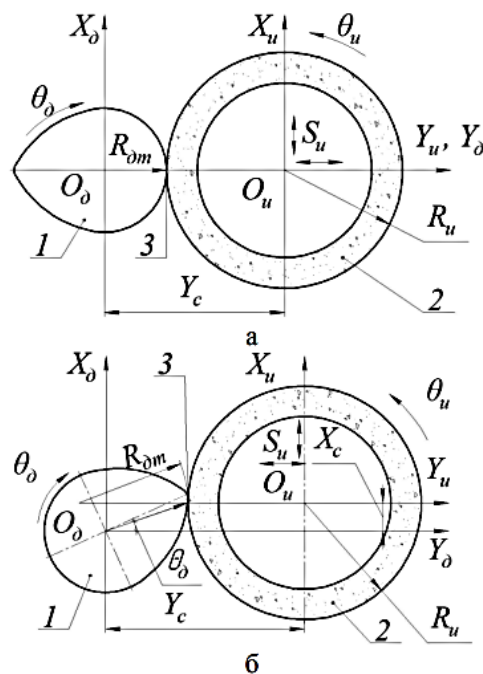


Рис. 2 – Шліфування розподільного валу: 1 – кулачок 2 – абразивний круг

#### Список посилань

1. Кальченко В.В. Аналіз методів шліфування зі схрещеними осями розподільного валу та круга / Кальченко В.В., Кальченко В.І., Венжега В.І., Машковцев Д.С. // Технічні науки та технології: науковий журнал. – 2023.– No1 (31). – С.7-12
2. Шліфування розподільних валів кругами з кубічними нітрида бора. Проспект фірми «Junker maschinen» на верстати «JUCAM 1000», «JUCAM 3000», «JUCAM 5000», «JUCAM 6000». Erwin Junker. Maschinen fabric GmbH, Junkerstraße 2. 77787 Nordrach. Germany, 2006. 8 с.
3. Experimental Analysis of Process Parameter Effects on Vibrations in the High-Speed Grinding of a Camshaft. / [Tao Liu, Zhaohui Deng, Lishu Lv, Shuailong She, Wei Liu, Chengyao Luo]// Journal of Mechanical Engineering – 66. – 2020(3) – p. 175-183.
4. Вивчення геометрії шліфувальних верстатів, які використовуються для обробки великогабаритних колінчастих валів. / [Збігнев Сементковскій, Мирослав Руцький, Дмитро Морозов, Роберт Мартиновський, Островець-Свентокшиський, Олександр Шелковий, Юрій Гуцаленко] // Різання та інструмент в технологічних системах. – 2019. – випуск 91. –с. 207-219

5. Summary of the Camshaft Grinding Machine and the Finite Element Analysis of grinding wheel rack frame Jinwei Fan, Hongliang Wang and Lanqing Zhang, 2nd International Conference on Machinery, Materials Engineering, Chemical Engineering and Biotechnology (MMECEB 2015)

6. Кальченко В. І. Модульне 3D-моделювання інструментів, процесу зняття припуску та формоутворення при шліфуванні зі схрещеними осями розподільного валу і круга / Кальченко В. І., Кальченко Д. В., Следнікова О. С. // Різання та інструмент в технологічних системах. – 2015 – Вип. 85. – С. 98 – 106.

УДК 621.438

**Качан О. Я., докт. техн. наук, професор**

**Уланов С. О., доктор філософії**

**Шаломєєв А. В., аспірант**

**Шаломєєв В. В., аспірант**

Національний університет «Запорізька політехніка», [ulanov@zp.edu.ua](mailto:ulanov@zp.edu.ua)

### **ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ДИСКІВ КОМПРЕСОРІВ ГТД ІЗ ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ**

Надійність деталей ГТД визначається якістю їхнього поверхневого шару, який формується в процесі виготовлення на фінішних технологічних операціях.

Якість поверхневого шару деталей ГТД у процесі виготовлення забезпечують цілеспрямовано з урахуванням конкретних умов їх експлуатації.

Диски компресора як у процесі виготовлення, так і під час експлуатації отримують різну пошкоджуваність, яка впливає на їхню довговічність [1].

Одним із напрямів підвищення несучої здатності дисків компресора є застосування на фінішних технологічних операціях їх виготовлення оздоблювально-зміцнювальних методів [2].

Для підвищення несучої здатності дисків компресора найбільшого поширення набули такі технологічні методи: віброабразивна обробка, обробка в псевдозрідженому шарі абразиву, дробоструменева обробка, ультразвукове зміцнення, обробка сталевими мікрокульками, комбіновані обробно-зміцнювальні методи тощо. [3].

Ультразвукове зміцнення обідної частини дисків компресора високого тиску призводить до підвищення межі витривалості на 22,4 % за температури 20 °С і на 11,5 % за температури 550 °С порівняно з обробкою після ПША [4].

Підвищення опору втоми диска компресора поверхнево-пластичним деформуванням сталевими мікрокульками досягається завдяки формуванню в поверхневому шарі стискаючих початкових напружень у межах 250...370 МПа на глибині до 80 мкм.

Зміцнені зразки порівняно з незміцненими підвищують циклічну довговічність на 50...70 % [5].

У роботі [6] показано, що підвищення довговічності дисків компресора можливе як завдяки оптимізації геометрії паза, так і завдяки формуванню в поверхневому шарі стискаючих залишкових напружень.

Ультразвукове зміцнення зразків, вирізаних із дисків компресора. Як робочі тіла використовували кульки зі сталі ШХ15, діаметром 1,3 мм, загальною масою 80...100 г. Час обробки - 10 хв. Ультразвукове зміцнення зразків проводили на серійній установці АТ "Мотор Січ" з ультразвуковим генератором УЗГ-2-10 і магнітострикційним перетворювачем типу ПМС-15А-18. Резонансна частота коливань перетворювача перебувала в межах 16...22 кГц, а амплітуда коливань випромінювальної поверхні - 10...25 мкм.

Обробка дисків компресора в псевдозрідженому шарі абразиву. Обробку дисків у псевдозрідженому шарі абразиву проводили на установці АПС-600А, де відповідно до

схеми деталей 1 поміщали в шар абразивного зерна 2 і повідомляли необхідну швидкість  $V_d$ . Абразивне зерно 2 розміщувалося в ємності 3 на опорній пористій ґратці 4, під яку подавали потік  $Q_v$  повітря, який зріджує шар абразиву (рис. 1).

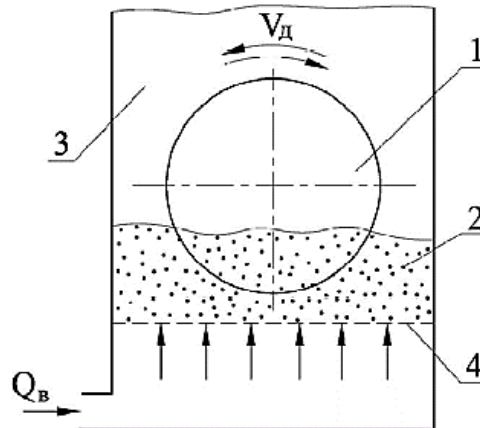


Рис. 1 – Схема обробки дисків у псевдозрідженому шарі абразиву

Результати експериментальних випробувань дисків I ступеня КНТ з титанового сплаву ВТЗ-1 показали, що поєднання збільшення радіусу викружки з подальшим обробленням у ПША підвищує довговічність до появи тріщини у 6 разів, а живучість диска з тріщиною в 5,5 разів.

Попереднє напрацювання диска у складі двигуна протягом 2640 циклів незначною мірою знизило довговічність до появи тріщини порівняно з новим диском зі збільшеним радіусом  $R = 2$  мм і подальшою обробкою в ПША. При цьому довговічність відремонтованого диска зросла в 5 разів, порівняно із серійним диском.

Обробка дисків компресора з титанових сплавів ВТ-9 у ПША створює в поверхневому шарі залишкові напруження стиснення з максимальною величиною до 300 МПа і глибиною поширення до 70 мкм.

#### Список посилань

1. Технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик деталей ГТД. Диски компрессора и турбины: монография / В. А. Богуслаев, И. Ф. Кравченко, А. Я. Качан и др. – Ч. III. – Запорожье: АО «Мотор Сич», 2011. – 428 с.
2. Богуслаев В. А. Технологическое обеспечение и прогнозирование несущей способности деталей ГТД / В. А. Богуслаев, В. К. Яценко, В. Ф. Притченко. – К.: Манускрипт, 1993. – 333 с.
3. Агишев Б. М. Применение методов поверхностного пластического деформирования для повышения усталостной прочности дисков компрессоров авиационных ГТД / Б. М. Агишев, А. А. Еланцев, Н. В. Моисеенков // Проблемы прочности. – 1977. – № 3. – С. 114–116.
4. Сахно А. Г. Оптимизация режима ультразвукового упрочнения ободной части дисков компрессора / А. Г. Сахно, В. К. Яценко, И. А. Стебельков // Авиационная промышленность. – 1993. – № 2. – С. 12–13.
5. Катаев Н. К. Повышение надежности работы диска компрессора низкого давления ГТД / Н. К. Катаев // Совершенствование процессов абразивно-отделочной и упрочняющей технологии в машиностроении: сб. науч. трудов. – Пермь: Изд. Пермский Политехнический институт. – 1984. – С. 109–113.
6. Исследование геометрических параметров пазов диска компрессора типа «ласточкин хвост» и определение их оптимального сочетания / [Н. В. Гончар, Д. В. Павленко, М. А. Трубников и др.] // Вестник двигателестроения. – 2007. – №1. – С. 60–65.

УДК 531:535

Банзак О.В., докт. техн. наук, професор

Банзак Г.В., канд. техн. наук, доцент

Лещенко О.І., канд. техн. наук, доцент

Жеребцова Л.Н., старший викладач

Державний університет інтелектуальних технологій та зв'язку, м. Одеса,

banzakoksana@gmail.com

## РОЗРОБКА МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ ЯДЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ І СТАН ЗАХИСНИХ БАР'ЄРІВ НА АЕС

Ключова проблема ядерної енергетики – радіаційна безпека – вирішується шляхом забезпечення надійності захисних бар'єрів основних об'єктів технологічного процесу функціонування АЕС: твелів, тепловиділяючих зборок (ТВЗ), контурів передачі теплоносія та ін.

Створені в цій роботі радіаційні датчики нового покоління та вимірювальні системи на їх основі відкривають раніше невідомі можливості у вирішенні завдань аналізу ядерного палива, збільшення точності та ефективності контролю технологічних параметрів та стану захисних бар'єрів в АЕС, створення засобів для інспекцій МАГАТЕ.

Для об'єктів такого класу запропоновано методи реконструктивної томографії алгебри (АРТ) [1]. В алгоритмах відновлення цього класу інтенсивність зареєстрованого в кожній точці поля є лінійною комбінацією активності випромінювання від кожного пікселя, на які ділиться поперечний переріз об'єкта, що аналізується. За результатами вимірювань результуючої інтенсивності випромінювання в  $N$  точках по периметру об'єкта, що досліджується складається система з  $N$  лінійних рівнянь, яка вирішується за певним алгоритмом. Для високоякісного відновлення томограми система має бути перевизначеною (тобто має виконуватися умова  $N \geq M$ , де  $M$  – загальна кількість твелів у ТВЗ). Незважаючи на те, що, як буде показано нижче, методи АРТ є основними при пасивній емісійній томографії ядерного палива, завдання вирішення перевизначеної системи лінійних рівнянь алгебри також є некоректною і, отже, дуже чутливою до вимірювальних шумів. Тож її вирішення застосовуються спеціальні алгоритми відновлення.

Для розв'язання задачі складалася система рівнянь:

$$\begin{pmatrix} w_{11} w_{12} w_{13} \dots w_{1N} \\ w_{21} w_{22} w_{23} \dots w_{2N} \\ w_{31} w_{32} w_{33} \dots w_{3N} \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ w_{M1} w_{M2} w_{M3} \dots w_{MN} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ A_N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ I_M \end{pmatrix}, \quad (1)$$

де  $w_{mn}$  – внесок пікселя (елемента)  $n$  у вимірювання інтенсивності у точці  $m$ ;

$A_n$  – активність пікселя (елемента) ТВЗ із номером  $n$ ;

$I_m$  – виміряна інтенсивність у точці  $m$ .

Або в матричному вигляді:

$$WA = I.$$

Далі для встановлення активності елементів застосовувалися три алгоритми



реконструкції томограми методом послідовних наближень [1]:

1. Equal Activity Correction (EAC).
2. Contribution Activity Correction (CAC).
3. Algebraic Reconstruction Technique (ART).

Усі три алгоритми засновані на виборі початкового наближення матриці, що знаходиться для активності у вигляді рівноелементної:

$$A_0 = \frac{\sum I_m}{\sum_{m,n} w_{mn}}. \quad (2)$$

Алгоритми відрізняються способом корекції, яка вноситься на кожній наступній ітерації [2].

При аналізі всіх описаних алгоритмів встановлено, що, у зв'язку з їх ітеративним характером, вони мають ряд недоліків:

- швидкість збіжності їх невисока (більше того, збіжність їх у загальному випадку взагалі не доведена), відповідно час рахунку може бути великий настільки, що алгоритм може бути незастосовний у реальному масштабі часу при здійсненні штатних технологічних операцій;

- усі алгоритми використовують емпіричні стартові параметри ітераційного процесу, від яких також сильно залежить збіжність; в окремих випадках невдалий вибір параметра ітераційного процесу може збільшити час рахунку до неприпустимих практично значень, а може викликати розбіжність ітераційного процесу.

Тому застосування реконструкції томограми алгоритмів ітеративного типу вимагає високої точності вимірювань.

Проведений аналіз стану питання дозволив зробити висновки:

- існує принципова можливість застосування емісійної гамма-томографії ядерного палива з метою відновлення розподілу продуктів поділу на прикладі ТВЗ реактора BWR з 64 твелями;

- для ТВЗ реактора ВВЕР-1000, що містить значно більше структурних елементів, потрібна розробка нового, більш ефективного алгоритму томографії;

- з точки зору реалізації томографії в реальному масштабі часу при проведенні штатних операцій з ЯП, зокрема, навантаження, потрібна досить висока обчислювальна ефективність алгоритму.

Проведений аналіз стану питання дозволив зробити висновки:

- існує принципова можливість застосування емісійної гамма-томографії ядерного палива з метою відновлення розподілу продуктів поділу на прикладі ТВЗ реактора BWR з 64 твелями;

#### Список посилань

1. Банзак О.В. Полупроводниковые детекторы нового поколения для радиационного контроля и дозиметрии ионизирующих излучений / О.В. Банзак, О.В. Маслов, В.А. Мокрицкий: Под ред. В.А. Мокрицкого, О.В. Маслова. – Монография. – Одесса, 2013. – Изд-во «БМВ». – 220 с.

2. Banzak O.V. CdZnTe sensors in the gamma-radiation dosimeter / O. V. Banzak, H. V. Banzak, O.I., Leschenko, K.S. Ganja / The 7th International scientific and practical conference “Scientific progress: innovations, achievements and prospects” (April 3-5, 2023) MDPC Publishing, Munich, Germany. 2023. P. 147 – 151.

УДК 621.9.01:531.3

Яровий Ю.В., канд. техн. наук, доцент  
Національний університет «Одеська політехніка», [yarovoy.u.v@op.edu.ua](mailto:yarovoy.u.v@op.edu.ua)

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПИТОМОЇ РОБОТИ ФОРМОУТВОРЕННЯ ПРИ ФРЕЗЕРУВАННІ

Дослідження питомою роботи формоутворення встановили, що при оптимальних умовах обробки питому роботу формоутворення можливо зменшити на 20...30 % не знижуючи продуктивність.

Питома робота формоутворення при обробці металів різанням являє собою енергетичні витрат в одиничному обсязі матеріалу, що видаляється:

$$e = \frac{N_e}{stv}, \quad (1)$$

де  $N_e$  – потужність різання, кВт;

$s$  – подача, мм/об;

$t$  – глибина різання, мм;

$v$  – швидкість різання, м/хв.

Якщо потужність різання подати у вигляді залежності від режимів різання та параметрів ріжучого інструменту, то вираз (1) наводиться до цільової функції  $e \rightarrow \min$ , що містить як аргументи керовані фактори. Для фрезерної обробки питома робота формоутворення має наступний емпіричний вигляд:

$$e = Ct^{x-1} s_z^{y-1} v^{-w} B^u D^{w-q} K_p, \quad (2)$$

де  $B$  – ширина фрезерування, мм;

$s_z$  – подача на зуб, мм/зуб;

$D$  – діаметр інструмента, мм;

$C$  – постійна;

$K_p$  – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив геометричних параметрів різального інструменту;

Виконаємо математичне моделювання обробки площини (довжиною  $L = 250$  мм та шириною  $B = 40$  мм) торцевою фрезою діаметром  $D = 80$  мм (кількість зубів  $z = 6$ ) з пластинками із твердого сплаву Т15К6. Матеріал заготовки сталь 45 та 40Х.

Встановлено, що величина подачі найбільше впливає на зміну питомої роботи формоутворення. Збільшення подачі на зуб призводить до зменшення питомої роботи формоутворення на 20 відсотків незалежно від етапу обробки. Збільшення швидкості різання при фрезеруванні призводить до зменшення питомої роботи формоутворення. Зменшення питомої роботи пов'язане зі збільшенням обсягу матеріалу, що знімається при тих же значеннях подачі на зуб і глибини різання. Глибина різання не призводить до зміни питомої роботи формоутворення. Крім складових режимів різання на питому роботу формоутворення можуть впливати параметри інструменту (діаметр і кількість зубців фрези). Збільшення діаметра обробки призводить до суттєвого зниження питомої роботи формоутворення, а збільшення кількості зубів фрези не впливає на питому роботу.

На основі аналізу результатів дослідження можна зробити такі висновки: величина подачі та швидкість різання найбільше впливають найбільший вплив на питому роботу формоутворення; глибина різання та кількість зубів інструменту не впливають на питому роботу формоутворення.; діаметр фрези повинен у 1,5 рази перевищувати ширину фрезерування.

УДК 621.923

Стрельчук Р. М., канд. техн. наук, доцент

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,

r.m.strelchuk@gmail.com

## МОДЕЛЮВАННЯ МІЖЕЛЕКТРОДНОГО ЗАЗОРУ ПРИ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОМУ ШЛІФУВАННІ ЗІ ЗМІННОЮ ПОЛЯРНІСТЮ ЕЛЕКТРОДІВ

Модель міжелектродного зазору характеризує електродинамічні процеси, котрі виникають у ньому, і визначаються типом і параметрами схеми заміщення. З метою обґрунтованого вибору типу і параметрів моделі міжелектродного зазору експериментально були отримані осцилограми струмів технологічних імпульсів при різних величинах цього зазору (рис. 1). Експериментальні дослідження проводилися на базі верстата моделі 3Д642Е. Додаткова енергія в зону різання вводилася від генератора імпульсів НО 6506, що перетворює змінний струм напругою 380В в уніполярний імпульсний струм. Регулювання напруги, амплітуди розрядного струму, частоти та шпаруватості проводилося від генератора імпульсів [1].



Рис. 1 – Осцилограма струму технологічних імпульсів

В результаті аналізу експериментальних осцилограм струмів робочих імпульсів було встановлено, що електричні процеси, що протікають у міжелектродному зазорі при електроерозійному шліфуванні мають коливальний характер. Середовище, в якому протікають ці процеси може бути з достатньою точністю представлено у вигляді Т-подібної схеми заміщення, що включає активний опір, індуктивності та ємність. Встановлено, що активний опір міжелектродного зазору нелінійно залежить від його величини. Середньоквадратичне відхилення між розрахунковими та експериментальними імпульсами струму та напруги, віднесене до його встановленого значення, не перевищує 12-15%. Знайдені значення параметрів схеми заміщення дозволили отримати Simulink-модель міжелектродного зазору при електроерозійному шліфуванні [2]. Добрий збіг розрахункових осцилограм, отриманих в Simulink-моделі, з експериментальними, показало, що розроблена модель міжелектродного зазору при електроерозійному шліфуванні зі змінною полярністю електродів досить адекватно відображає реальні електричні процеси, що протікають в міжелектродному зазорі.

### Список посилань

1. Strelchuk, R., Shelkovyi, O.: Optimization of the Interelectrode Gap in Electrical Discharge Grinding with Changing Electrode Polarity. Lecture Notes in Mechanical Engineering. 143–152 (2021). [https://doi.org/10.1007/978-3-030-77719-7\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-030-77719-7_15).
2. Strelchuk, R., Shelkovyi, O.: Determination of the Distance Between Grains During Electrical Discharge Grinding with Changing Polarity of Electrodes. Lecture Notes in Mechanical Engineering. 209–218 (2022). [https://doi.org/10.1007/978-3-030-91327-4\\_21](https://doi.org/10.1007/978-3-030-91327-4_21).

УДК 629.735.33.015.4

Лупкін Б.В., докт. техн. наук, професор  
Антонюк В.С., докт. техн. наук, професор  
Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,  
[victor.antoniuk@gmail.com](mailto:victor.antoniuk@gmail.com)

Андреев О.В., докт. техн. наук  
Толстой С.А., викладач  
Державне підприємство «АНТОНОВ», м. Київ  
Майорова К.В., докт. техн. наук, професор  
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», м. Харків

## ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРНОГО ФАКТОРУ НА МІЦНІСТЬ ПІД ЧАС СВЕРДЛІННЯ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Сучасні композиційні матеріали на основі полімерних волокон та зв'язуючої матриці значно перевищують за масою, питомою міцністю, жорсткістю та іншим фізико-механічними характеристикам метали [1].

Волокнисті композиційні матеріали за своєю природою та методами їх виготовлення є в'язкопружними та відносяться до самонапружених систем у яких утворюються залишкові напруження та деформації, які при подальшому механічному їх обробленні впливають на показники міцності виробів.

Під дією сил різання, у матеріалі композиту виникають деформаційні напруження, що накладаються на технологічні залишкові напруження і з урахуванням сил тертя оброблюваного та інструментального матеріалів в процесі різання виникають високі температури – понад 300°C [2].

Теплостійкість композитів безпосередньо пов'язана з температурою скловання матричного полімеру. Епоксидні зв'язуючі мають хорошу адгезію до різних волокон, відносно інших зв'язуючих, але мають невисоку теплостійкість до 130...150°C, яка сприяє різкій втраті міцнісних властивостей.

Відповідно до кінематики, процес свердління являє собою косокутне різання, що здійснюється в закритому просторі. Тепло, яке накопичується в зоні різання, передається в інструмент (до 60...70%), в поверхню оброблюваного матеріалу (до 35%), а незначна частина (близько 5%) видаляється нещільною пилоподібною стружкою [3].

З урахуванням значної різниці теплофізичних властивостей наповнювача та матричного зв'язуючого, під впливом високих температур у зоні оброблення, процес різання на відміну від металів, сприяє зниженню існуючих адгезійних сил зчеплення, утворенню дефектів: мікротріщин, усадки, міжшарового розшарування, ворсистості (незрізаних витягнутих волокон), термодеструкції матричного матеріалу, що значною мірою впливають на характеристики міцності (рис.1).

До цього часу немає регламентованих стандартизованих оцінок дефектів композиційних матеріалів, що утворюються при механічному обробленні, які мають істотний вплив на міцність і ресурсні показники виробів. Традиційно використовувані параметри шорсткості обробленої поверхні не забезпечують повну інформацію про мікрорельєф якості поверхні.

**Метою роботи** є дослідження впливу температурного фактору в зоні різання при свердлінні на характеристики міцності полімерних композиційних матеріалів.

Враховуючи значний вплив температурного фактору на показники міцності оброблюваного матеріалу, в роботі проведені дослідження процесу свердління вуглепластиків ЕЛУР-П-01 і склопластиків Т-10-14, відповідно до стандарту ASTM-D5766 (США).



Рис. 1 – Електронно-мікроскопічні дослідження поверхні композиційного полімерного матеріалу на мікроскопі Zeiss EVD 40 XVP ( $\times 100 \mu\text{m}$ ).

Температуру різання при свердлінні вимірювали безконтактним інфрачервоним пірометром DT-8865.

Для досліджень впливу температури на міцність композиту виготовлені зразки зі склопластика Т-10-14 товщиною  $2 \dots 1,8 \pm 0,1 \text{ мм}$ , а для вуглепластика ЕЛУР-П-01 товщиною  $1 \pm 0,1 \text{ мм}$  розмірами  $220 \times 15 \text{ мм}$  відповідно до стандарту ASTM-D5766 (США).

Свердлили на верстаті 1К62 спіральними свердлами та з підрізаючими кромками діаметром 5 мм зі швидкістю різання  $V = 50 \text{ м/хв.}$  та подачею  $S = 0,1 \text{ мм/об.}$

Результати експериментальних досліджень наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Залежність граничної міцності волокнистих композиційних матеріалів від температури при свердленні свердлами ВК8

| Досліджуваний матеріал | Фізико-механічні характеристики |                     |                                                              |                                         |                                          |                  |                   |                                                      |                                                    |
|------------------------|---------------------------------|---------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------|------------------|-------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
|                        | Модуль пружності Е, ППа         | Коефіцієнт Пуассона | Температуро-провідність, $\lambda, \text{Вт/м}\cdot\text{К}$ | КЛТР                                    |                                          | Коефіцієнт тертя | Матеріал. свердла | Температура свердління зразка, $T^{\circ}, \text{C}$ | Гранична міцність при розтягу $\sigma, \text{МПа}$ |
|                        |                                 |                     |                                                              | Вздовж $\alpha \cdot 1^{\circ}\text{C}$ | Поперек $\alpha \cdot 1^{\circ}\text{C}$ |                  |                   |                                                      |                                                    |
| Склопластик            | 75                              | 6,2                 | 56...100/<br>0,34...0,93                                     | $5 \cdot 10^{-6}$                       | $5 \cdot 10^{-6}$                        | 0,8...1,0        | P18               | 125                                                  | 235                                                |
|                        |                                 |                     |                                                              |                                         |                                          |                  | ВК-8              | 98                                                   | 270                                                |
|                        |                                 |                     |                                                              |                                         |                                          |                  | ВК8 (ПРК)         | 85                                                   | 305                                                |
| Вуглепластик           | 200                             | 0,25                | 0,5...0,7                                                    | $-0,7 \cdot 10^{-6}$                    | $8 \cdot 10^{-6}$                        | 0,13...0,18      | P18               | 105                                                  | 300                                                |
|                        |                                 |                     |                                                              |                                         |                                          |                  | ВК-8              | 86                                                   | 320                                                |
|                        |                                 |                     |                                                              |                                         |                                          |                  | ВК8 (ПРК)         | 68                                                   | 460                                                |

Аналіз результатів експериментів досліджень показав, що найменша величина мікротріщин утворюється при свердлінні свердлами з підрізаючими кромками з ВК8, і міцність матеріалу волокнистих композиційних матеріалів при цьому вища. Пояснюється це більш високою (в 2 рази) тепловіддачею ВК8, що сприяють більш інтенсивному тепловідведенню із зони різання і зниженням силового навантаження за рахунок підрізаючих різальних крайок свердла.

**Висновки.** При свердлінні вуглепластиків та склопластиків зі збільшенням температури у зоні різання збільшується глибина мікротріщин. Причому у склопластиків більшою мірою ніж у вуглепластиків, а їх гранична міцність знижується, для склопластиків вище, ніж у вуглепластиків, що пояснюється відмінністю коефіцієнтів теплоємності та теплопередачі.

Найбільш ефективними інструментальними матеріалами при обробленні композиційних матеріалів є тверді сплави, а при для операцій свердління – твердосплавні свердла ВК8 з підрізаючими різальними кромками, які забезпечують більш високі показники міцності оброблених волокнистих композиційних матеріалів.



### Список посилань

1. A Review on Drilling of Multilayer Fiber-Reinforced Polymer Composites and Aluminum Stacks: Optimization of Strategies for Improving the Drilling Performance of Aerospace Assemblies Режим доступа: <https://www.mdpi.com/2079-6439/10/9/78>. Название с экрана.
2. Сверление отверстий в деталях из композиционных материалов с использованием инструментов из сверхтвердых поликристаллов / Л.Н. Девин, А.И. Гречук, Б.В. Лупкин // Сверхтвердые материалы. – 2018. – № 1. – С. 77-85.
3. Теплові явища при обробці матеріалів різанням / В.С. Антонюк, С.Ан. Клименко, С.А. Клименко. – К.: НТУУ «КПІ», 2014. – 156 с.

УДК 621.73.16

Лавріненко А.Д., канд. техн. наук, доцент  
Мироненко В.А., аспірант

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,  
a.lavrinenko@kpi.ua

### МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОСАДЖУВАННЯ ЗАГОТОВОК ІЗ ПОРОШКОВОГО МАТЕРІАЛУ ШТАМПУВАННЯМ ОБКОЧУВАННЯМ

Особливість штампування обкочуванням полягає в локальному деформуванні. Локальна деформація утворюється при штампуванні обкочуванням внаслідок силового впливу на заготовку активним інструментом, що має форму конуса. Зона пластичної деформації при штампуванні обкочуванням можна визначити завдяки таких параметрів процесу: осьовою швидкістю деформування  $V$ , частотою обкатування  $n$  і кутом нахилу осі обкатування  $\gamma$  і оцінюється за коефіцієнтом  $\lambda$ , що є співвідношенням площі контакту між активним інструментом і заготівлю  $F_k$  до площі повної торцевої поверхні заготовки  $F$  [1]:

$$\lambda = \frac{F_k}{F} = \sqrt{\frac{S}{\pi^2 \cdot R \cdot tq\gamma}}$$

де  $S=v/n$  – подача за одиничне обкочування;

$R$  – поточний радіус заготовки.

На рис. 1 представлено ескізи вихідних заготовок для осаджування. Осаджування заготовок буде відбуватись до 50% по висоті.

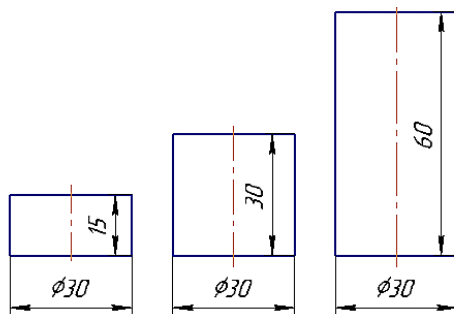


Рис. 1 – Ескізи вихідних зразків для осаджування

Штампування обкочуванням на даний час знайшло своє застосування в обробці сплавів. Однак найбільш зацікавленість є у вивченні можливості використання штампування обкочуванням для обробки порошкових спечених заготовок. Завдяки такому процесу відбувається ущільнення матеріалу.

Для перевірки можливості осадження заготовок, було здійснено чисельне моделювання в програмному комплексі «DEFORM-3D».



Параметри які було задано при моделюванні:

- матеріал – AISI 1035 (аналог сталі 35);
- модель матеріалу – пластична;
- температура процесу – 20° C;
- густина матеріалу 0,8;
- кутова швидкість інструменту 280 мм/с;
- коефіцієнт тертя  $\mu=0,12$ ;
- кут нахилу інструменту 2,5 градуси.

На рис. 2 наведено параметри зразка після осадження на 50%, висота зразка 15 мм.

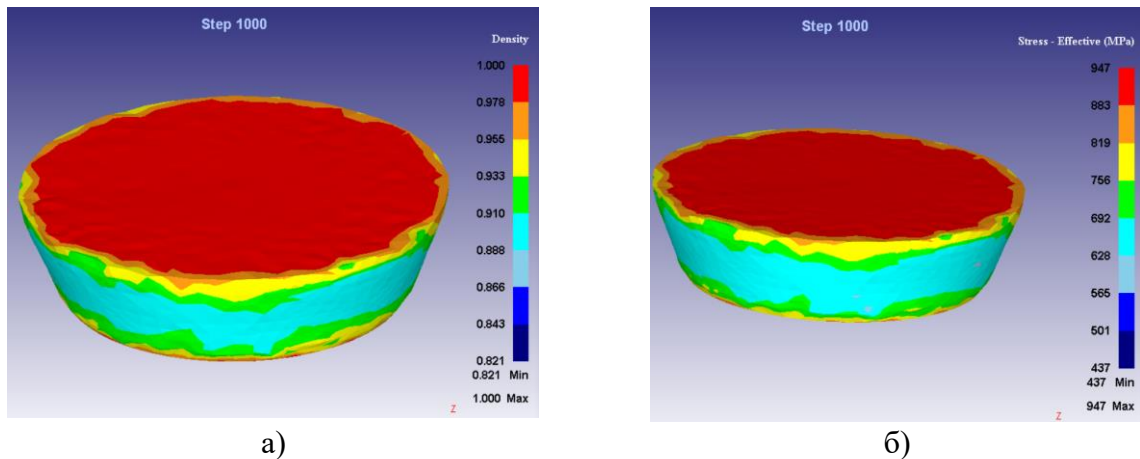


Рис. 2 – Параметри заготовки під час процесу осаджування на 50%, висота зразка 15 мм:  
а – густина; б – напруження

На рис. 3 наведено параметри зразка після осадження на 50%, висота зразка 60 мм.

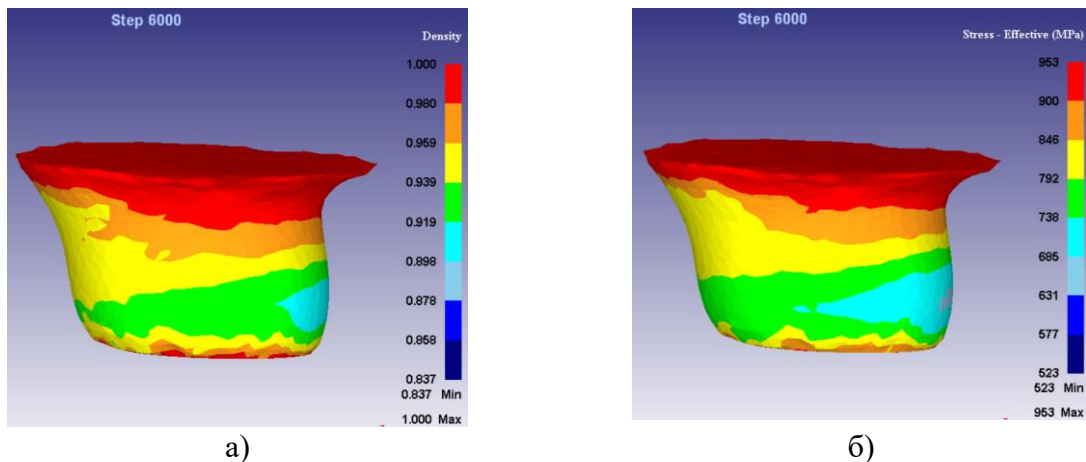


Рис. 3 – Параметри заготовки під час процесу осаджування на 50%, висота зразка 60 мм:  
а – густина; б – напруження

Отримані результати показали, що заготовки висотою 15 мм та 30 мм осаджуються добре без втрати стійкості, а заготовка висотою 60 мм втрачає свою стійкість. Тому можемо дійти до висновку, що оптимальне співвідношення діаметру та висоти має бути однаковим, щоб заготовка не втрачала стійкість. Також спостерігається збільшення густини матеріалу, що свідчить про підвищення механічних характеристик, та пропрацювання матеріалу.

#### Список посилань

1. Гожий С. П. Интенсификация формообразования конструктивных элементов при штамповке обкатыванием с активными силами трения / С. П. Гожий, А. В. Клиско, А. И. Носенко // Вісник Нац. техн. ун-ту "Харьков. политехн. ин-т". – 2011. – Вип. 45. – С. 113–119.

УДК 658.512

**Рубанка М.М., канд. техн. наук, доцент**  
**Манойленко О.П., канд. техн. наук, доцент**  
Київський національний університет технологій та дизайну, nikolayrubanka@ukr.net  
**Ставрук С.В., провідний інженер САПР**  
Інженерна компанія «Технополіс», м. Київ, stavruk@tpolis.com

## **ДОЦІЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЄКТУВАННЯ TOPSOLID В ІНЖЕНЕРНІЙ ПРАКТИЦІ**

В сучасних умовах четвертої промислової революції Industry 4.0 вже неможливо уявити собі якісну вищу технічну освіту без всебічного використання сучасних систем автоматизованого проектування. Завдяки останнім досягненням у галузі науки та техніки, а особливо в області обробки даних, зв'язку та цифрової інтеграції концепцій та процесів, в галузевому машинобудуванні відслідковуються інноваційні рішення стосовно автоматизації, цифрової візуалізації, комп'ютеризації та електроніки, які спрямовані на розширення технічного та технологічного потенціалу новітнього обладнання [1].

TopSolid – це готове комплексне програмне рішення від французької компанії TOPSOLID SAS, що не вимагає кастомізації та тривалого періоду налаштування. Комплексне CAD/CAM/PDM рішення включає в себе низку інтегрованих програмних продуктів, які утворюють єдиний потужний пакет для проектування, механічної обробки та керування життєвим циклом виробів [2, 3].

Варто зазначити, що на ринку САПР для проектування, симуляції, розрахунків, інженерного аналізу тощо спостерігається значна конкуренція серед розробників. При виборі програмного продукту та його подальшого впровадження на підприємстві потрібно враховувати, в першу чергу, специфіку використання, адаптивність та потужності для вирішення конструкторсько-технологічних завдань. Проблема, що може виникнути при роботі з різними CAD/CAM системами, в основному, полягає у втраті синхронізації виробництва. Тобто виробнича ділянка та цех можуть не знати про зміни, внесені конструкторами у відповідну деталь. Це може призвести до того, що виробництво буде виготовляти неправильні або браковані вироби. САПР TopSolid об'єднує в єдину систему набір продуктів CAD/CAM/PDM та забезпечує повний контроль та захищене середовище розробки. Рациональне планування та проектування в такому середовищі дозволяє усунути всі можливі ризики виникнення помилок завдяки тому, що дані проектування та обробки повністю сумісні і в автоматичному режим відбувається синхронізація (вся база даних завжди є актуальною); вбудований PDM здійснює управління створеними моделями, кресленнями та даними (підтримується порядок та відображаються лише активні ревізії файлів) [2, 3].

Потужностей САПР TopSolid більш ніж достатньо для роботи з величезними збірками. Конструктори мають можливість швидко створювати попереднє компонування проєкту, використовувати готові комплектуючі, стандартні компоненти тощо. Також слід відмітити ефективне використання наявних (вбудованих) бібліотек та компонентів світових виробників пристосувань, ріжучих інструментів, обладнання тощо. При необхідності користувач може власноруч створити параметризовані сімейства деталей або збірок з необхідними типорозмірами [2, 3].

Програмне забезпечення TopSolid є гарним прикладом унікального поєднання інновацій та технологій (математика, геометрія, механіка, матеріалознавство, високоякісна ІТ-ергономіка та технологічний процес). Це сучасна самодостатня система продуктів CAD/CAM/PDM, що в повній мірі відповідає найсучаснішим виробничим вимогам [4].

Основні спеціалізовані модулі системи автоматизованого проектування TopSolid для вирішення складних комплексних завдань представлено на рис. 1.

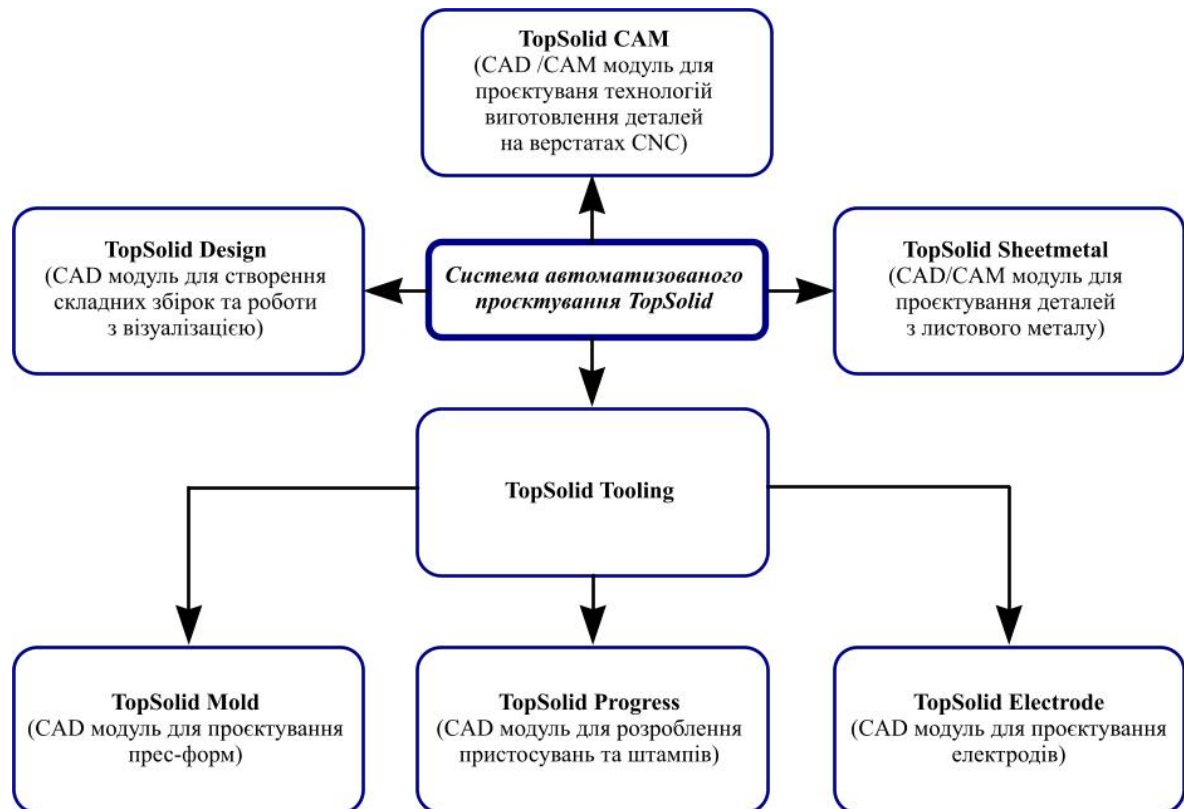


Рис. 1 – Основні спеціалізовані модулі системи автоматизованого проектування TopSolid

Найбільший інтерес викликає спеціалізований модуль TopSolid CAM, що представляє собою повністю інтегроване асоціативно-параметричне рішення CAD/CAM [5]. Модуль TopSolid CAM дозволяє проектувати технології виготовлення надскладних деталей на токарних, токарно-фрезерних верстатах з числовим програмним керуванням. Наявна база даних готових постпроцесорів від світових виробників верстатів дозволяє оптимізувати витрати на розробку та адаптацію нових [6]. Основою роботи TopSolid CAM є топологічні алгоритми, які аналізують кожну поверхню твердого тіла та визначають стратегію обробки, яка найбільше підходить для вибраної поверхні [7].

Варто зазначити, що на сьогоднішній день системи автоматизованого проектування такі, як SolidWorks, Creo (Pro/ENGINEER), TopSolid широко застосовуються в машинобудівному комплексі не тільки в Україні, але й всьому світі.

#### Список посилань

1. Berezin L. Innovative trends in industrial machinery engineering and education / L. Berezin, O. Oliinyk, M. M. Rubanka // Actual problems of modern science : monograph / edited by S. Matiukh, M. Skyba, J. Musial, O. Polishchuk. – Bydgoszcz, Poland : Bydgoszcz University of Science and Technology, 2021. – P. 538-548.
2. TopSolid. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://tpolis.com/topsolid/> (дата звернення 03.05.2023).
3. TopSolid SAS. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.tpolis.com/topsolid/about.php> (дата звернення 03.05.2023).
4. Why TopSolid? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.topsolid.com/en/why-topsolid> (дата звернення 03.05.2023).
5. TopSolid Cam. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.topsolid.com/en/products/topsolidcam> (дата звернення 04.05.2023).
6. TopSolid Cam. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://tpolis.com/topsolid/cam.php> (дата звернення 04.05.2023).
7. TopSolid Cam – професійний CAD/CAM. URL: <http://www.ksimetro.com/TopSolid/TopSolid6/CAM/TopSolidCAM.html> (дата звернення 04.05.2023).

УДК 621.92.001.5

Сергєєв О.С., докт. філософії

Військовий інститут танкових військ НТУ «ХП», м. Харків, bmbylat@ukr.net

## УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ГІДРО- І ПНЕВМОЦИЛІНДРІВ

Гідро- та пневмоциліндри, а також гільзи двигунів внутрішнього згоряння знаходять найширше застосування в техніці та технологічних процесах. В основному це силові гідро- і пневмомашини, що забезпечують зворотно-поступальний рух виконавчого механізму або створюють зусилля притискання. Немає таких галузей промисловості, де не використовуються пневмо- або гідроциліндри. Наприклад, металургія, машинобудування, авіа- і суднобудування, верстатобудування тощо, цей перелік можна продовжувати.

Особливе місце у цьому переліку слід віддати гільзам двигунів внутрішнього згоряння. У процесі виробництва циліндрів всіх різновидів найбільш складними операціями є операції обробки отвору, які здійснюються у кілька етапів, а частіше у кілька операцій. Однією з найважливіших проблем при виробництві циліндрів є необхідність переустановлення заготовки з токарного верстата на шліфувальний, а потім на хонінгувальний. Це викликає необхідність зміни базування вивіряння деталі, наприклад, на великогабаритному верстаті протягом декількох годин, а іноді змін [1]. Обробка на хонінгувальному верстаті відрізняється великою трудомісткістю і, як наслідок, низькою продуктивністю. Важливим недоліком відомих технологій є виникнення вібрацій в процесі шліфування отвору, що призводить до погіршення якості обробленої поверхні, зокрема до погіршення шорсткості поверхні отвору.

Таким чином, суттєвим недоліком застосування процесів розточування та внутрішнього шліфування при обробці отворів у гідро- та пневмоциліндрах є те, що утворювані оброблювальні риси розташовані фактично перпендикулярно до осі обертання оброблюваного циліндра. Як показує практика, це збільшує інтенсивність тертя поршня (штока) з поверхнею отвору при його роботі і, відповідно, знижує його працездатність внаслідок підвищеного зношування ущільнювальних кілець. Збільшення інтенсивності тертя поршня (штока) з поверхнею отвору також збільшує осьове зусилля, яке зазнає поршень під час руху в циліндрі. Тому домогтися підвищення працездатності поршня можна, головним чином, завдяки зниженню інтенсивності його тертя з робочою поверхнею циліндра. Для цього риси-подряпини, що утворюються, від працюючих зерен шліфувального круга слід направити вздовж осі обертання оброблюваного циліндра. Проте, виконати цю вимогу з використанням традиційних методів механічної обробки та, особливо, внутрішнього шліфування надзвичайно складно [1, 2].

Із відомих методів механічної обробки найбільш застосовним у цьому напрямку може бути метод хонінгування, який використовують у сучасному машинобудуванні при обробці блоків циліндрів, гільз та втулок для всіх типів двигунів внутрішнього згоряння, циліндрів компресорів, насосів, деталей верстатів та холодильників, шатунів, шестерень та ін. Цей метод відноситься до методів розмірної обробки та проводиться за допомогою хонінгувальних головок різних конструкцій, яким надається обертальний та зворотно-поступальний рух при одночасному радіальному поданні брусків. У результаті цих рухів на оброблюваній поверхні деталі утворюється характерна для хонінгування сітка від слідів абразивних зерен, що пропрацювали, що позитивно позначається на її експлуатаційних показниках. Це має велике значення для деталей, робочі поверхні яких піддаються інтенсивному тертю та зносу: їхня працездатність підвищується [3].

Таким чином, на відміну від внутрішнього шліфування, хонінгування забезпечує розташування рисок-подряпин, що утворюються від абразивних зерен, що пропрацювали, під деяким кутом до осі обертання оброблюваного отвору. Досягти однакового напрямку

рисок-подряпин і осі обертання оброблюваного циліндра можна завдяки застосуванню методу осьового хонінгування. Суть цього методу полягає в тому, що абразивні бруски щодо деталі переміщують лише зворотно-поступально, а обертання відключають. Тому утворення рисок-подряпин відбувається в осьовому напрямку, що покращує експлуатаційні показники деталей типу штоків (поршнів) гідро- та пневмоциліндрів, хоча і в цьому випадку має місце підвищений знос ущільнень поршня після оброблення отвору циліндра. Разом з тим цей метод хонінгування характеризується відносно низькою продуктивністю обробки. Причиною цьому є зворотно-поступальний рух інструмента, який в кожен зворотній хід знижує швидкість до нуля, тобто проходить через «крайні мертві точки». Виходячи з цього, виникає складне, але важливе для практики виготовлення гідро- і пневмоциліндрів, завдання забезпечення в процесі внутрішнього шліфування формування рисок-подряпин від утворених зерен шліфувального круга вздовж осі обертання оброблюваного циліндра з метою зниження інтенсивності тертя та зносу ущільнень поршня у процесі його подальшої роботи.

Для вирішення даного завдання в роботі запропоновано процес внутрішнього шліфування здійснювати абразивним кругом, розташованим під деяким кутом  $\beta$  нахилу до осі обертання циліндра, що обробляється (рис. 1).

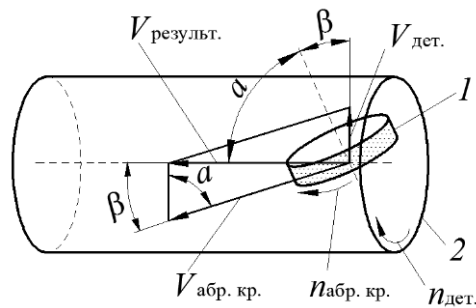


Рис. 1 – Схема розташування векторів при шліфуванні отвору циліндра

Як видно з рисунка 1, у результаті складання векторів швидкості шліфувального круга та оброблюваної деталі сумарний вектор швидкості може бути спрямований уздовж осі обертання циліндра, що обробляється.

Таким чином, застосування запропонованої технології механічної обробки гідро- і пневмоциліндрів, поряд із забезпеченням формування рисок-подряпин вздовж осі обертання оброблюваного циліндра, дозволяє домогтися ще й підвищення точності та продуктивності обробки. Це досягається тим, що заготовку після виконання операції розточування не потрібно перевстановлювати з токарного верстата на внутрішньо-шліфувальний верстат, оскільки це призводить до втрати точності взаємного розташування поверхонь і вісей та вимагає значного часу на вивірку положення оброблюваного циліндра, що перевстановлюється.

#### Список посилань

1. Сергєєв, О.С. Аналіз умов ефективного застосування фінішної абразивної обробки для зменшення шорсткості поверхні [Текст] / О. С. Сергєєв // Наука та виробництво: міжвуз. темат. зб. наук. пр. ДВНЗ «ПДТУ». – 2021. – Вип. 24. – С. 82 – 92.
2. Яровий, В.С. Діагностика несправностей випрямних трансформаторів високочастотних джерел живлення на основі визначення особливостей струму [Текст] / В. С. Яровий, Г. Д. Радзівілов, С. В. Герасимов, В. В. Кірвас // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2021. – № 4 (45). – С. 152 – 162. – <https://doi.org/10.30748/nitps.2021.45.19>.
3. Прібілев, Ю.Б. Графоаналітичний метод компромісного розподілу витрат на забезпечення запасу точності та надійності елементної бази вимірювальних каналів контрольно-випробувальної станції [Текст] / Ю. Б. Прібілев, С. В. Герасимов, М. В. Борисенко // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2020. – Вип. 4 (6). – С. 100 – 106. – <https://doi.org/10.30748/zhups.2020.66.14>.

УДК 621.941

Медведєв Б.В., студент  
Серебрянський А.А., студент  
Алексєєв О.М., докт. пед. наук., професор  
Євтухов А.В., канд. техн. наук, доцент  
Сумський державний університет, evtuhov.a@tmvi.sumdu.edu.ua

## ПОБУДОВА ТА АНАЛІЗ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ЕЛЕКТРОДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ЯК ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ЕЛЕМЕНТА ПРИВОДА ОБЕРТАННЯ ЗАГОТОВКИ КРУГЛОШЛІФУВАЛЬНОГО ВЕРСТАТА

Електродвигуни постійного струму (ЕДПС) широко застосовуються в приводах подачі металорізальних верстатів, промислових роботів, маніпуляторах та іншому виробничому обладнанні. В приводі обертання заготовки круглошліфувального верстата 3М151 використовують електродвигун 2ПБ-100М, а побудова та аналіз його імітаційної моделі є актуальним завданням, спрямованим на дослідження та покращання динамічних характеристик обробної системи шліфування загалом.

Відповідно до [1] математична модель ЕДПС складається з системи чотирьох рівнянь:

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_{\delta} - M_o, \quad M_{\delta} = K \cdot I, \quad L \frac{dI}{dt} + R \cdot I = U - E, \quad E = K \cdot \omega,$$

де  $J$  – момент інерції якоря, кг·м<sup>2</sup>;

$\omega$  – кругова частота обертання якоря, рад/с;

$M_{\delta}$  – момент, що розвивається двигуном, Н·м;

$M_o$  – момент опору, Н·м;

$U$  – напруга живлення, В;

$E$  – противо-ЕРС, В;

$I$  – струм в ланцюгу якоря, А;

$L$  – індукція в ланцюгу якоря, Гн;

$R$  – опір якорного ланцюга, Ом;

$K = C_k \cdot \Phi$ , де  $C_k$  – коефіцієнт, що залежить від конструктивних особливостей двигуна ( $C_k = pN/2\pi a$ , де  $p$  – кількість полюсів,  $N$  – кількість активних провідників обмотки якоря,  $a$  – кількість пар паралельних гілок обмотки якоря);  $\Phi$  – магнітний потік, Вб.

У посібнику [1] наведені такі характеристики ЕДПС 2ПБ-100М: номінальна потужність  $N_n = 0,85$  кВт; номінальна напруга мережі  $U_n = 220$  В; номінальна частота обертання  $n_n = 2360$  об/хв (247,14 рад/с); максимальна частота обертання  $n_{\max} = 4000$  об/хв (418,88 рад/с); ККД  $\eta = 78$  %; опір обмотки якоря  $R_{\text{я}} = 1,99$  Ом (за 15 °С); опір обмотки додаткових полюсів  $R_{\text{оп}} = 1,22$  Ом; опір обмотки збудження  $R_{\text{в}} = 153$  Ом; індуктивність ланцюга якоря  $L = 78$  мГн; момент інерції якоря  $J = 0,011$  кг·м<sup>2</sup>.

З урахуванням зазначених даних обчислимо опір якорного ланцюга за формулою

$$R = 1,2 \cdot (R_{\text{я}} + R_{\text{оп}}) + R_{\text{щ}},$$

де  $R_{\text{щ}} = 2 / I_{\text{ня}}$  – щітковий опір, Ом.

Номінальний струм якорного ланцюга визначають за формулою:  $I_{\text{ня}} = \eta \cdot N_n / U_n$ . В результаті маємо:

$$R = 1,2 \cdot (R_{\text{я}} + R_{\text{оп}}) + \frac{2 \cdot U_n}{\eta \cdot N_n} = 1,2 \cdot (1,99 + 1,22) + \frac{2 \cdot 220}{0,78 \cdot (0,85 \cdot 1000)} = 4,516 \text{ (Ом)}.$$

Величину  $K$  визначимо за відомою [1] електромеханічною характеристикою двигуна

$$\omega = \frac{U - I \cdot R}{K}.$$



В результаті маємо:

$$K = \frac{U_n - I_{ня} \cdot R}{\omega_n} = \frac{220 - 3,01 \cdot 4,516}{247,14} = 0,835 \text{ (В} \cdot \text{с / рад)}.$$

Отже, величини всіх параметрів математичної моделі ЕДПС наявні.

Імітаційну модель ЕДПС побудуємо з використанням пакету математичного аналізу Matlab/Simulink (рис. 1).

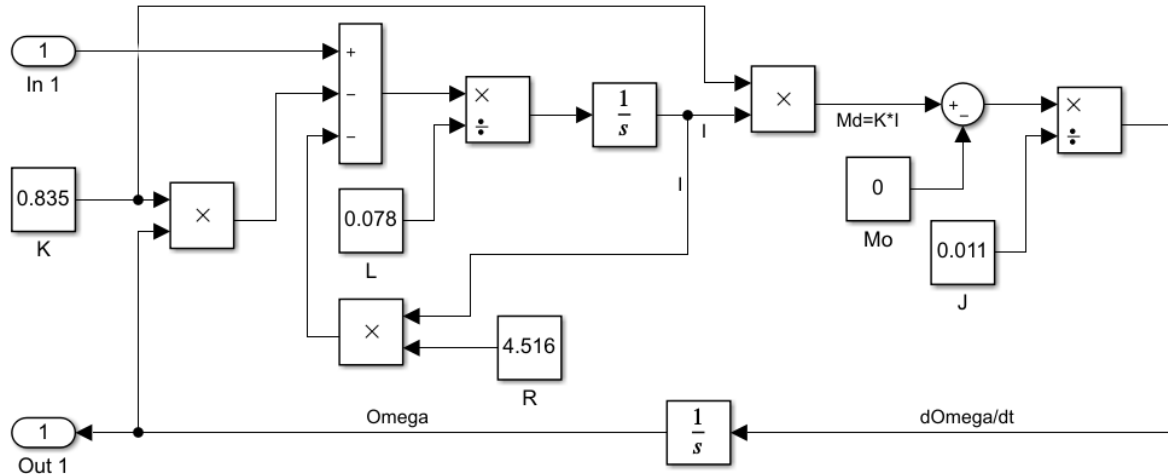


Рис. 1 – Імітаційна модель електродвигуна постійного струму 2ПБ-100М

Модель ЕДПС адаптована для побудови перехідних та частотних характеристик засобами Matlab/Simulink. На рис. 2 наведено перехідну характеристику досліджуваної системи, яка, як відомо, є реакцією системи на вхідний вплив у вигляді одиначної східчастої функції.

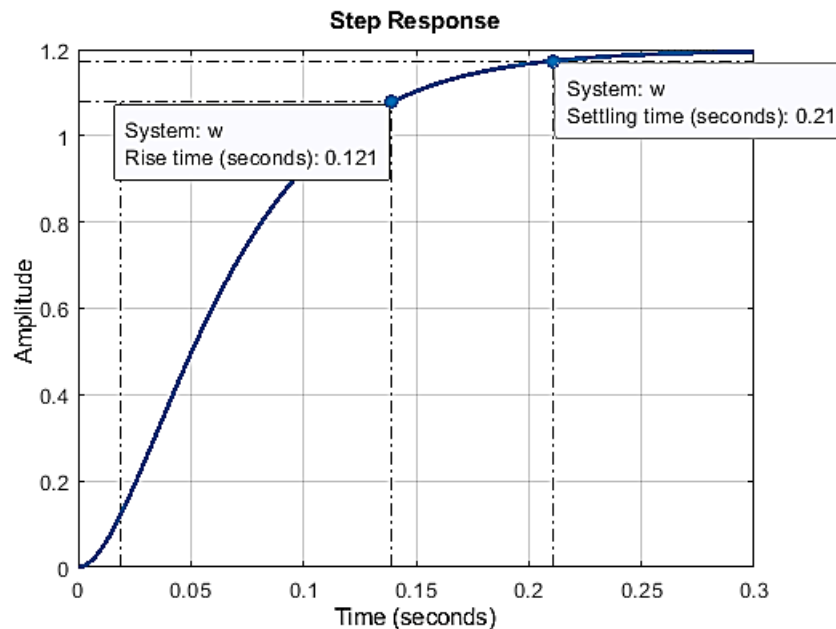


Рис. 2 – Перехідна характеристика моделі електродвигуна постійного струму 2ПБ-100М

Вигляд графічної залежності на рис. 2 загалом відповідає перехідній характеристиці типової аперіодичної ланки 2-го порядку, що підтверджує адекватність спроектованої моделі за якісними ознаками. Водночас час перехідного режиму роботи системи (Setting Time) за даними рис. 2 становить 0,211 с.

Для розрахунку та спостереження кругової частоти обертання двигуна  $\omega$  (рад/с) у функції часу, як вихідного сигналу досліджуваної системи, необхідно замість блоку Out 1

поставити блок Scope, а замість блоку In 1, як вхідний сигнал, необхідно задати напругу живлення  $U$  (В).

#### Список посилань

1. Видмиш А. А. Основи електропривода. Теорія та практика. Частина 1: навч. посіб. / А. А. Видмиш, Л. В. Ярошенко Л.В. – Вінниця: ВНАУ, 2020. – 387 с.

УДК 625.768

Заяць І.А., студент

Довгополов А.Ю., канд. техн. наук, старший викладач  
Сумський державний університет, a.dovhopolov@tmvi.sumdu.edu.ua

### РОЗРОБЛЕННЯ ПРОТОТИПУ МЕХАНІЗОВАНОГО РОБОТА ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ ОЗБРОЄННЯ

На сьогоднішній день, роботи та різного роду роботизовані системи стали невід'ємною складовою людського життя. У більшості вдома є робот пилосос, який використовується для прибирання житла. Своєю чергою на виробництві з кожним роком з'являється все більше роботизованих дільниць, на яких роботи використовуються для виготовлення різних деталей, або ж для складання їх чи механізмів в готові машини.

Військова справа не є виключенням, у більшості сучасних та передових армій світу в арсеналі наявна велика кількість бойових роботів. Ці роботи використовуються для нанесення вогневого ураження противнику, або транспортування поранених з поля бою. В умовах ведення бойових дій, роботи широко застосовуються для транспортування вантажів (вони транспортують боєприпаси, їжу та інші необхідні на полі бою речі).

Через повномасштабну війну з Російською федерацією, питання розробки нових роботизованих систем та роботів для потреб Збройних сил України та інших силових структур України набуло досить високого значення. Вартість втраченого на полі бою дорогоцінного обладнання, ніколи не зрівняється із втратою життя українським солдатом, людське життя є безцінним. На основі вищезазначеного та загальновідомого твердження, задача створення вітчизняного робота для транспортування боєприпасів та продуктів харчування на лінію бойового зіткнення є досить актуальною задачею та потребує негайного вирішення.

Першочергове завдання яке потрібно вирішити – це вартість робота, вона повинна бути набагато нижчою за закордонні аналоги, та відповідати вартості сучасного розвідувального квадрокоптера. Не велика вартість робота, дозволяє військовому на полі бою думати про збереження власного життя, а не про те як зберегти неушкодженим коштовне озброєння.

Прототипом для створення військового робота для транспортування, було вирішено взяти модель роботизованого «Таргана» (рис.1), відео різних моделей цієї механічної істоти велика кількість у відкритих електронних ресурсах. Дана модель була використана як прототип, через простоту конструкції, адже для забезпечення руху цього робота необхідні: просте автономне джерело енергії (у вигляді акумулятора) та не складні технологічні механізми поєднання яких через кінематичні зв'язки дозволяє привести в рух цього робота. Створений авторами прототип досить швидко рухається і складається з недорогих компонентів.

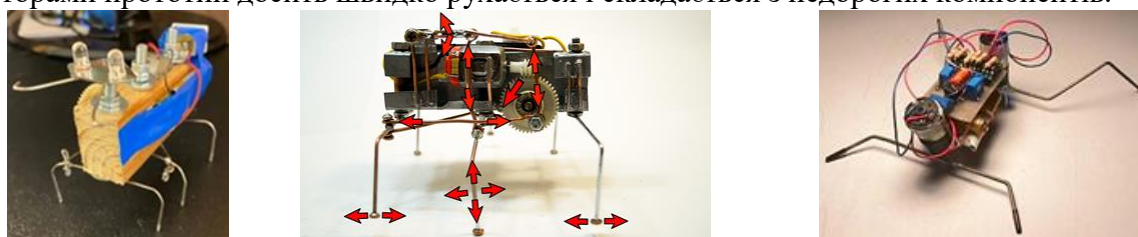


Рис. 1 – Фото моделі «Таргана», прототипу для створення військового робота

Подальша робота буде спрямована на створення реальної моделі робота з можливістю переміщення по складній місцевості, з можливістю транспортування 50 - 80 кг корисної ваги(боєприпаси, харчі, вода).

УДК 621.785.533

**Панченко А.В., аспірант**  
**Довгополов А.Ю., канд. техн. наук, старший викладач**  
Сумський державний університет, a.panchenko@tmvi.sumdu.edu.ua

## **ПІДВИЩЕННЯ АНТИКОРОЗІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СТАЛЕЙ АУСТЕНІТНОГО КЛАСУ МЕТОДОМ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОЇ ОБРОБКИ В РОЗПЛАВАХ СОЛЕЙ**

Антикорозійні властивості сталей є невід’ємними для забезпечення тривалої експлуатації металевих конструкцій у різних середовищах. Аустенітні сталі відомі своїми високими антикорозійними властивостями. Основна причина полягає в їх високому вмісті хрому (зазвичай понад 10%) і нікелю (часто понад 8%). Ці елементи утворюють захисний оксидний шар на поверхні сталі, який називається пасивним шаром. Цей пасивний шар забезпечує стійкість сталі до різних типів корозії, включаючи загальну корозію, точкову корозію, стрес-корозію і міжкристалічну корозію.

Одним із недоліків виробів виготовлених зі сталей аустенітного класу є низька твердість та зносостійкість. Для підвищення фізико-механічних властивостей в сучасному виробництві використовують передові методи термічної та хіміко-термічної обробки. Одним з таких методів, який використовується в усіх розвинених країнах світу, є метод дифузійного насичення атомами азоту та вуглецю в розплавах солей.

Однак під час поверхневого зміцнення деталей виготовлених зі сталей аустенітного класу існує суперечливість даних по впливу хіміко-термічної обробки на корозійну стійкість, вона пов’язана в основному із тим, що в процесі обробки на поверхні деталей утворюються нітриди та карбіди легуючих елементів (в основному хрому та нікелю), які погіршують антикорозійні властивості деталей із зазначених матеріалів.

Метою роботи є дослідження впливу дифузійного насичення атомами азоту та вуглецю в розплавах солей на антикорозійні властивості виробів зі сталей аустенітного класу. В ході дослідження було проведено експерименти на зразках зі сталі 12X18H10T та запропоновано кілька видів комплексної термічної та хіміко-термічної обробки, що включає попередню термічну обробку при температурі 1070°C, дифузійне насичення в розплаві солей при 580°C та оксидування при 530°C в розплаві лугів. Для забезпечення максимальних антикорозійних властивостей пропонується зробити додаткове міжопераційне очищення поверхні в склоструменевому апараті з повторним оксидуванням.

Комплексна високотемпературна обробка в розплавах солей є одним з перспективних методів для підвищення антикорозійної стійкості сталей аустенітного класу. Для забезпечення високих фізико-механічних властивостей деталей виготовлених зі сталей аустенітного класу, а також збереження антикорозійних властивостей необхідно вивчити механізми дифузії зміцнюючих елементів в поверхневий шар деталей, їх вплив на антикорозійні властивості поверхні деталей та розробити нові технології комбінованого поверхневого зміцнення деталей зі сталей аустенітного класу.

Саме тому, завдання пов’язані з розробкою нових методів підвищення антикорозійних властивостей деталей виготовлених зі сталей аустенітного класу під час високотемпературної обробки в розплавах солей та з’ясування умов формування зміцненого шару з максимальними антикорозійними властивостями на поверхні цих деталей, є актуальними завданнями та потребують негайного вирішення.

УДК 621.785.533

Некрасов Ю.О., аспірант  
Довгополов А.Ю. канд. техн. наук, старший викладач  
Сумський державний університет, y.nekrasov@tmvi.sumdu.edu.ua

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВМІСТУ КИСНЮ НА ШВИДКІСТЬ НАСИЧЕННЯ ПОВЕРХНІ ДЕТАЛІ АТОМАМИ АЗОТУ ТА ВУГЛЕЦЮ ПРИ КАРБОНІТРАЦІЇ

Карбонітрація це вид хіміко-термічної обробки (ХТО) результатом якої є зміцнення поверхневого шару виробів зі сталі та чавуна. Даний вид хіміко-термічної обробки широко розповсюджений в промисловості, та застосовується, як для зміцнення широкого асортименту деталей машин так і металорізального інструменту зокрема. Проте, деякі процеси під час обробки деталей неможливо передбачити без проведення певних досліджень. Технологічна схема процесу карбонітрації показана на рисунку 1.



Рис. 1 – Технологічна схема процесу карбонітрації

Дослідження в області карбонітрації сталей проводяться по цей час. Проте, є багато нюансів, які слід враховувати під час процесу й вони залишаються недостатньо вивченими, що призводить до незадовільних результатів. Процес, пов'язаний з дослідженням впливу вмісту кисню на швидкість насичення поверхні деталі атомами азоту та вуглецю при карбонітрації, також мало досліджений і потребує подальшого його розгляду.

Для забезпечення параметрів зміцненого шару деталей в процесі карбонітрації необхідно підтримувати хімічний склад та температуру робочого розплаву в заданих параметрах. Глибина дифузії напряму залежить від часу витримки деталей в розплаві. Зменшення тривалості хіміко-термічного процесу дозволить знизити собівартість даної операції.

Через різке зростання цін на електроенергію та складну ситуацію в енергосистемі України, витрати на енергоносії, необхідні для проведення процесу карбонітрації, з кожним роком зростають. Своєю чергою, під час цього процесу, для забезпечення параметрів зміцненого шару деталей на належному рівні, потрібно підтримувати хімічний склад та температуру робочого розплаву досить тривалий час. Оскільки глибина дифузії напряму залежить від часу витримки деталей в робочому розплаві.

Зменшення тривалості хіміко-термічного процесу карбонітрації знизить собівартість цієї операції. Задача пов'язана зі зменшення тривалості виконання хіміко-термічної обробки є актуальною задачею, та потребує вирішення. Для її вирішення, запропоновано збільшити подачу кисню в ванну до найбільш оптимальної, тим самим підвищити насичувальну спроможність робочого розплаву солей який використовується для процесу карбонітрації.

Дослідження впливу кисню на активність процесу дозволить суттєво скоротити витрати електроенергії на підігрів ванни та запобігти збідненню робочого розплаву, при цьому експлуатаційні характеристики оброблюваних деталей залишаться на тому самому рівні.

УДК 621.904:621.95:629.7

Майданюк С.В., канд. техн. наук, доцент

Адаменко Ю.І., канд. техн. наук, доцент

Плівак О.А., інженер

Марченко О.М., студент

Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», maysv3@gmail.com

## ВПЛИВ РАДІУСА ЗАОКРУГЛЕННЯ РІЗАЛЬНОЇ КРОМКИ НА ЯКІСТЬ ОБРОБКИ ОТВОРІВ У КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛАХ

Полімерні композиційні матеріали, зокрема армовані скляним волокном, широко використовуються у різних галузях промисловості: будівництві, автомобілебудуванні, авіа- та ракетобудуванні, кораблебудуванні, вітровій енергетиці, а також в побутовій електроніці, телекомунікаційних продуктах та інших прикладних сферах. До 2025 року темпи світового щорічного зростання ринку скловолоконних тканин прогнозуються на рівні 6,1% [1].

Однією з найбільш поширених і складних операцій механічної обробки склопластиків є обробка отворів для болтових та заклепкових з'єднань. Складність обробки полягає у низькій стійкості різального інструмента та в утворенні дефектів обробленої поверхні отворів. Серед основних факторів, що впливають на зношення інструменту, можна відзначити властивості матеріалу (хімічний склад, розмір волокна, схема армування), особливості різального інструменту (марка матеріалу, наявність покриття, конструкція, геометричні параметри), а також технологія обробки (верстат, режими різання, застосування накладок тощо).

Стан різальної кромки, її гострота або притуплення істотно впливають на взаємодію інструменту та матеріалу в зоні різання і на всі параметри процесу – стружкоутворення, температуру, зусилля різання і, як наслідок, якість обробленої поверхні деталі [2].

У якості оброблюваного матеріалу був вибраний склопластик товщиною 5 мм з перехресним армуванням волокон з Е-скла діаметром 16 мкм. Інструмент – свердло спіральне з швидкорізальної сталі діаметром 8 мм, діаметром серцевини 1,3 мм, форма заточка – по двох площинах. Геометричні параметри різальної частини свердла:  $2\varphi=120^\circ$ ,  $\alpha=20^\circ$ ,  $\psi=55^\circ$ ,  $\omega=28^\circ$ . Випробування проводилися на вертикально-свердлильному верстаті, режими обробки: швидкість різання 17,8 м/хв, подача 0,1 мм/об.

Через кожних десять оброблених отворів визначався радіус заокруглення різальної кромки на обох лезах свердла. Вимірювання здійснювались з кроком 0,5мм вздовж різальної кромки щуповим методом на модернізованому приладі для вимірювання шорсткості поверхні (рис.1,а) [3]. За результатами вимірювань будувалась модель леза (рис.1, б) .

Під час обробки отворів у полімерних композитах виникає ціла низка дефектів, зокрема розшарування, незрізані волокна, термічна деструкція, відколювання, відхилення форми, розмірів тощо (рис.2,а). Під час досліджень основним параметром, який характеризує якість обробки, було вибрано розшарування зовнішніх шарів матеріалу на вході інструмента в заготовку та на виході з неї. Для кількісної оцінки розшарування був вибраний критерій  $F_{da}$ , який визначається як відношення зони розшарування навколо отвору до номінальної площі свердла та визначається за формулою (1) [4]. Схема для визначення  $F_{da}$  наведена на рис.2, б.

$$F_{da} = F_d + \left( \frac{A_d}{A_{max} - A_0} \right) \cdot (F_d^2 - F_d) \quad (1)$$

де  $A_0$  – площа номінального кола, розрахована з використанням діаметра свердла  $D_0$ ;

$A_d$  – площа пошкодженої зони навколо отвору;

$A_{max}$  – площа кола максимального діаметра пошкодженої зони  $D_{max}$ ;

$F_d$  – коефіцієнт розшарування, який визначається як відношення максимального діаметра пошкодженої зони  $D_{max}$  до діаметра свердла  $D_0$ .

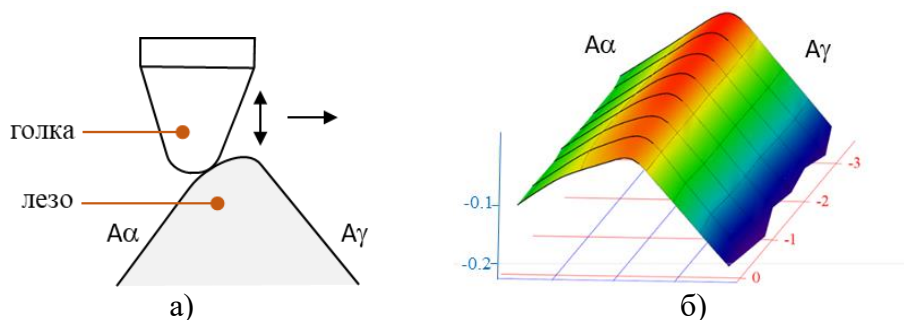


Рис. 1 – Визначення радіуса заокруглення різальної кромки а) схема ошупування лека; б) модель лека

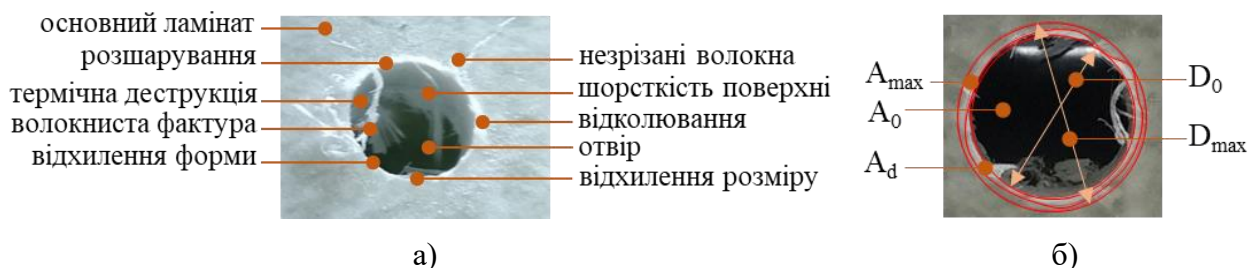


Рис. 2 – Параметри якості обробки отворів а) дефекти обробки; б) схема розрахунку розшарування

Як показали дослідження, розшарування на виході свердла з заготовки виявились більшими, ніж на вході. Радіус заокруглення вздовж різальної кромки змінювався несуттєво, не зважаючи на суттєву різницю в умовах різання, зокрема швидкість різання та зміну переднього і заднього кутів від периферії свердла до осі.

Було встановлено, що величина радіуса заокруглення різальної кромки залишалась приблизно на одному рівні від початку до закінчення серії експериментів і практично не впливала на величину розшарування, що узгоджується з висновками роботи [3]. Основним фактором, який справляв найбільший вплив на величину розшарування було зношення свердла по задній поверхні, яке призводило до інтенсифікації контактних та теплових процесів задньої поверхні з оброблюваним матеріалом. Необхідні подальші дослідження щодо вивчення впливу властивостей інструментального матеріалу, оброблюваного матеріалу, геометричних параметрів лека, режимів різання на якість обробленої поверхні.

#### Список посилань

1. Fiberglass Fabric Market Size, Share & Trends Analysis Report By Application (Construction, Electrical & Electronics, Wind Energy, Aerospace), By Product (E-glass, S-glass), By Fabric Type (Nonwoven, Woven), And Segment Forecasts, 2019 - 2025.
2. Henerichs M., Bohrbearbeitung von CFK unter besonderer eidkantenmikro-geometrie. 2015, idgenössische Technische Hochschule Zürich (ETH): Zürich.
3. Adamenko, Y., Besarabets, Y., Maidaniuk, S., Plivak, O., Adamenko, D. (2023). Influence of Drill Microgeometry on the Quality of the Machined Fiberglass Surface. In: Tonkonogiy, V., Ivanov, V., Trojanowska, J., Oborskyi, G., Pavlenko, I. (eds) Advanced Manufacturing Processes IV. InterPartner 2022. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-16651-8\\_30](https://doi.org/10.1007/978-3-031-16651-8_30).
4. J.P. Davim, J.C. Rubio and A. Abrao, 2007, A novel approach based on digital image analysis to evaluate the delamination factor after drilling composite laminates, Composites Science and Technology. 67(9): pp. 1939-1945.



УДК 621.904:621.95:629.7

Адаменко Ю.І., канд. техн. наук, доцент  
Майданюк С.В., канд. техн. наук, доцент  
Плівак О.А., інженер  
Прокопчук Д.В., студент

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,  
maysv3@gmail.com

## ІНСТРУМЕНТ ДЛЯ КОНТУРНОГО РІЗАННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Полімерні композиційні матеріали широко використовуються в авіабудуванні, автомобілебудуванні, будівництві, спортивних та декоративних виробках тощо. Поєднання високої довговічності та надійності під час роботи в умовах значних навантажень, високих температур та агресивних середовищ сприяють їх значному поширенню.

Найбільш поширеними операціями механічної обробки деталей з полімерних композитів є обробка по контуру – обрізання кромки, фрезерування торців, уступів, вікон. Переважно ці операції виконують вручну за допомогою механізованих засобів. Основними проблемами, що виникають під час обробки є складність отримання високої якості обробленої поверхні, низькою стійкістю різального інструмента, пов'язана з високою абразивною здатністю наповнювача, та є дотримання норм безпеки праці оператора.

Найбільш поширеними дефектами при механічній обробці є деструкція поверхневого шару, викликана тепловими явищами, що супроводжують процес різання, та механічні пошкодження – розшарування зовнішніх шарів матеріалу, незрізані волокна, сколи, виривання тощо [1].

Процес механічної обробки супроводжується виділенням значної кількості дрібнодисперсних частинок стружки, що знаходяться у повітрі, які мають потенційну здатність ушкоджувати дихальну систему та викликати токсичне подразнення. Тому вкрай важливо під час проектування технологічних процесів обробки композиційних матеріалів та інструментів для них, звести до мінімуму викиди небезпечних частинок у довкілля [2].

Для контурного обрізання панелей із композиційних матеріалів використовувався механізований пристрій [3], конструкція якого є модернізацією пристрою згідно патенту FR2561556A1 [4]. Пристрій закріплюється на електричному дрилі, в якості різального інструмента використовується інструмент з гвинтовим зубом. Різальний інструмент виконує обертальний рух, а весь пристрій, разом з інструментом – рух подачі, перпендикулярний осі обертання інструмента. Заготовка композиційного листового матеріалу, потрапляючи в западину гвинтового зуба інструмента, захоплюється ним і, притискаючись до різально-напрямної втулки, зрізується знизу догори за принципом ножиць, підтискаючи зрізуваний шар матеріалу до торцевої поверхні втулки.

Для реалізації наведеної схеми зрізання припуску крок спіралі зуба  $P$  повинен бути більшим за мінімально допустимий:

$$P_{min} = (H + b)/(1 - 2t/\pi D) \quad (1)$$

де  $H$  – товщина оброблюваної заготовки;

$b$  – товщина зуба в осьовому напрямку;

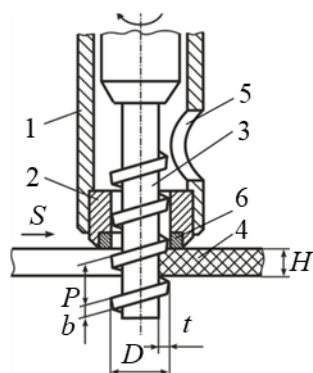
$t$  – висота зуба (конструктивно допустима подача на оберт інструмента);

$D$  – діаметр інструмента.

Для досліджень були обрано органопластик товщиною 1,4 мм, склопластик – 2,3 мм та армований вуглепластик – 1,3 мм відповідно.

Різально-напрямна втулка використовувалася цільної конструкції зі швидкорізальної сталі Р6М5. Різальний інструмент використовувався зі швидкорізальної сталі Р6М5:  $\varnothing 6,05$  мм,  $\omega = 59^\circ$ ; товщина та висота зуба, відповідно  $b = 1,44$  мм,  $t = 0,9$  мм;  $\gamma = 10^\circ$ ,  $\alpha = 2^\circ$ .

Швидкість різання інструмента варіювалась на трьох рівнях (42 м/хв, 49 м/хв та 57 м/хв), подача – ручна.



- 1 – корпус пристрою
- 2 – пряма частина різально-напрямної втулки
- 3 – різальний інструмент
- 4 – заготовка
- 5 – отвір для видалення стружки
- 6 – різальної частини різально-напрямної втулки

Рис. 1 – Схема пристрою для різання листових композиційних матеріалів

Якість обробленої поверхні (торцевої поверхні) деталі з композиційного матеріалу оцінювалась такими параметрами: шорсткість поверхні та величина не зрізаних армуючих волокон.

Шорсткість обробленої поверхні деталі вимірювалась на вході інструмента в заготовку за допомогою мобільного профілометра MarSurf PS1 за параметром Ra. Величина незрізаних волокон оцінювалась за допомогою мікроскопа.

Як показали дослідження:

- зі збільшенням швидкості різання шорсткість поверхні зростає, найбільша шорсткість поверхні спостерігалася на деталях зі склопластику, а найменша – з армованого вуглепластику;

- величина не зрізаних волокон на вході інструмента в заготовку суттєво менша, ніж на виході інструмента із заготовки для всіх оброблюваних матеріалів;

- в процесі обробки спостерігається утворення стружки великого поперечного перерізу та невелика кількість дрібнодисперсних частинок стружки; стружка затягується в середину корпусу пристрою та відводиться з нього через спеціальний отвір для відведення стружки 5 (див. рис. 1).

На підставі отриманих результатів підтверджено, що використання запропонованого пристрою дозволяє підвищити якість обробки листових полімерних композиційних матеріалів, за рахунок поліпшення умов обробки. Встановлено, що шорсткість обробленої поверхні незначно зростає з підвищенням швидкості різання, а робота пристрою супроводжується незначним утворенням дрібнодисперсної стружки, яка відводиться із зони обробки через пристрій та не потрапляє в органи дихання людини, що поліпшує умови роботи.

#### Список посилань

1. Глоба А.В. Оценка качества обработанной поверхности при сверлении высокопрочных полимерных композиционных материалов. / А.В. Глоба, Ю.И. Адаменко // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. – Випуск 23. – Краматорськ-Київ 2008. – С.220-224.

2. N. Nguyen-Dinh, Akshay Hejjaji, Redouane Zitoune, Christophe Bouvet, Mehdi Salem. New tool for reduction of harmful particulate dispersion and to improve machining quality when trimming carbon/epoxy composites. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, Elsevier, 2020, 131, pp.105806. 10.1016/j.compositesa.2020.105806. hal-02544160.

3. Адаменко Ю. Дослідження інструмента для контурного розрізання композиційних матеріалів. / Адаменко Ю., Бесарабець Ю., Майданюк С., Плівак О. // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2022. – Випуск 3(134) – С. 70-77. <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2022.3.9>

4. Patent France FR2561556A1, B23C5/10; B26D1/15; B32B5/08. Composite material clipping tool, 1985-09-27.

УДК 629. 542

Акимов О.О., канд. техн. наук, доцент  
Міщенко М.В., канд. техн. наук, доцент  
Феденько В.М.  
Шевченко Д.Т.

Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Черкаси, akimov.al.al@gmail.com

## ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ НЕЯВНИХ ВІДМОВ КУЛЬОК ПІДШИПНИКА НА ЙОГО РЕСУРС

Значна частина броньованих машин типу БМП 1, БМП-2 та інші мають поворотну башту розміщену на кульковій опорі.

Кулькова опора являє собою великий радіально-упорний підшипник, обоймами якого є погони башти. Між погонами башти та корпусу розміщені металеві або полімерні кульки.

У випадку руйнування кульок проводиться їх заміна. При періодичному технічному обслуговуванні проводиться контроль усіх кульок на відповідність вимог ТУ. Кульки, які мають відхилення від номінальних параметрів в допустимих межах згідно вимог ТУ, відносяться до “неявних” відмов [1].

Знання кількості забракованих кульок по кожному параметру, кульок з відхиленням параметрів від номінального значення, та їх загальної кількості дозволяє визначати імовірність їх безвідмовної роботи.

Для оцінки впливу надійності кульок на працездатність кулькової опори вводиться поняття – узагальнена імовірність безвідмовної роботи кулькової опори  $P_L$ , яка враховує відмови по причині руйнування та зношування кульок:

$$P_L = P(p) * P(\partial) * K_\partial * P(c), K_c, \quad (1)$$

де  $P(p)$  – імовірність руйнування кульки:

$P(\partial)$  – імовірність невідповідності середнього діаметра вимогам ТУ;

$P(c)$  – імовірність невідповідності сферичної форми кульки вимогам ТУ;

$K_c$  – коефіцієнт впливу відхилення діаметра кульки на її стійкість до руйнування;

$K_\partial$  – коефіцієнт впливу відхилення сферичної форми кульки на її стійкість до руйнування;

Розподіл ресурсу підшипників кочення підкоряється закону Вейбула [2]. У відповідності з цим законом зв'язок між імовірністю безвідмовної роботи опори та її ресурсом має наступний вигляд:

$$P_L = e^{(a)^\alpha \cdot \ln(0.9)}, \quad (2)$$

де  $\alpha$  – параметр форми розподілу Вейбула, зв'язаний з розсіюванням ресурсу (у відповідності ГОСТ 18855–94  $\alpha=1,5$ );

$a$  – коефіцієнт надійності, який залежить від ресурсу [2].

Запропонована методика дозволяє визначити залишковий ресурс підшипникової опори по стану кульок підшипника.

### Список посилань

1. Антонов А. Об определении индивидуального ресурса изделий атомных станций // Надежность и контроль качества. – 1996. – Вып. № 10. – С. 18–22.
2. Решетов Д.Н. Надежность машин/ Д.Н. Решетов, А.С. Иванов, В.З. Фадеев; под общей редакцией Д.Н. Решетова. – М.: Высшая школа, 1988. – 235 с.

УДК 539.3:534.1

Деркач О. Л., канд. техн. наук

Кобзар В. Л., аспірант

Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України, м. Київ,

[derkach@ipp.kiev.ua](mailto:derkach@ipp.kiev.ua)

## ЗАСТОСУВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК РОЗСІЮВАННЯ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ВІБРОДІАГНОСТИКИ ПОШКОДЖЕНЬ У ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛАХ

Полімерні композитні матеріали широко застосовуються як конструкційні елементи в авіаційній техніці, а також в деталях перспективних авіаційних двигунів, що є пріоритетним напрямом підвищення їх техніко-економічних показників. Однак, при їх експлуатації можуть виникати пошкодження, найбільш типовими з яких є розшарування та поперечне розтріскування матриці. Пошкодження від низькоенергетичних ударів суттєво погіршують здатність конструктивних елементів, виготовлених з багатошарових полімерних композитних матеріалів, витримувати статичні та вібраційні навантаження. Внутрішні пошкодження такого типу важко виявити за допомогою візуального огляду. Тому для забезпечення надійності та безпеки функціонування технічних об'єктів необхідно мати засоби діагностики пошкоджень.

Вібраційна діагностика є відносно простим методом, який базується на аналізі зміни модальних характеристик конструктивних елементів. Однак, дослідження показують, що зміна власних частот коливань композитних конструктивних елементів при наявності локальних пошкоджень цього типу є недостатньою для реєстрації у реальних умовах експлуатації. Більш чутливими, але водночас й більш складними у технічній реалізації, є методи, що ґрунтуються на аналізі нелінійних коливань. Крім того, поява локальних неоднорідностей у багатошарових композитах призводить до підвищення рівня внутрішнього тертя в околі пошкодження, що може слугувати вібродіагностичним ознакою структурної цілісності. Однак, характеристики розсіювання енергії мають менш стабільні значення, і дані, наведені в літературі, часто суперечать одне одному.

Метою представленої роботи є експериментальне дослідження ефективності застосування характеристик розсіювання енергії та їх похідних для вивчення впливу локальних пошкоджень від низькоенергетичних (до 20 Дж) ударів на зразки з багатошарового вуглепластику плетеної структури. В основі експериментальних методів дослідження лежить концепція амплітудно-залежного розсіювання енергії коливань у матеріалі. Дослідження дисипативних властивостей матеріалів здійснено на призматичних зразках за умови їх чистого згину, що дозволяє забезпечити рівномірний напружений стан вздовж робочої частини зразка [1].

За результатами проведених досліджень встановлено закономірності впливу енергії удару на рівень розсіювання енергії коливань у зразках матеріалу та його залежність від амплітуд відносної циклічної деформації в діапазоні  $10^{-4}$ ... $10^{-3}$ . Показано, що для пошкоджених зразків залежність логарифмічного декременту коливань від амплітуди циклічної деформації має локальний максимум при малих значеннях. Однак відносно великий приріст рівня розсіювання енергії та зазначений характер його залежності від амплітуди спостерігається для пошкоджених зразків з критичним значенням енергії удару.

### Список посилань

1. Богініч О.Є. Вплив низької і підвищеної температури на дисипативні властивості тканих вуглепластиків [Текст] / О.Є. Богініч, О.Л. Деркач, В.Л. Кобзар // Проблеми міцності. – 2023. – Т. 55, №1. – С. 71–84.

УДК 623(062.552)

Сила І.М.  
Боднар С.І.

Ряполов І.Є., канд. техн. наук

Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та  
військової техніки, м. Черкаси, i.ryapolov.79@ukr.com

## МЕТОДИКА ОЦІНКИ ХАРАКТЕРИСТИК АЕРОДИНАМІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ДВОХОБОЛОЧКОВИХ ПЛАНУЮЧИХ ПАРАШУТІВ

В даний час двооболонкові плануючі парашути (ДПП) знаходять достатнє широке практичне застосування, у тому числі для вирішення транспортних завдань. Двохоболочковий парашут є м'яким крилом, форма якого підтримується швидкісним натиском в потоці, і є найскладнішою аеропружною системою. Для визначення аеродинамічних характеристик такої системи необхідне залучення методів нелінійної аеродинаміки та нелінійної теорії пружності, що зумовлює суттєві обчислювальні труднощі [1-3].

У роботі оцінюються аеродинамічні характеристики форм різних плануючих парашутів. Показано, що заміна об'ємного профілю ДПП його серединною поверхнею дозволяє отримувати результати, що правильно відображають якісні ефекти відривного та безвідривного обтікання.

Для вирішення задачі про обтікання плануючого парашута потоком повітря використовується метод дискретних вихорів із замкнутими рамками, який дозволяє обчислювати аеродинамічні характеристики парашутів. Розглядається обтікання серединної поверхні форми двооболочкового плануючого парашута, що встановилася, потоком ідеальної стисливої рідини. Проникність тканини парашута не враховується, тому що верхнє і нижнє полотнища ДПП виконуються або зі слабо проникною, або з непроникною тканини. При відривному обтіканні аеродинамічні коефіцієнти визначаються шляхом усереднення часу після розрахунку до його великих значень.

Наводяться результати розрахунків, які показують можливість застосування запропонованої методики для розрахунку аеродинамічних характеристик ДПП у діапазонах кутів атаки до  $10^\circ$  та понад  $20^\circ$  за спрощеною розрахунковою схемою з точністю близько 10 %. У той самий час виявлено, що з збільшенням подовження м'якого крила важливо враховувати його аروحність більш точного визначення аеродинамічних характеристик.

Запропонована методика може використовуватися для оперативних оцінок аеродинамічних сил на етапі проектування та при плануванні трубного експерименту. Отримані результати можуть виявитися корисними при проектуванні ДПП, постановці та проведенні трубних експериментів.

### Список посилань

1. Uddin, M.N., Mashud, M. Wind Tunnel Test of a Paraglider (flexible) Wing Canopy [Текст] / M. N. Uddin, M. Mashud // International Journal of Mechatronics Engineering IJMME-IJENS. – 2010. – № 10(3). – Р. 7 – 13.
2. Mashud, M., Umemura, A. Experimental Investigation on Aerodynamic Characteristics of a Paraglider Wing [Текст] / M. Mashud, A. Umemura // The Japan Society for Aeronautical and Space Sciences. – 2006. – № 49(163). – Р. 9 – 17.
3. Овчинников, В.В. Петров, Ю.В. Методика расчета характеристик аэродинамического нагружения двухоболочковых планирующих парашютов [Текст] / В.В. Овчинников, Ю.В. Петров // Научный Вестник МГТУ ГА. – 2018. – Том 21, № 03. – С. 91 – 100.

УДК 623(062.552)

Сила І.М.  
Боднар С.І.

Ряполов І.Є., канд. техн. наук

Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Черкаси, i.gyapolov.79@ukr.com

## ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО СТВОРЕННЯ ПАРАШУТНОЇ СИСТЕМИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПРУЖНОЇ ЛАНКИ

Парашуту почали активно використовувати на початку ХХ століття з розвитком повітроплавання та авіації як засіб порятунку пілота при вимушеному залишанні літального апарату під час польоту [1–2]. Основним завданням рятувального парашута у цій ситуації є збереження життя та здоров'я людини.

У першій половині 1930-х років парашути стали використовуватися для безпечного десантування вантажів [3]. За минулий час у вітчизняній та зарубіжній практиці створено багато вантажних парашутних систем (ПС) різних призначень та схем функціонування [4–6].

Найчастіше для десантування вантажів застосовуються некеровані балістичні парашути з малою аеродинамічною якістю. При цьому використовується їх основна властивість – гасіння вертикальної складової швидкості за рахунок дії на купол аеродинамічної сили, що гальмує, для зменшення ударних перевантажень при приземленні.

Таким чином актуальним стає завдання зменшення найбільш значущого параметра при посадці – швидкості об'єкта, що десантується в момент торкання.

На рис. 1 показано її основні складові. Для підвісу вантажу до парашута пропонується використовувати довгу пружну ланку. Вантаж поділяється на дві частини  $m_1$  та  $m_2$ , що з'єднані тросом через механізм управління довжиною троса.

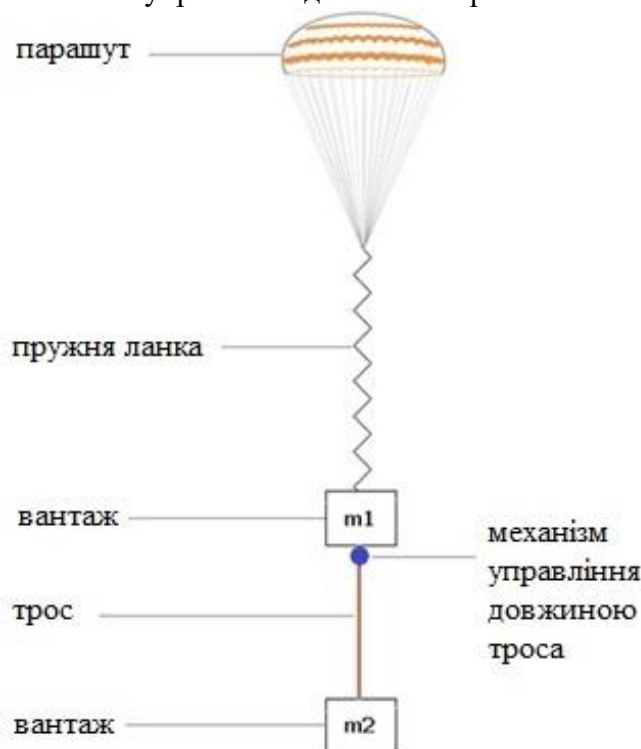


Рис. 1 – Схема парашутної системи з пружною ланкою

Парашутна система у польоті складається з парашута, розтягнутої пружної ланки, вантажу  $m_1$ , механізму управління довжиною троса, троса, вантажу  $m_2$ .



Для м'якої посадки вантажу  $m_1$  необхідно правильно підібрати основні параметри парашутної системи: площу парашута, жорсткість пружної ланки, маси вантажів  $m_1$  та  $m_2$ , довжину троса.

Застосування представленої парашутної системи може забезпечити малі динамічні навантаження вантажу протягом усього польоту та забезпечити зменшення швидкості об'єкта, що десантується в момент торкання.

#### Список посилань

1. Когутов, И.Л. Парашют для привязного аэростата [Текст] / И.Л. Когутов – Петроград, –1917. – 36 с.
2. Анощенко, Н.Д. О парашютах [Текст] / Н.Д. Анощенко // Труды аэростатного отдела “Летучей лаборатории”. – 1918. – № 1. 32 с.
3. Федосеев, С. Парашютно-десантная техника “Универсала” [Текст] / С. Федосеев // Техника и вооружение: вчера, сегодня, завтра. – 2010. – № 8. – С. 2 – 12.
4. Лялин В.В., Морозов В.И., Пономарев А.Т. Парашютные системы. Проблемы и методы их решения: монография [Текст] / В.В. Лялин, В.И. Морозов, А.Т. Пономарев – М.: Физматлит, 2009. – 576 с.
5. Knacke T.W. Parachute Recovery Systems Design Manual [Текст] / T.W. Knacke – Santa Barbara: Para Publishing, 1992. – 487 p.
6. Жури́н, С.В. Парашютная система с упругим звеном и тандемным разделением груза на две части [Текст] / С.В. Жури́н // Научный Вестник МГТУ ГА. – 2019. – Том 22, № 01. – С. 29 – 38.

УДК 681.625.8

Кириченко А.М., докт. техн. наук, профессор

Завгородній Б.М., аспірант

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький,  
[kyrychenkoam@kntu.kr.ua](mailto:kyrychenkoam@kntu.kr.ua)

### УТВОРЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ 3D-ДРУКУ З ПРОСТОРОВИХ ШАРІВ

Одним із суттєвих недоліків FDM технології друку є низька міжшарова міцність друкованих виробів. Віртуальна 3D-модель для друку FDM технологією умовно нарізається на плоскі шари, з яких потім і формується. Міжшарова міцність такого виробу обумовлена міцністю злипання окремих шарів між собою. Експлуатаційні характеристики таких деталей не дозволяють їх повноцінне використання наряду з виробами, що мають однорідну структуру.

Одним із можливих варіантів вирішення проблеми є друк деталі з просторових шарів. При такому утворенні деталі кожен шар не є плоским, а являє собою об'ємний каркас деталі, який нарощується на деталь у просторі. В результаті, міжшарова міцність майже не впливає на експлуатаційні характеристики деталі, так як шари утримуються разом за рахунок утвореної просторової сітки, що є своєрідним армуванням.



Рис.1 – Приклад формування деталі з плоских а) та просторових б) шарів.

Проведене дослідження навантаження віртуальних деталей, до яких прикладене навантаження величиною 100Н з метою перевірки структури моделей на здатність сприймати навантаження. Далі наведено приклад навантаження віртуальних деталей, утворених з плоских та просторових шарів:



Рис.2 – Результати дослідження навантаження конструктивних елементів деталі надрукованої з плоских шарів а) та надрукованої з просторових шарів б)

Як видно з результатів навантаження, в моделі, утвореній з плоских шарів видно зону деформації та зміну її структурної цілісності, яка відсутня на деталі, утвореній з просторових шарів. В деталі, надрукованої з просторових шарів, утворена структура арматурної сітки забезпечила приріст міцності, сама структура просторової сітки залишилась цілою. Метод утворення друкованих деталей із просторових шарів суттєво підвищує експлуатаційні характеристики таких деталей, дозволяє використовувати їх в промисловості на ряду з аналогічними, отриманими стандартними способами, що суттєво розширює використання технології 3D-друку в промисловості.

#### Список посилань

1. Андрощук Г. О. Адитивні технології: перспективи і проблеми 3D-друку (II частина) / Г. О. Андрощук // Рецензований журнал «Наука, технології, інновації». – 2017. – №2 – с. 29-36.
2. Erkan Gunpinar, Arash Armanfar. Helical5AM: Five-axis parametrized helical additive manufacturing [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.researchgate.net/publication/359252470\\_Helical5AM\\_Fiveaxis\\_parametrized\\_helical\\_additive\\_manufacturing](https://www.researchgate.net/publication/359252470_Helical5AM_Fiveaxis_parametrized_helical_additive_manufacturing)

УДК 621.777.01

Дуванський О.М., аспірант

Чухліб В.Л., докт. техн. наук, професор

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,  
duvansky.alex@ukr.net

#### ЗМІНА ДОВЖИНИ УСТУПУ ПОКОВКИ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ПОЧАТКОВИХ ПАРАМЕТРІВ КУВАННЯ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ КОРПУСІВ ЗАПІРНОЇ АРМАТУРИ

Запірна арматура для транспортування нафто- та газопродукції є одним з найбільш відповідальних вузлів в системі. Запірна арматура працює в умовах високого тиску та агресивному середовищі, що дає нам необхідність використовувати корозійностійку сталь та покращувати міцнісні характеристики деталі [1].

Для виробництва запірної арматури способом кування була застосована циліндрична заготовка з наскрізним отвором зі сталі Х18Н10Т [2]. Було застосовано варіювання таких параметрів, як ступінь деформації, величина подачі та величина внутрішнього діаметру заготовки. При моделюванні процесу виробництва корпусів було отримано форму поковки з відповідними розмірами (рис. 1) [3].

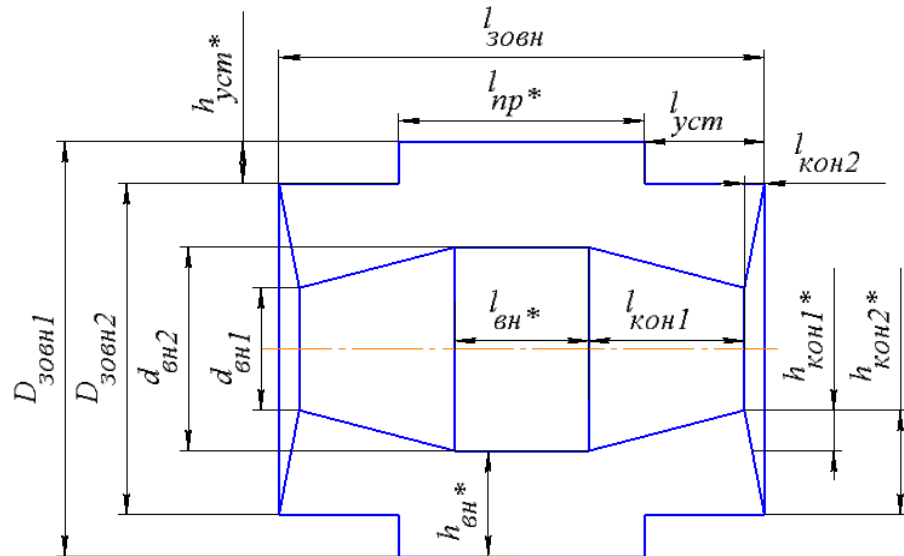


Рис.1 – Ескіз поковки корпусу запірної арматури

При моделюванні було виявлено, що в нас присутні 2 основних осередка деформації. Перший впливає на заков внутрішнього діаметру заготовки, другий – на збільшення довжини поковки. При цьому можна сказати, що метал, який знаходиться в підбойковій зоні, перерозподіляється між цими двома осередками.[4] Для аналізу впливу початкових параметрів кування на кінцеві розміри заготовки було прийнято відношення розмірів деталі та побудовано графічні залежності.

Основним параметром для аналізу збільшення довжини поковки є зміна довжини уступу  $l_{уст}$ .

Тому доцільно прийняти відношення довжини уступу  $l_{уст}$  до загальної довжини поковки  $l_{зовн}$  (вісь ординат). А також будувати графіки відповідно до відношення внутрішнього діаметру  $d_{вн2}$  поковки до зовнішнього діаметру поковки  $D_{зовн1}$  (вісь абсцис). Для подальшого аналізу побудовано графічну залежність даних розмірів від початкових параметрів кування (рис. 2). При цьому синя, помаранчева та сіра лінія означають подачу 100мм, 150мм та 200 мм відповідно.

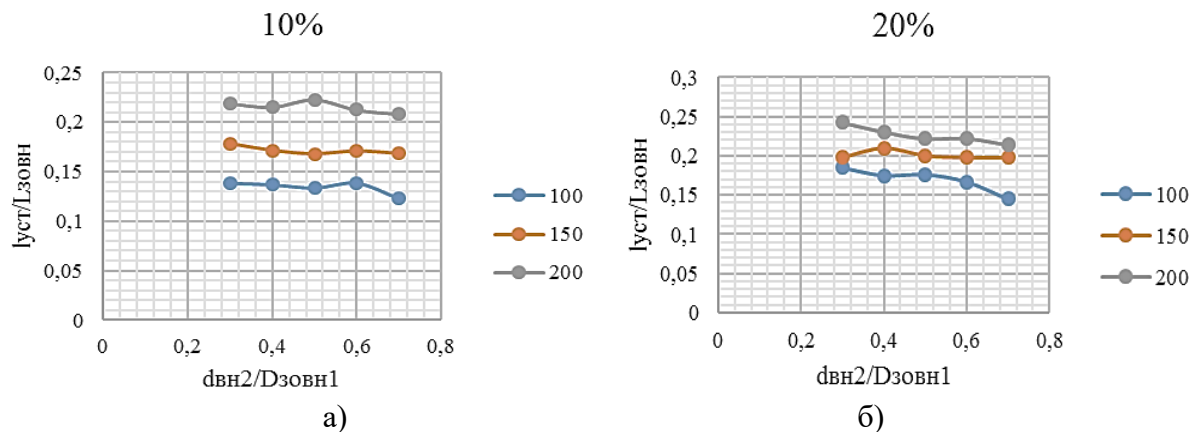


Рис. 2 – Графіки залежності зміни довжини уступу від величини подачі та ступені деформації 10%(а) та 20 %(б).

В загальному з графіків впливає характер зміни величини уступу в залежності від зміни величини подачі. При збільшенні величини подачі також збільшується розмір уступу поковки, який йде на подовження.[5] Також з графіків можна сказати, що при збільшенні внутрішнього діаметру поковки спостерігається поступове зменшення довжини поковки. Проте є і винятки, наприклад, при подачі 100 мм і деформації 10% на третій точці ми бачимо скачок, тобто на внутрішньому діаметрі 500 мм довжина уступу більша, ніж на 400 мм. Все це говорить нам про нерівномірність деформації та досить високу волатильність отриманих параметрів при куванні.

Аналіз графічної залежності параметрів кування дає можливість зробити висновок, що дослідження є цікавим та актуальним, а також потребує більш глибокого вивчення та знаходження нових залежностей, що дозволить створити інтервали, в яких при даних параметрах кування можемо отримати деталь корпусу запірної арматури.

#### **Список посилань**

1. Ionaitis R.R., The concept and examples of renewal and modernization of pipe fittings and reinforcing security/ R.R. Ionaitis // Pipeline valves, and equipment. – 4 (2014) – p.12–20.
2. Shanaurin A.L., He was not only an engineer, scientist, Professor is a Teacher / A.L. Shanaurin // Pipeline valves, and equipment. – 4 (2014) – p.81.
3. Ionaitis R.R. Passive means, systems, security items, Glossary of terms, definitions, and interpretations / R.R. Ionaitis // Pipeline valves, and equipment. – 4(2006) – p.85–87.
4. RE4-163-77, Guidance material, The calculation and application of regulators in systems of automation of technological processes.
5. MKT-ASDM Ltd., Acceptance test reports of fast-acting shutoff valve feed water NG.086-01, 2014.

УДК 621.9.08

**Молчанов В. Ф. , канд. техн. наук, доцент**

**Часов Д. П. , канд. техн. наук, доцент**

**Латишев Д. В. , здобувач**

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське, v\_molchanov@ukr.net

### **ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ НА ШЛІФУВАЛЬНИХ ВЕРСТАТАХ**

На операціях шліфування, широко поширених в машинобудуванні, відбувається кінцеве формування параметрів деталей на точність. Аналіз забезпечення точністю обробки на шліфувальних верстатах показав наявність у шліфованих деталей відхилень від співвісної (ексцентриситету) і радіального биття, обумовлених такими головними причинами, як початкові похибки заготовок, похибки установки їх в пристосуванні, неточність верстата, технологічна спадковість [1-4].

Метою дослідження є підвищення точності обробки деталей на шліфувальних верстатах, шляхом зниження їх радіального биття і ексцентриситету.

Зниження радіального биття і ексцентриситету шляхом підвищення точності верстата, пристосування і зменшення початкових похибок заготовок не завжди дозволяє вирішити завдання стабільного досягнення необхідної точності обробки. Це обумовлено тим, що верстат і настановні елементи пристосування внаслідок їх зносу так чи інакше знижують свої характеристики точності. При використанні високоточного устаткування збільшуються і витрати на обробку. Такий шлях зменшення радіального биття і ексцентриситету шліфованих деталей, як підвищення жорсткості технологічної системи, не завжди ефективний. Це повинно бути обґрунтовано для конкретних умов обробки. Подібна оцінка може бути виконана на основі моделювання з використанням математичних моделей і запропонованого алгоритму для розрахунку параметрів точності деталей [5].

На рисунку 1 графічно виражена закономірність знімання металу з оброблюваної поверхні, що має початкову похибку.

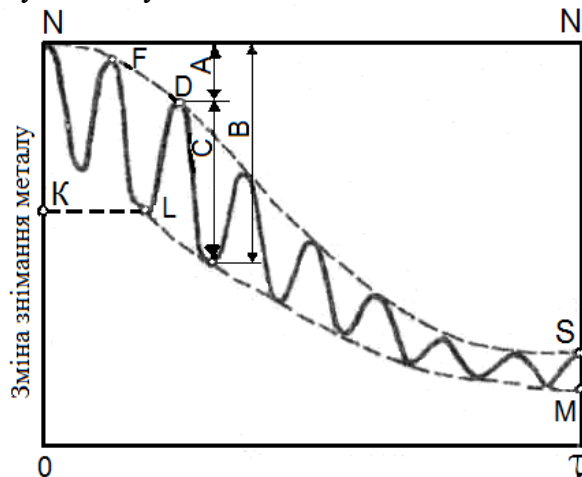


Рис. 1 – Зміна знімання металу і вихідної похибки заготовки в процесі шліфування

Якщо лінію NN представити лінією контакту при першому зіткненні з інструментом, то відрізок A і аналогічні йому виражають змінну величину знімання металу з боку максимального радіус-вектора, а відрізок B - знімання металу з боку мінімального радіус-вектора (криві FS і KLM відповідно). Відстань між цими лініями C є поточним значенням залишкової похибки  $\Delta\rho_i$ , яка може бути вирахована за формулою:

$$\Delta\rho_i = r_{\max i} - r_{\min i}, \quad (1)$$

або

$$\Delta\rho_i = \Delta\rho_o - \left( \sum_{i=1}^n \Delta r_{\max i} - \sum_{i=1}^n \Delta r_{\min i} \right) \quad (2)$$

де  $\Delta\rho_o$  - початкове радіальне биття заготовки;

$\sum_{i=1}^n \Delta r_{\max i}$  - знімання металу з боку максимального радіус-векторів,

$\sum_{i=1}^n \Delta r_{\min i}$  - знімання металу з боку мінімального радіус-векторів.

Аналіз формули (2) вказує про те, що прискорити процес виправлення початкового ексцентриситету або радіального биття можна за рахунок збільшення знімання металу з боку максимального і зменшення з боку мінімального радіус-векторів заготовки. Для цього необхідно створювати при шліфуванні попереднє зміщення осі зовнішньої поверхні заготовки відносно осі обертання шпинделя передньої бабки.

При шліфуванні запропонованим способом перед початком обробки утворюють додаткове зміщення осі зовнішньої поверхні деталі відносно осі обертання шпинделя передньої бабки верстата на величину початкової похибки  $\Delta\rho_o$ . Шліфувати при цьому необхідно до моменту досягнення, рівного за величиною додатково створеному зміщенню осей.

Аналіз і порівняння даних при запропонованому шліфуванні показує, що застосування розробленого способу керування точністю обробки дозволяє прискорити процес виправлення похибок в 2-3 рази в порівнянні із звичайним шліфуванням. Наявність залишкового ексцентриситету деталей після обробки з додатково створеним зміщенням осей обумовлена похибками при проведенні експериментів і виникненням похибок, що утворюються в процесі шліфування.

Для реалізації розробленого способу у виробничих умовах може бути рекомендоване або попереднє сортування заготовок по групах з рівним початковим ексцентриситетом і наступна обробка з постійним додатковим зміщенням осей для кожної із груп, або оснащення верстата системою адаптивного керування.

#### Список джерел

1. Молчанов В.Ф. Методи підвищення точності при механічній обробці / XI Міжнародна науково-практична конференція – Чернігів: НУ «Чернігівська політехніка», 2021. – Т. 1. – С. 112.
2. Молчанов В.Ф. Методи забезпечення точності для умов автоматизованого виробництва / «Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку». Матеріали XIX Міжнародної науково-технічної конференції 01 - 04 червня 2021 року: – Краматорськ: ДДМА, 2021. – С.103-104.
3. Молчанов В.Ф. Аналіз основних напрямів забезпечення точності в автоматизованому виробництві / XII Міжнародна науково-практична конференція – Чернігів: НУ «Чернігівська політехніка», 2022. – Т. 1. – С. 64-65.
4. Molchanov, V.F. (2022). Ensuring accuracy in conditions automated production. The Second Special Humanitarian Issue of Ukrainian Scientists. European Scientific e-Journal, 3 (18). Ostrava: Tuculart Edition. DOI: 10.47451/inn2022-04-03.
5. Латишев Д.В., Молчанов В.Ф. Дослідження керування точністю обробки на шліфувальних верстатах / Збірник наукових праць Міжнародної молодіжної науково-технічної конференції // Заг. ред. С. В. Ковалевського, д-ра техн. наук., проф., and Hon.D.Sc., Prof. Predrag Dašić – Краматорськ : ДДМА, 2023. – 319 с.

УДК 629.7.02:539.67

**Мозговий О.В., канд. техн. наук, доцент**

Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського,  
[mavimfto@gmail.com](mailto:mavimfto@gmail.com)

### ВПЛИВ СТРУКТУРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА РОЗСІЮВАННЯ МЕХАНІЧНОЇ ЕНЕРГІЇ КОМПОЗИТАМИ Al-SiC

Створення нових машин і механізмів, які успішно працюють в екстремальних умовах, неможливо без нових матеріалів. Композиційні матеріали мають досить складну структуру. Як матеріал, що складається з двох або більше різнорідних складових, композит для виконання функції цілісної системи повинен мати міцний зв'язок між всіма компонентами. Порушення такого зв'язку призводить до зменшення міцнісних властивостей композиту, а в деяких випадках до його руйнування. Властивості металічних композиційних матеріалів (МКМ), в значній мірі, залежать від характеристик складових та технологічних режимів їх виготовлення. МКМ алюміній-карбід кремнію (Al-SiC) мають порівняно з традиційними алюмінієвими сплавами більшу міцність і жорсткість та можуть працювати при підвищених температурах [1].

Отримувати необхідні фізико-механічні характеристики майбутніх деталей машин і механізмів можна зміною структури композиту. Дослідження поведінки даного композиційного матеріалу при різних температурно-силових впливах є актуальним. У роботі використано структурно-чутливий метод внутрішнього тертя.

Виготовлення дослідних зразків здійснювалось двома технологіями: гаряче пресування і ливарна технологія. Композит першого типу складається із однонаправлених моно шарів карбідо-кремнієвих волокон, діаметром 100 мкм з плазмовим покриттям алюмінієвим порошком марки ПА-4 (рис. 1). Виготовлення відбувалось методом гарячого пресування при температурі 570 °С та тиску 65 МПа. Другий композит армований частками SiC і отриманий по ливарній технології з подальшою гомогенізацією, пресуванням та термообробкою по режиму матричного сплаву Д16.

Вимірювання розсіювання механічної енергії проводили на оберненому крутильному маятнику (частота  $\approx 1$  Гц), інтервали амплітуд деформації –  $5 \cdot 10^{-5}$  –  $7 \cdot 10^{-3}$ , температур – 20



– 500 °С. Досліджувані зразки мають прямокутний поперечний переріз (1,5х9 мм<sup>2</sup>) і довжину 70 мм.

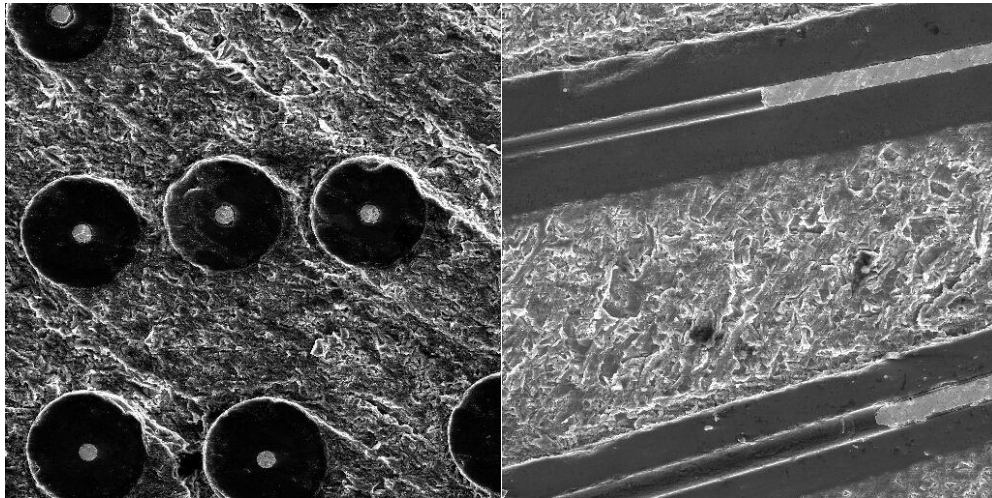


Рис. 1 – Поперечний (ліворуч) і поздовжній (праворуч) переріз композиту Al-SiC

У процесі експлуатації композиційний матеріал алюміній-кремній-вуглець зазнає не тільки стиску і розтягу, а різного роду інших деформацій. В основному, їх можна розкласти на поздовжні, поперечні і крутильні. Одним із важливих механічних параметрів і від якого залежить надійність механічної системи є межа втомлюваності. Важливо знати як буде поводити себе матеріал при навантаженнях і як він може витримати знакозмінні деформації. Поєднавши методи визначення втомних характеристик і внутрішнього тертя можливо отримати важливу інформацію про досліджуваний матеріал.

На рис. 2 представлені амплітудні і температурні залежності внутрішнього тертя композиту обох технологій виготовлення. Величина розсіювання механічної енергії матеріалом, який армований волокнами, більше, ніж матеріалом, який армований частками карбіду кремнію. Це викликано сумарними втратами енергії механічних коливань у матриці, армуючи волокнах і на границі волокно-матриця. А у композиті, який виготовлений за ливарною технологією, частинки карбіду кремнію вносять менший вклад у розсіювання механічної енергії композитом.

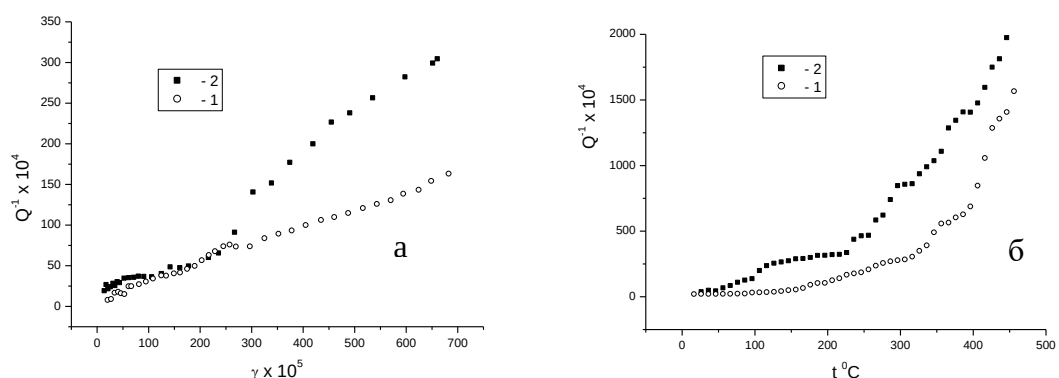


Рис. 2 – Амплітудні (а) і температурні (б) залежності внутрішнього тертя композиту Al-SiC: 1 - криві композиту, який виготовлений по ливарній технології, 2 - виготовлений гарячим пресуванням.

Для амплітудних залежностей внутрішнього тертя (АЗВТ) значне збільшення втрат механічної енергії волокнистих композитів спостерігається для амплітуд деформації більших за  $2,5 \cdot 10^{-7}$ . Кут нахилу до осі абсцис кривої АЗВТ композита, який армований частками SiC, із збільшенням амплітуди не змінюється. Тому для деталей із композиту

потрібно враховувати при певних амплітудах деформації можливі випадки різкого зростання коефіцієнта затухання, що може викликати не спроможність деталі виконувати призначену їй дію.

При збільшенні температури (рис. 2, б) волокна SiC викликають ріст величини демпфуючих властивостей при менших температурах, ніж для композиту, який армований частками SiC.

Встановлено, що макроструктура МКМ і способи їх виготовлення суттєво впливають на розсіювання ними механічної енергії. Результати досліджень вказують на можливість використання механічної спектроскопії для вивчення впливу структури композитів на їх механічні характеристики, що сприятиме розробці наукових засад технології одержання МКМ із підвищеними експлуатаційними характеристиками.

#### Список посилань

1. Вишняков Л.Р. – В кн. Сб-к научных трудов «Исследование в области композиционных материалов». Ин-т проблем материаловедения НАН Украины, Киев, 1995. – С.103 – 112.

УДК 621.77

Єпішкін О. В., асистент

Бень А. М., старший викладач

Національний університет «Запорізька політехніка», [dodgevipercoupe00@gmail.com](mailto:dodgevipercoupe00@gmail.com)

#### ТЕПЛЕ ШТАМПУВАННЯ В АВТОМОБІЛЬНІЙ ПРОМИСЛОВOSTІ

В останні десятиліття автомобільна промисловість зіткнулася з необхідністю розроблення нових технологій, здатних поліпшити ефективність виробництва і якість кінцевого продукту. У цьому контексті тепле штампування (warm stamping) стало однією з найперспективніших та найбільш інноваційних методик, що застосовуються у виробництві автомобільних деталей. Тепер, замість традиційних методів штампування, які вимагають високих температур і подальшого охолодження, тепле штампування пропонує новий підхід, який об'єднує переваги гарячого і холодного штампування. У цьому дослідженні розглянемо низку тез, присвячених теплому штампуванню, щоб краще зрозуміти переваги та перспективи цієї технології в автомобільній промисловості.

1. У процесі теплового штампування заготівля проходить через термообробку, яка здійснюється за умов, аналогічних до традиційного гарячого штампування, за винятком одного важливого аспекту - температура нагріву залишається нижчою від значення рекристалізації, що являє собою мінімальну температуру, за якої сталь повністю перетворюється на аустеніт. У процесі високотемпературної частини теплового штампування матеріал не досягає повного аустенітного стану, що призводить до формування мікроструктури, яка містить мартенсит, ферит, відновлений аустеніт і перліт. У результаті виходить виріб із нижчою міцністю, але високою пластичністю порівняно з повною аустенітизацією.

2. Однією зі значних переваг переходу на нижчі температури в процесі теплового штампування є можливість використання наявних виробничих ліній, призначених для гарячого штампування. Просто знизивши температуру нагрівання в печі.

3. Під час процесу теплового штампування борвмісної сталі можна отримати значення межі плинності від 400 до 700 МПа, межі міцності під час розтягування від 650 до 1200 МПа і повного подовження від 10% до 25%, це ширший діапазон властивостей міцності та вища пластичність, ніж під час звичайного гарячого штампування.

4. Дослідження Могі і співавторів [1] показало, що оптимальна температура нагріву близько 600 °С у процесі теплового штампування забезпечує мінімальний зворотний прогин і товщину оксидного шару, при цьому зберігаючи значну граничну міцність на рівні 980

МПа. Додатково, дослідження Naderi і співавторів [2] було проведене на сталі MSW1200 (із вмістом вуглецю 0.14C-1.71Mn-0.55Cr), розробленій для холодного формування. Після традиційного холодного формування, подальшого загартовування (950 °C, 10 хв), гарячого штампування (950 °C, 10 хв) і теплового штампування (650 °C, 10 хв), було отримано такі механічні властивості (таблиця 1): початкова гранична міцність, гранична міцність і загальне подовження становили приблизно 400 МПа, 640 МПа і 26% відповідно. Тепле штампування демонструвало нижчу граничну міцність і граничну міцність порівняно з традиційним холодним формуванням і гарячим штампуванням, але забезпечувало значно вище загальне подовження. Це вказує на підвищену пластичність матеріалу під час використання теплового штампування, що може бути важливим фактором під час формування виробів зі сталі з підвищеною міцністю.

На закінчення, тепле штампування є перспективною та інноваційною технологією, що застосовується в автомобільній промисловості. Вона об'єднує переваги гарячого і холодного штампування, даючи змогу досягти оптимального поєднання міцності та пластичності у виробах.

Таблиця 1 – Механічні властивості сталі MSW 1200 після різних процесів [2].

| Type of Steel                   | YS (MPa) | UTS (MPa) | TE (%) | UTS × TE (GPa·%) |
|---------------------------------|----------|-----------|--------|------------------|
| Cold forming + quench hardening | 1110     | 1430      | 4      | 5.72             |
| Warm stamping                   | 400      | 930       | 20     | 18.6             |
| Hot stamping                    | 916      | 1300      | 5.5    | 7.15             |

YS: yield strength; UTS: ultimate tensile strength; TE: total elongation; UTS × TE: the product of UTS and TE.

Однією з головних переваг теплового штампування є можливість використання наявних виробничих ліній, призначених для гарячого штампування.

Дослідження показують, що тепле штампування сталі дає змогу отримати широкий діапазон міцнісних властивостей і високу пластичність.

Оптимальна температура нагріву в процесі теплового штампування становить близько 600 °C, що забезпечує мінімальні деформації і товщину оксидного шару за збереження значної граничної міцності. Тепле штампування також демонструє вищу пластичність порівняно з традиційними методами холодного формування і гарячого штампування.

Загалом, тепле штампування являє собою ефективний спосіб поліпшити ефективність виробництва і якість кінцевого продукту в автомобільній промисловості.

#### Список посилань

1. Mori, K.; Maki, S.; Tanaka, Y. Warm and hot stamping of ultra high tensile strength steel sheets using resistance heating. *CIRP Ann. Manuf. Technol.* 2005, 54, 209–212.
2. Naderi, M.; Ketabchi, M.; Abbasi, M.; Bleak, W. Semi-hot stamping as an improved process of hot stamping. *J. Mater. Sci. Technol.* 2011, 27, 369–376.
3. Mori, K.; Abe, Y.; Miyazawa, S. Warm stamping of ultra-high strength steel sheets at comparatively low temperatures using rapid resistance heating. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2020, 108, 3885–3891. [CrossRef]
4. Li, N.; Li, X.; Dry, D.; Dean, T.; Lin, J.; Balint, D. Investigation on the mechanical properties of as-formed boron steels for optimizing process strategies in hot stamping. In *Proceedings of the 14th International Conference of Metal Forming*, Krakow, Poland, 16–19 September 2012.
5. Hance, B.M. Advanced high-strength steel (AHSS) performance level definitions and targets. *SAE Int. J. Mater. Manuf.* 2018, 11, 505–516.
6. Sun, Y.; Wang, K.; Politis, D.; Chen, G.; Wang, L. An experimental investigation on the ductility and post-form strength of a martensitic steel in a novel warm stamping process. *J. Mater. Process. Technol.* 2020, 275, 116387.

7. Chenpeng Tong, Qi Rong, Victoria A. Yardley, Xuetao Li, Jiaming Luo, Guosen Zhu and Zhusheng Shi. New Developments and Future Trends in Low-Temperature Hot Stamping Technologies: A Review. Metals 2020, 27.

8. Haijun Pan, Minghui Cai, Hua Ding, Shenghui Sun, Hongshou Huang & Yisheng Zhang (2019) Ultrahigh strength-ductile medium-Mn steel auto-parts combining warm stamping and quenching & partitioning, Materials Science and Technology, 35:7, 807-814.

9. Chang, Y., Wang, C., Zhao, K., Dong, H., and Yan, J. (October 27, 2015). "Introduction to a Third-Generation Automobile Steel and Its Optimal Warm-Stamping Process." ASME. J. Manuf. Sci. Eng. April 2016; 138(4): 041010.

10. Tong, C.; Rong, Q.; Yardley, V.A.; Li, X.; Luo, J.; Zhu, G.; Shi, Z. New Developments and Future Trends in Low-Temperature Hot Stamping Technologies: A Review. Metals 2020, 10, 1652.

УДК 621.375.826:621

**Романенко В.В., канд. техн. наук, доцент**

**Блощин М.С., канд.техн. наук, доцент**

**Жегет І.М, студент**

Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», romvvv@gmail.com

## **ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ ЛАЗЕРНОГО РІЗАННЯ МЕТАЛІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Лазерне різання різноманітних металевих матеріалів з вуглецевих, неіржавіючих сталей та титанових сплавів товщиною від 1 до 20 мм з одночасною співвісною подачею допоміжного робочого газового струменя в зону різки широко використовується в різних галузях сучасного виробництва. При цьому є вимога до високої продуктивності такої технології та необхідної якості виконання різки, щоб забезпечити зменшені припуски під подальшу обробку крайок отриманих різів або зовсім усунути потребу в такій обробці.

Для інтенсифікації процесу лазерного різання можна запропонувати використання верстатів із двома лазерними головками, які синхронно переміщуються як з однієї сторони листового матеріалу, так і по обидва боки металу, що різеться. Для цього можна використовувати промінь від одного лазерного джерела, що розділяється відповідними дзеркалами. Лазерні джерела можуть працювати і окремо одне від другого. Має місце також схема обробки, в якій обидві головки рухаються синхронно в одному напрямку при застосуванні регулювання відстані між ними. Це дає можливість, наприклад, одночасно виробляти відразу дві однакові деталі. Однак в наведених випадках жорстке з'єднання лазерних головок обмежує функціональну можливість верстату.

Для більшої продуктивності процесу запропонований верстат для лазерної різки металів, що включає станину, поздовжню напрямну, яка кріпиться на цій станині та дві поперечні напрямні, кожна з яких встановлена на поздовжній напрямній і має можливість самостійного руху по цій напрямній за допомогою власного приводу.

На кожній поперечній напрямній монтується лазерний різак з можливістю самостійного руху по цій напрямній за допомогою власного горизонтального та вертикального приводу. До складу верстату входить обчислювальний пристрій, який керує таким приводом лазерного різаків, з можливістю самостійного програмного управління такими переміщеннями кожного з різаків. Крім того, обчислювальний пристрій керує також самостійним горизонтальним рухом поперечних напрямних.

Конструкція верстату, яка показано на рис. 1, передбачає станину 1, на якій встановлена поздовжня напрямна 2. При цьому поздовжніх напрямних може бути і дві. В такому разі вони встановлюються паралельно одна другій.

Як видно з рис. 1, на поздовжню напрямну 2 встановлюються поперечні напрямні 3. Як приклад, на рис. 1 показано дві поперечні напрямні 3. Однак, їх число може бути різним.

Так, можна встановити три поперечні напрямні на одну поздовжню напрямну. При цьому кожна поперечна напрямна монтується на відповідну поздовжню напрямну з забезпеченням самостійного руху по цій напрямній. Таке переміщення виконується власним приводом кожної поперечної напрямної, яким може бути, наприклад, лінійний електродвигун. Крім того, один, два або більше лазерних різаків 4 можуть бути розміщені на кожній поперечній напрямній 3. Кожен з цих різаків може мати свій горизонтальний та вертикальний привід переміщення. Два лазерні різакі 4, як приклад, можуть бути встановлені на протилежних сторонах однієї поперечної напрямної 3. Розрізуваний лист металу 5 кріпиться на верстаті нерухомо.

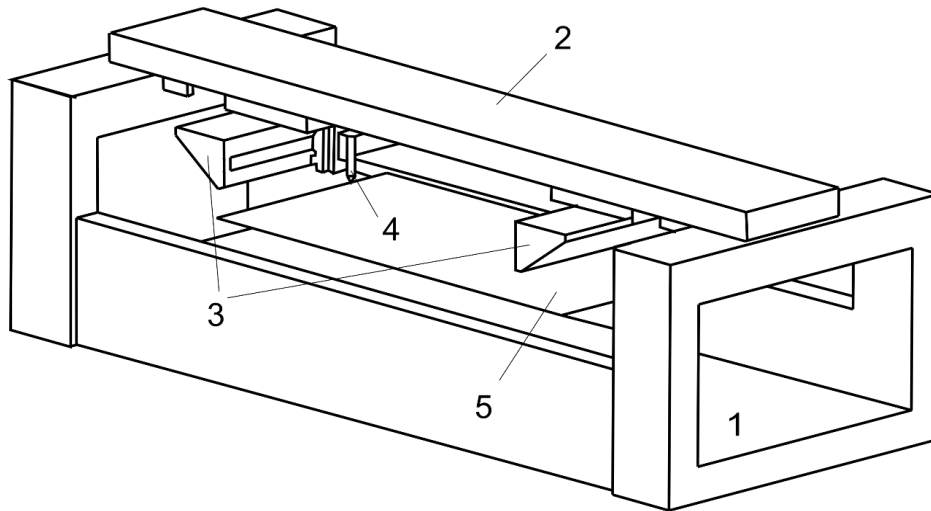


Рис. 1 – Приклад верстату для лазерного різання металів з однією поздовжньою напрямною.

Використання декількох (не менше двох) лазерних різаків 4, кожен з яких має можливість переміщуватися по власній поперечній напрямній 3, дозволяє забезпечити одночасне вирізання контурів кількох різних деталей з різним розміщенням отворів в цих деталях з одного листа металу чи більшої кількості листів, що значно прискорює процес різки складноконтурних деталей з листових матеріалів. При цьому враховуються всі траєкторії необхідних рухів, щоб поперечні напрямні 3 та лазерні різакі 4 ні в якому взаємному положенні не стикалися під час роботи при їх рухах по заданій програмі.

Для реалізації такої одночасної обробки кожен лазерний різак повинен рухатися по своїй траєкторії (за трьома координатами), яка виконується як власним приводом горизонтального і вертикального переміщення різаків, так і приводом поздовжнього руху поперечної напрямної. Всі ці приводи керуються одним або декількома відповідними обчислювальними пристроями з ЧПУ, наприклад, окремими програмованими контролерами або комп'ютером. Всі горизонтальні і вертикальні приводи лазерної головки 4 та всі поздовжні рухи поперечної напрямної 3 підключені до цих обчислювальних засобів, які й забезпечують самостійне програмування виконання кожного з цих переміщень.

Так, наприклад, якщо верстат складається з однієї поздовжньої і двох поперечних напрямних та на кожній поперечній напрямній розміщений один лазерний різак, то програма управління може забезпечити шестикоординатний рух обох лазерних різаків, тобто трикоординатне управління кожним одним лазерним різакі. Звичайно, що розробка конкретного типу програми керування визначається як заданою траєкторією різки по контуру деталі, так і мовою програмування, що застосовується.

Таким чином, наведене конструктивне рішення забезпечує управління одночасним шестикоординатним рухом двох лазерних різаків, що забезпечує розширення функціональності та підвищення продуктивності процесу лазерного розрізання листових металічних матеріалів.

УДК 621.375.826:621

Блощин М.С., канд.техн. наук, доцент

Головко Л.Ф., канд.техн. наук, доцент

Романенко В.В., канд. техн. наук, доцент

Юрченко Ю.В., студент

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,

m.bloshchysyn@gmail.com

## **ЗАСТОСУВАННЯ ЛАЗЕРНОГО ТЕРМОЦИКЛУВАННЯ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЗНОСОСТІЙКИХ ПОКРИТТІВ ДЕТАЛЕЙ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

Стволи стрілецької зброї, є чи не найвідповідальнішою частиною, яка не тільки забезпечує точність пострілу, а і регламентує довговічність ствола загалом. Адже під час кожного із пострілів ствол піддається певному руйнівному зношуванню. Причини, які обумовлюють зношування стволів, умовно можна розділити на три основні групи: хімічного, механічного і термічного характер.

Під час пострілів стрілецької зброї поверхневі прошарки металу каналу ствола піддаються деструктивному впливу високих (до 1000 °С) температур, хімічній дії порохових газів, надвисоких тисків та механічному зношуванню від переміщення по стволу кулі. Це обумовлює руйнування структури, міцності та щільності металу поверхневих шарів, його випалювання та зношування, що в результаті призводить до порушень геометрії робочої поверхні каналу ствола.

Проаналізовано основні проблеми, що виникають при виготовленні і експлуатації стволів вогнепальної зброї та розроблено комбінований процесу, що включає лазерне модифікування поверхневих шарів металевих деталей з подальшим іонно-імпульсним азотуванням, що забезпечить підвищення фізико-механічних властивостей та зносостійкості робочих поверхонь стволів вогнепальної зброї.

Запропоновано два оригінальних процесу підвищення зносостійкості зовнішніх і внутрішніх поверхонь стволів вогнепальної зброї застосуванням комбінованої технології лазерного поверхневого зміцнення і іонно плазмового азотування, а також лазерного термоциклування плазмових покриттів

Проведенні дослідження процесу лазерного нагрівання поверхонь зразків з матеріалу ствола до температур < T<sub>пл</sub>. Визначені умови обробки, при яких в матеріалах з різних сплавів, у тому числі модельному, при лазерному опроміненні формуються високодисперсні мікроструктури з підвищеною густиною розгалужених у просторі дислокацій. Визначена температура кожної точки зразка для будь-якого моменту часу з використанням методу кінцевих різниць. Для лазерного опромінення внутрішньої поверхні трубчастого зразка (ствола) запропонований і розроблений оригінальний пристрій, суть якого полягає в тому, що на циліндричну поверхню матеріалу, що оброблюється направляється збіжний лазерний промінь, при цьому змінюючи кут збіжності пучка, можна отримувати максимальне значення густини потужності.

Таким чином, розроблено комбінований метод лазерної обробки, експериментально визначені умови лазерної обробки поверхонь зразків матеріалу ствола, що забезпечують формування в поверхневому шарі високодисперсних з підвищеною густиною розорієнтованих у просторі дислокацій, що створюють умови для утворення азотованого шару підвищеної глибини.



УДК 621.375.826:621

Романенко В.В., канд. техн. наук, доцент

Блощин М.С., канд.техн. наук, доцент

Жегет І.М., студент

Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», romvvv@gmail.com

## ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ЛАЗЕРНОГО РІЗАННЯ МЕТАЛІВ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ ДОДАТКОВИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ

Лазерне різання металів широко застосовується у різних галузях промисловості на операціях розкрою та розділення таких матеріалів. Подальше вдосконалення технологій лазерного різання, особливо при використанні додаткового потоку технологічного газу (частіше за все, кисню) є актуальною проблемою в сучасному виробництві. Вирішення такої задачі базується на подальшому вдосконаленні процесу лазерного різання матеріалів при розширеному використанні інших традиційних технологічних операцій, що веде до підвищення показників якості отриманих різів.

Традиційний метод контурного лазерного різання має ряд недоліків, до яких слід віднести неперпендикулярність і порівняно високу шорсткість бічної поверхні отриманих різів, короблення поверхні металу, що розрізається, в результаті створення на краях різів зони термічного впливу. Крім того, якість країв різів значно знижується в результаті гратостворення на нижніх поверхнях різів в металах.

Всі ці недоліки можливо значно зменшити, або повністю ліквідувати при пониженому тепловому впливі на метал заготовки за рахунок зниження теплопровідності поблизу кромки розрізання. В попередніх розробках для цього використовували охолодження зони різання за допомогою охолоджуючої рідини, що розпорошувалась разом з потоком технологічного газу. Але таке конструктивне рішення має той істотний недоліком, що така конструкція є досить складною тому, що лазерне обладнання повинно мати механізм подачі і видалення охолоджуючої рідини. При цьому сам процес охолодження недостатньо ефективний. І головне, при цьому значно зменшується корозійна стійкість на краях металу, виготовленого на залізній основі.

Була запропонована комбінована лазерна установка на основі поєднання двох операцій. Спочатку листовий метал піддається механічній активації, що полягає в холодній пластичній деформації, завдяки чому відбувається зниження теплопровідності металу і, як наслідок, зменшення (локалізація) зони термічного впливу в зоні подальшого різання. А надалі виконується контурне лазерне різання попередньо холоднодеформованої металевої заготовки.

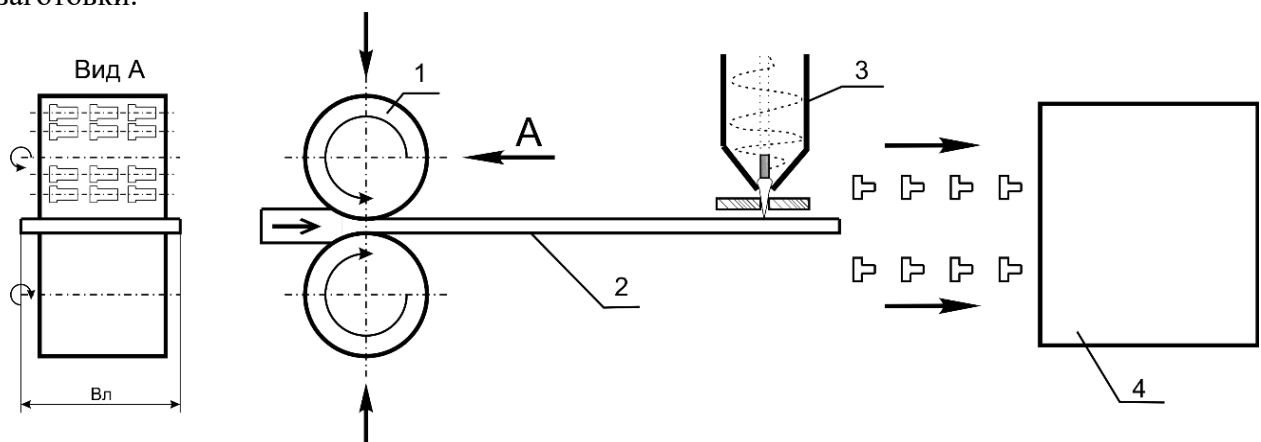


Рис. 1 – Установка для контурного лазерного різання в комбінації з активацією листового металопрокату механічним деформуванням.

Технологічна схема розробленого процесу контурного лазерного різання з попередньою механічною активацією листового металу представлена на рис. 1.

Деформуючі валки 1 здійснюють деформаційне зміцнення листового металу 2 та забезпечують його холодну пластичну деформацію в зонах подальшого розрізання згідно з кресленням. При цьому валки здійснюють різноспрямований обертальний рух. Валки 1 можуть бути оснащені клиноподібними ребрами (вид А), щоб забезпечити локальне зміцнення вузької зони металу по контуру подальшої лазерної різки. Крім того, це може забезпечити високий рівень пластичності відрізаної заготовки, якщо заготовка буде в подальшому піддаватися штампуванню. Надалі, у положенні 3, буде виконуватися контурне лазерне різання. В кінці процесу вирізані заготовки відправляються на місце складування, або подальшої обробки, наприклад, штампування 4.

Експерименти показали, що в результаті розрізання листового металу після деформаційного зміцнення з механічною активацією цих листів ми отримали, в першу чергу, зменшення ширини та клиновидності форми різів після подальшого лазерного розрізання.

Встановлено, що ширина різу в залежності від швидкості розрізання зменшується при застосуванні попередньої деформації металу (рис. 2).

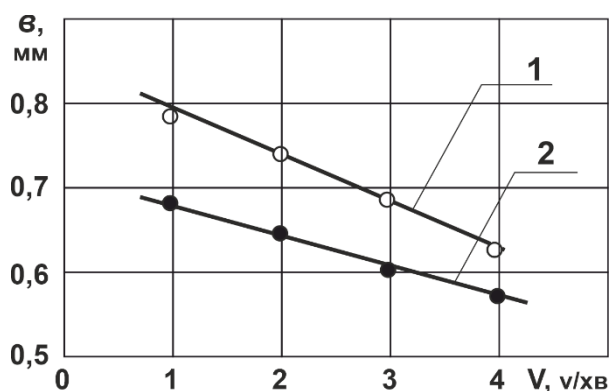


Рис. 2 – Зміна величини ширини різу від швидкості різання без (крива 1) та з попереднім деформуванням металу (крива 2).

Крім того, в верхній частині отриманих різів зникає значне розширення їх форми (рис. 3) при використанні попередньої деформаційної активації металу, що забезпечує зменшення припусків під наступну слюсарну доробку крайок різів.



Рис. 3 – Розширення різу поблизу верхньої поверхні металу при різці без а) та з попереднім деформуванням металу б)

Таким чином, метод контурного лазерного різання з механічною активацією листового металу дозволяє значно зменшити ширину отриманого різу та знизити вартість виробу за рахунок зниження трудомісткості подальших слюсарних робіт в результаті підвищення точності розмірів і зниження клиновидності поверхні різу.

УДК 621.375.826:621

Блощин М.С., канд.техн. наук, доцент  
Головко Л.Ф., док.техн. наук, професор  
Романенко В.В., канд. техн. наук, доцент  
Гаряжа А.О., студент

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,  
m.bloshchyn@gmail.com

## **ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ДЛЯ ВИДАЛЕННЯ ТАТУЮВАНЬ ТА ДЕФЕКТІВ ШКІРИ**

Був час, коли носити на тілі татуювання вважалося модним захопленням, та й зараз чимало людей, які наносять тату, роблячи зображення досить привабливим штрихом своєї індивідуальності. Але, як і все інше, мода проходить, а татуювання залишаються. Зняти тату можна різними методами (висічення татуюваною області, кріохірургія, електрокоагуляція та інші методи), але всі вони залишають грубі рубці (в кращому випадку нормотрофіческие, в гіршому – келоїдні або гіпертрофічні), так як малюнки видаляються лише разом з частиною шкірного покриву. Видалення татуювань лазером – одна з останніх розробок в естетичній медицині і дієвий метод видалення малюнків на шкірі, який по праву вважається найбезпечнішим.

Важко уявити собі сучасний світ без застосування лазерних технологій. Минуло вже понад півстоліття з моменту створення першого в світі лазера - рубінового. Незабаром з'явилися й інші лазери, які широко використовуються в медицині, військовій галузі, інженерії, космічних технологіях, фізиці та косметології. Косметологія, як і сфера краси, набуває все більшої популярності серед людей різного віку, статі, кольору шкіри. І ця популярність змушує удосконалювати лазерні технології, щоб задовольнити навіть найвимогливіший смак.

Було проаналізовано літературні джерела: вивчено теоретичні аспекти можливості застосування лазерного випромінювання для видалення татуювань, особливостей поглинання різними складовими шкіри, видів лазерних систем, що можуть бути застосовані в дерматології.

Лазерне видалення татуювань є актуальною проблемою сучасної дерматології та косметології. З ростом популярності татуювань виникає потреба в ефективних та безпечних методах їх видалення. Застосування лазерних систем для видалення татуювання та дефектів шкіряного покриву дозволяють точно та контрольовано впливати на фарбу (пігмент) татуювань, мінімізуючи травматичний вплив на навколишній шкіряний покрив.

Селективну дію лазера, при якому настає пошкодження підшкірних та внутрішньошкірних утворень, але шкірний покрив залишається без ушкоджень. Для цього необхідний лазер певної довжини хвилі та режиму опромінення. Лазерне випромінювання поглинається пофарбованими структурами, які потім руйнуються і знебарвлюються (ефект фототермоліза або фотокавітації), при якому пігмент татуювання поглинає лазерне випромінювання та нагрівається до такої температури, що руйнує його структуру, не завдаючи при цьому серйозної шкоди оточуючим тканинам. Цей принцип забезпечується шляхом вибору відповідної довжини хвилі лазерного випромінювання та тривалості лазерного імпульсу. Розраховано оптимальні параметри лазерного випромінювання та елементів мобільної лазерної системи.

Пропонується впровадження розробленої лазерної системи у медичні та косметологічні заклади, що сприятиме покращенню якості послуг з видалення татуювання, може сприяти розвитку нових технологій та методів лазерної терапії в дерматології, зокрема у видаленні пігментних змін шкіри, лікуванні рубців та інших захворювань.



Заміряні величини до та після механічної обробки занесені до таблиць 1 та 2

Таблиця 1 – Заміряні величини до механічної обробки.

| Переріз в якому здійснюється вимірювання | Заміряні величини, мм |      |      |      |      |       |       |       |
|------------------------------------------|-----------------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
|                                          | a                     | b    | c    | d    | g    | f     | e     | h     |
| I                                        | 91,48                 | 6,28 | 5,67 | 8,07 | 9,65 | 25,61 | 40,88 | 22,84 |
| II                                       | 91,33                 | 6,24 | 5,55 | 8,10 | 9,93 | 25,75 | 40,58 | 22,70 |

Вимірювання показали значну відмінність розмірів в двох перпендикулярних перерізах, що не дозволяє використовувати деталь за призначенням. Виконано механічну обробку методом точіння та фрезерування для підвищення геометричної точності, та покращення шорсткості поверхонь, процес показано на рис. 3.

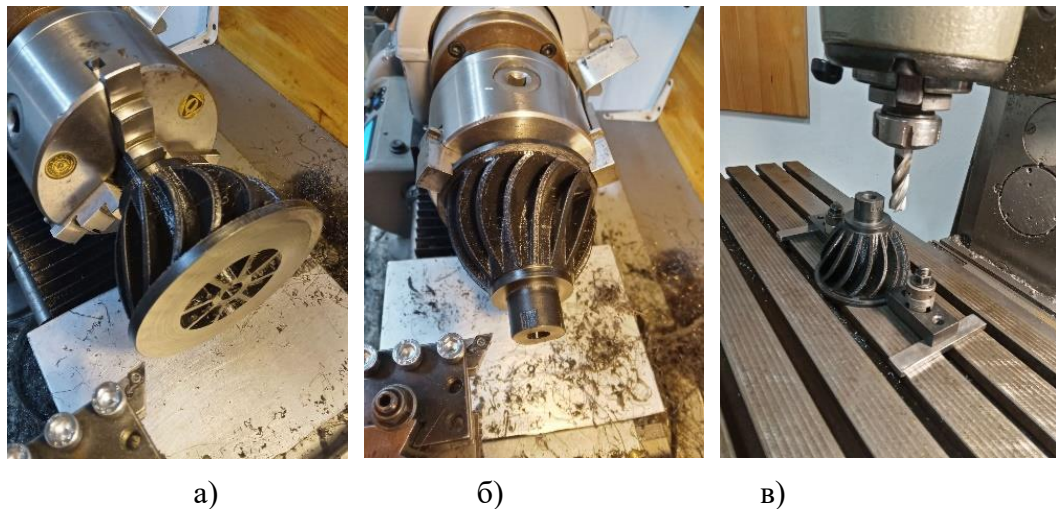


Рис. 3 – Процес механічної обробки. а), б) Точіння, в) Фрезерування

Таблиця 2 – Заміряні величини після механічної обробки.

| Переріз в якому здійснюється вимірювання | Заміряні величини, мм |      |      |       |       |       |       |       |
|------------------------------------------|-----------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                          | a                     | b    | c    | d     | g     | f     | e     | h     |
| I                                        | 88,98                 | 3,92 | 4,96 | 10,01 | 10,99 | 24,43 | 39,49 | 21,89 |
| II                                       | 88,97                 | 3,90 | 4,97 | 9,94  | 10,97 | 24,45 | 39,48 | 21,91 |

Механічна обробка деталей, отриманих за допомогою FDM друку, дозволяє усунути недоліки поверхонь та забезпечити високу якість та точність деталей. Застосування механічної обробки може зменшити кількість відбракованих деталей та збільшити ефективність виробництва. Крім того, впровадження механічної обробки деталей, отриманих за допомогою FDM друку, може допомогти зменшити потребу використання лиття під тиском в дрібносерійному виробництві, оскільки деталі не будуть поступатися по точності та якості.

#### Список посилань

1. Vysloukh, S., Yaryhin, V., GlobaO., & Ivanenko, R. (2021). Improving the quality of large-size parts produced by FDM 3D printing. *COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES: EDUCATION, SCIENCE, PRODUCTION*, (43), 5-11. <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-43-01>.
2. Дослідження якості поверхні при виготовленні моделей на 3D-принтері / Е. Я. Чонка, О. Г. Новаковський, В. В. Серов // Процеси механічної обробки, верстати та інструмент: збірник наукових праць X Всеукраїнської науково-технічної конференції – Житомир: Державний університет «Житомирська політехніка», 2019. – С. 201-202.



УДК 621.91.01

Мазур М.П., докт. техн. наук, професор

Ткачук В.П., канд. техн. наук, доцент

Соколан К.С., канд. техн. наук, доцент

Хмельницький національний університет, tkachukv.p@gmail.com

## ВИЗНАЧЕННЯ РОЗМІРІВ НЕРІВНОСТЕЙ ПРИ ОБРОБЦІ ТОРОВИХ ПОВЕРХОНЬ ДИСКОВИМ БАГАТОКРОМКОВИМ ІНСТРУМЕНТОМ

Для багатокромкових інструментів на висоту дійсних нерівностей впливають, окрім інших, також технологічні фактори – радіальне та осьове биття ріжучих кромek. Тому завдання визначення висоти нерівностей поверхні деталі для способу, що досліджується, вирішується у два етапи: за відсутності та за наявності биття ріжучих кромek інструменту.

Теоретичні нерівності визначаються вздовж тієї координатної лінії (утворюючою або спрямовуючою), яка формується за генераторною схемою. Якщо вектор результуючої подачі  $\bar{S}_p$  (рис. 1) займає довільне положення щодо площин, проходять через утворюючу та напрямну оброблюваної поверхні інструменту, то профіль номінальної поверхні деталі утворюється за генераторною схемою як вздовж твірної, так і вздовж напрямної.

У цьому випадку результуюча висота нерівностей  $R_{z\Sigma}$  у даній точці дорівнюватиме [1]:

$$R_{z\Sigma} = R_{zR} + R_{zr}, \quad (1)$$

де  $R_{zR}$  – висота поздовжніх нерівностей, виміряна на площині напрямної поверхні різання;

$R_{zr}$  – висота поперечних нерівностей, виміряна в площині, що утворюється на поверхні різання

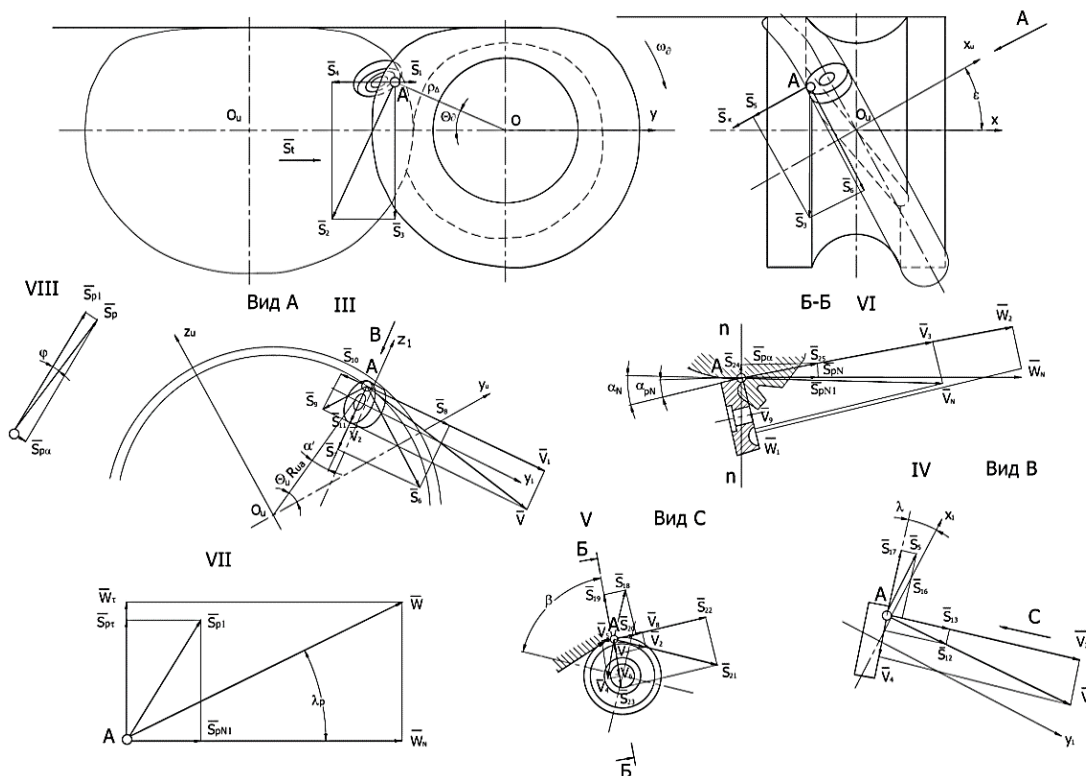


Рис.1 – Схема до визначення товщини зрізаного шару і робочих кутів ріжучої частини при обробці зовнішніх торових поверхонь



У дослідному способі першої з цих площин буде площина Т-Т (рис. 2, а), перпендикулярна до осі  $O_u X_u$  інструменту та віддалена від центру  $O_u$  на відстані  $X_{uA}$ , а друга – є осовою площиною інструменту, нахиленою до площини  $X_u O_u Y_u$  під кутом  $\theta_u$  (рис. 1).

У перерізах площинами Р і Т профіль нерівностей визначається як геометрична фігура, укладена між двома послідовними положеннями відповідної лінії поверхні різання (зміщеними за один цикл різання) та лініями перерізу номінальної поверхні деталі.

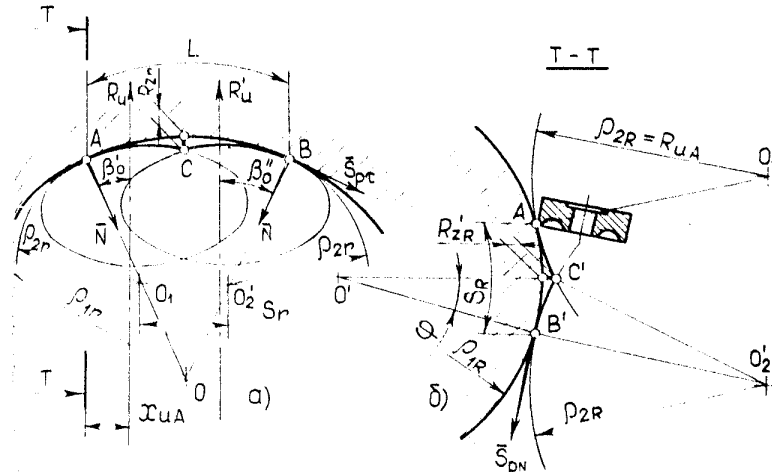


Рис. 2 – Схема до розрахунку висоти поперечних (а) та поздовжніх (б) нерівностей обробленої поверхні

Висота нерівностей оброблювального профілю дорівнюватиме:

$$R_{z\Sigma} = \frac{S_r^2}{8} \left( \frac{1}{\rho_{1r}} + \frac{1}{\rho_{2r}} \right) + \frac{S_R^2}{8} \left( \frac{1}{\rho_{1R}} + \frac{1}{R_{uA}} \right) \cdot \cos \beta'_0, \quad (2)$$

де множник  $(\cos \beta'_0)$  враховує різницю між  $R'_{zR}$ , вимірюної в площині Т і висотою нерівностей  $R_{zR}$  вимірюної по нормалі до номінальної поверхні деталі [1];

$\beta'_0$  – кут між нормаллю  $\bar{N}$  до лінії перерізу номінальної поверхні деталі та віссю  $O_u R_u$  виробляє поверхні інструменту (рис. 2).

Аналіз схеми утворення поперечної нерівності показує, при обробці увігнутої поверхні ( $\rho_{1r} < 0$ ) методом складного обгинання (коли координата профілюючої точки ріжучої кромки змінна) визначення величини  $S_r$ , як довжини відрізка АВ (рис. 2, а) лінії перерізу номінальної поверхні деталі між точками її торкання з поверхнею різання, наводить до значних відхилень розрахункового значення  $R_{zr}$  від дійсних. Відхилення особливо зростають при  $|\rho_{1R}| \rightarrow \rho_{2r}$ . На наш погляд, це пояснюється тим, що на довжину відрізка  $AB = L$  впливає крім  $\bar{S}_{pt}$  також і зміни координати профілюючої точки ріжучої кромки у двох її положеннях ( $\beta'_0 \neq \beta''_0$ ).

#### Список посилань

1. Розробка теоретичних основ та практичне використання термомеханічної моделі обробки пластичних матеріалів [Текст] : автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.03.01 / Мазур Микола Петрович ; Національний технічний ун-т України "Київський політехнічний ін-т". – К., 1999. – 36 с.

УДК 621.91

Калініченко В.В., канд. техн. наук, доцент

Донбаська державна машинобудівна академія, м.Краматорськ, [kww\\_74-5@i.ua](mailto:kww_74-5@i.ua)

## ФОРМУВАННЯ КОМПЛЕКСУ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ УМОВ ПРОЦЕСУ ТОКАРНОЇ ОБРОБКИ НА ВАЖКИХ ВЕРСТАТАХ

Одним із перспективних шляхів підвищення енергоефективності процесів токарної обробки на важких верстатах, що не вимагає значних фінансових витрат на модернізацію верстатних приводів та вузлів, є зниження енерговитрат на перебіг фізичних процесів у зоні різання за рахунок використання енергоефективних умов обробки [1]. Формування комплексу цих умов має спиратися на детальний та всебічний аналіз системи факторів впливу на рівень енерговитрат у зоні різання і враховувати специфіку обробки.

Поєднання вимог високої продуктивності обробки та економного використання енергії при різанні зумовлює використання у якості критеріїв оптимізації високоенерговитратних процесів токарної обробки на важких верстатах показників рівня питомих енерговитрат у зоні різання. Найрозповсюдженішим серед них є питома енергомісткість різання [2, 3], що визначається за формулою:  $e = \frac{A_{\text{різ}}}{V} = \frac{N_{\text{еф}}}{P_{\text{різ}}} = \frac{N_{\text{еф}}}{v \cdot S \cdot t}$ , де  $A_{\text{різ}}$  – робота різання;  $V$  – об'єм зрізаного шару;  $N_{\text{еф}}$  – ефективна потужність різання;  $P_{\text{різ}}$  – продуктивність різання;  $v$ ,  $S$ ,  $t$  – відповідно швидкість різання, подача, глибина різання. Умови процесу обробки, що забезпечують мінімальну величину питомої енергомісткості різання у досліджуваному діапазоні керованих параметрів процесу, вважатимуться енергоефективними.

При побудові оптимізаційної моделі енергоефективної обробки  $e = f(S, v) \rightarrow \min$  передбачають, що енергоефективними мають бути крім керованих (подача  $S$ , швидкість різання  $v$ ), також й інші вхідні параметри моделі. Тому при виборі геометрії різця, форми та схеми кріплення різальної пластини, марки твердого сплаву, покриття слід віддавати перевагу варіантам, які б забезпечували суттєве зниження сили різання і, відтак, питомих енерговитрат у зоні різання, водночас гарантуючи високу надійність інструменту.

Окремо слід зазначити перспективи суттєвого зниження силового навантаження у зоні різання і, відтак, питомої енергомісткості різання, при використанні інструменту з покриттям. Сучасні CVD- та MT-CVD-покриття провідних світових виробників (Sandvik Coromant, Pramet та ін) з міцною основою та раціональним значенням товщини здатні забезпечити сприятливу картину зміни силового навантаження у зоні різання за різних умов обробки, що є серйозним резервом зниження питомої енергомісткості різання.

Суттєве полегшення деформації оброблюваного матеріалу, зниження силового навантаження та питомих енерговитрат у зоні різання може бути забезпечене при обробці із введенням додаткової теплової енергії до зони різання. Прикладом є точіння з електроконтактним нагріванням матеріалу заготовки. Технологічні режими такого нагрівання (сила електричного струму, електрична напруга) при цьому також ввійдуть до системи вхідних параметрів моделі енергоефективного процесу токарної обробки.

### Список посилань

1. Калініченко, В.В. Шляхи вирішення проблеми енергоефективності токарної обробки деталей важкого машинобудування / В.В. Калініченко / Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції 04–07 травня 2019 року / Під заг. ред. В.Д. Ковальова – Краматорськ: ДДМА, 2019. – С. 46.
2. Старков, В.К. Физика и оптимизация резания материалов / В. К. Старков. – М.: Машиностроение, 2009. – 640 с. – ISBN 978-5-94275-460-0.
3. Карпов, А.В. Об оценке энергетической эффективности технологических процессов обработки резанием / А.В. Карпов // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. – 2014. – № 2. – С. 61–68.

УДК 621.7.043

Зінько Р.В., докт. техн. наук, професор

Глобчак М.В., канд. техн. наук

Демчук І.Б., магістр

Національний університет «Львівська політехніка», rzinko@gmail.com

## ВИГОТОВЛЕННЯ БЕЗПОВІТРЯНОГО КОЛЕСА З ЕЛАСТИЧНОГО ПОЛІУРЕТАНУ

Безповітряні шини набувають все більшого поширення і є революційним кроком у напрямку підвищення безпеки автомобілів і живучості військової автомобільної техніки [1]. Але порівняно невеликий досвід експлуатації таких шин не дозволив накопити достатньої кількості наукових робіт про теоретичні узагальнення і конструкцій для визначення їх оптимальності. На кафедрі проектування машин та автомобільного інжинірингу НУ «Львівська політехніка» проводяться дослідження експлуатаційних властивостей безповітряних шин з еластичних поліуретанів для легкових автомобілів (рис.1). Тому необхідні нові способи виготовлення безповітряних колісних рушіїв і оригінальні технологічне устаткування і оснащення [2].

Розробка технології виготовлення коліс з безповітряними шинами включала рішення наступних завдань:

- розробку способу виготовлення коліс з безповітряними шинами і конструкції матриць для їх литва з еластичних поліуретанів;
- розробку конструкції камери полімеризації для здійснення процесу полімеризації поліуретанових сумішей при виготовленні безповітряних шин;
- підбір і виготовлення устаткування, оснащення і інструменту і організація дрібносерійного виробництва безповітряних колісних рушіїв в лабораторних умовах;
- підбір поліуретанових еластомерів і виготовлення натурних зразків коліс з безповітряними шинами для конкретної моделі автомобіля.

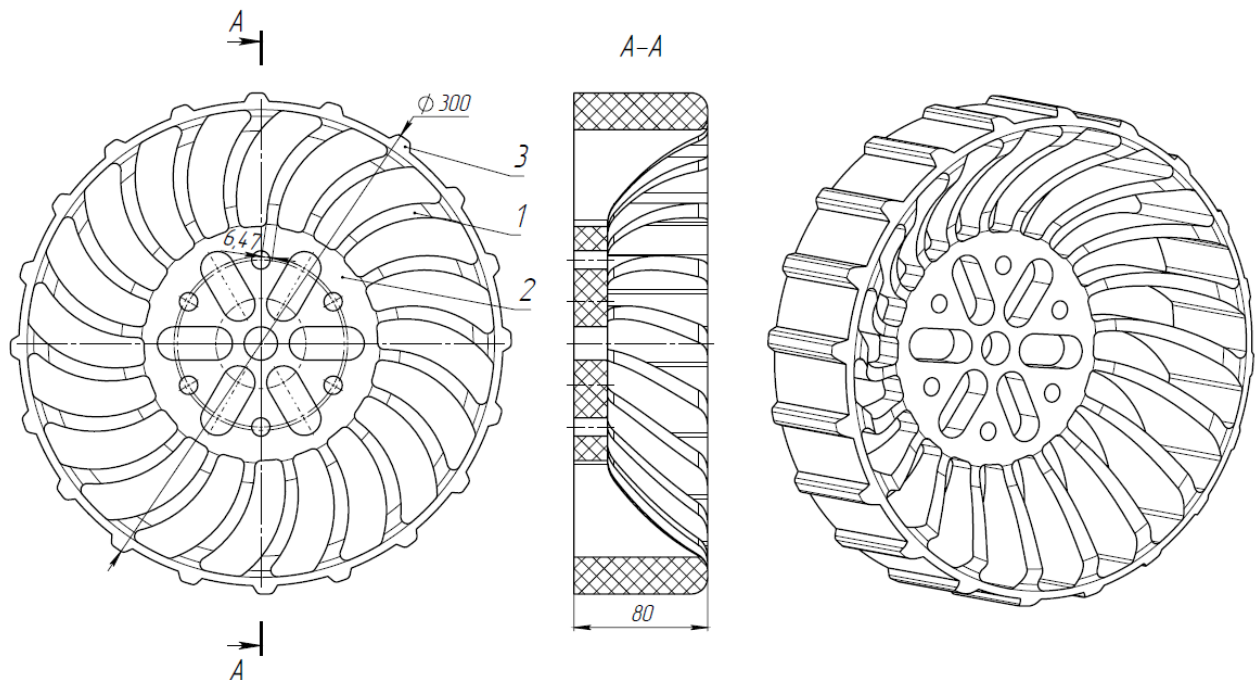


Рис.1 – Автомобільне колесо з безповітряною шиною з еластичних поліуретанів:  
1 – гнучкі спиці; 2 – дискове колесо з глибоким ободом; 3 – протектор

Виготовлення натурних зразків коліс з безповітряними шинами здійснювалося з використанням устаткування, оснащення і інструменту: ливарних матриць, камери полімеризації, теплової гармати, електричної плити одноконфорки, електронних ваг, дриля-міксера та ін. Для формування натурних зразків безповітряних шин була розроблена і виготовлена ливарна матриця з дерева, оскільки воно дешеве, легко обробляється, має достатню міцність. На рис. 2 наведено загальний вигляд ливарної матриці, яка застосовувалася для виготовлення перших натурних зразків безповітряних шин.

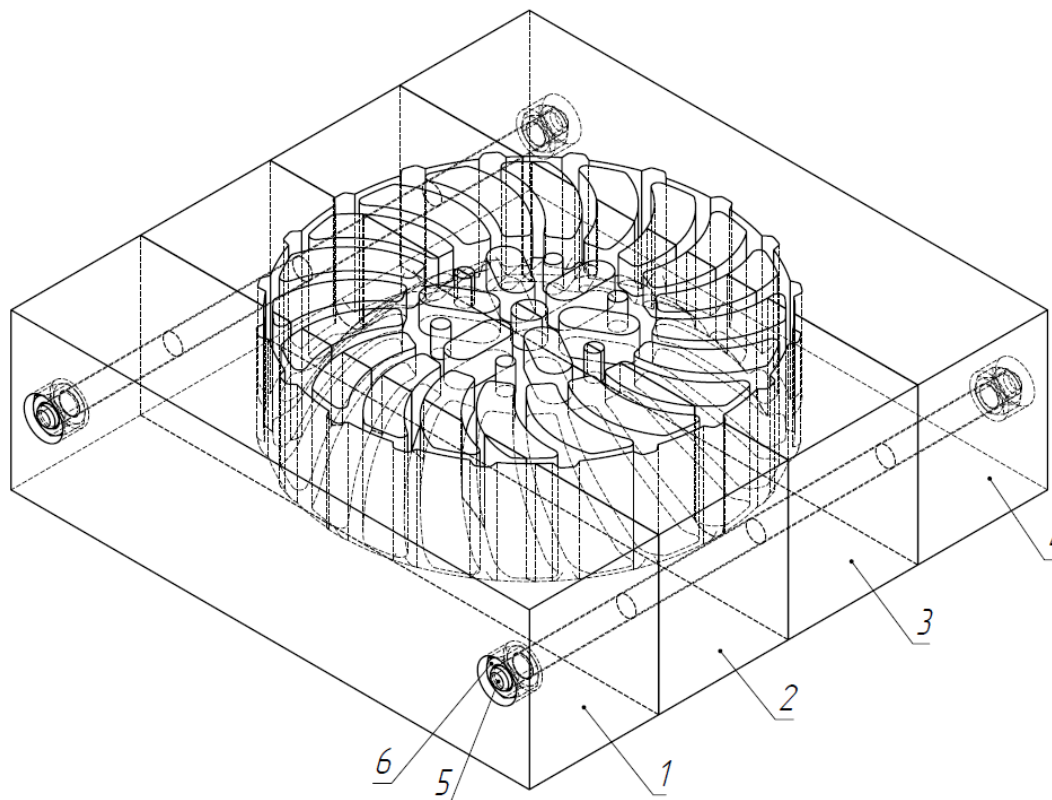


Рис. 2. – Матриця ливарна: 1 – брус 1; 2 – брус 2; 3 – брус 3; 4 – брус 4; 5 – шпилька M14x400; 6 – гайка M14

Конструктивні елементи матриці були виготовлені на деревообробному верстаті з числовим програмним управлінням з дубових брусів розмірами 100x100x400 мм і металевих шпильок. Бруси матриці 1, 2, 3, 4 з'єднані, шпильками 5, які проходять через бруси та затягнуті гайками. Матриця виконана розбірною для полегшення витягування форми. Зовнішній діаметр колеса 300 мм і сумарна висота 80 мм визначають габаритні розміри матриці, які становлять 400x400x100 мм. Внутрішня поверхня корпусу призначена для формування протектора безповітряної шини.

На даному етапі досліджень розроблена технологія виготовлення коліс з безповітряними шинами. Вона містить нові способи виготовлення безповітряних коліс і оригінальні технологічне устаткування.

#### Список посилань

1. Automobile portal: vopros-otvet [Electronic resource]. URL: <http://vopros-avto.ru/chto-luchshe-kamernye-ilibeskamernye-shinyirazbiraemsya> (date of application: 19.12.20 22).
2. Roman Zinko, Oleh Polishchuk, Igor Demchuk, Olexsandr Shpak, Joanna Wilczarska Research on a tubeless tire for a mobile robot Matec web of conferences 20th international conference diagnostics of machines and vehicles “Hybrid multimedia mobile stage” Bydgoszcz-poledno, Poland, December 1-2, 2023 Volume 375 (2023). С. 1-11. <https://doi.org/10.1051/matecconf/202337501002>.

УДК 621.398

Кошовий М.Д., докт. техн. наук, професор

Національний аерокосмічний університет «ХАІ ім. М.Є. Жуковського», [kafedraapi@ukr.net](mailto:kafedraapi@ukr.net)

Ащепкова Н.С., канд. техн. наук

Дніпровський національний університет ім. О. Гончара, [ashchepkova.ftf.dnu@gmail.com](mailto:ashchepkova.ftf.dnu@gmail.com)**ДИСТАНЦІЙНЕ КЕРУВАННЯ АВТОНОМНИМ МОБІЛЬНИМ РОБОТОМ**

Одним з найбільш актуальних завдань робототехніки в Україні є виявлення, транспортування та утилізація вибухонебезпечних об'єктів. Перспективним напрямком підвищення ефективності розмінування територій та споруд є застосування автономних мобільних роботів (АМР) з дистанційним керуванням. Побудова конструкції АМР за агрегатно – модульним принципом дозволяє замінити навісне обладнання і підлаштуватися до змін оперативної обстановки (рис.1).

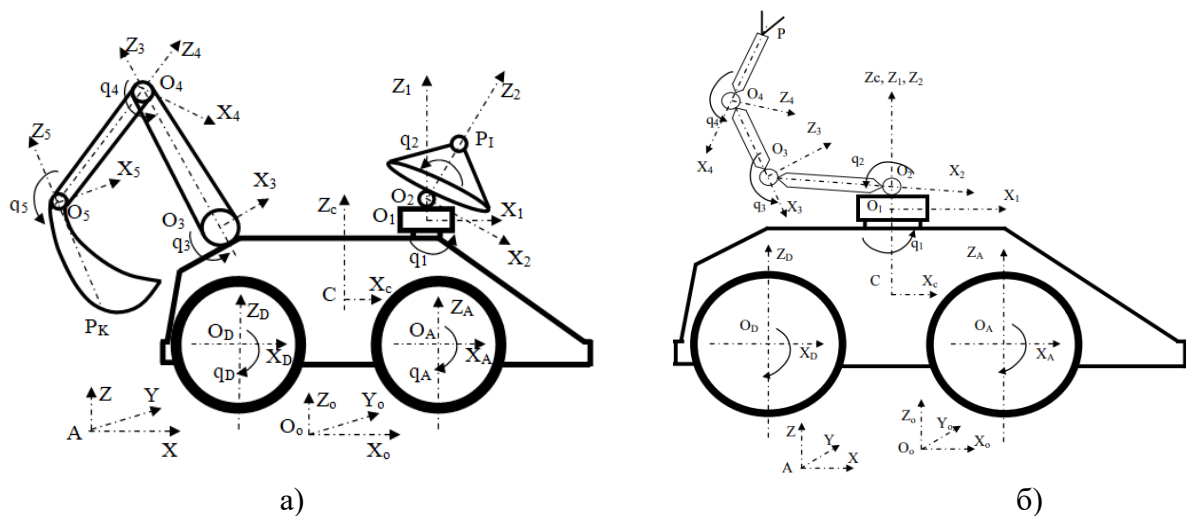


Рис. 1 – Схема конструкції АМР: а) з навісним обладнанням; б) з маніпулятором.

Технологічні операції АМР має виконувати в наперед невизначених умовах робочого простору. Ефективність застосування АМР залежить від точності інтерпретації команд оператора, швидкодії та захисту бездротового каналу зв'язку. При роботі в екстремальних або наперед не визначених умовах зовнішнього середовища мобільні роботи можуть мати декілька каналів зв'язку з різними методами передачі та інтерпретації команд.

Розглянуто три варіанти забезпечення бездротового каналу зв'язку для дистанційного керування мобільним роботом: Bluetooth [1, 3], Zigbee [2, 3] та Wi-Fi [3]. При імітаційному моделюванні дистанційно керований АМР виконував рух уздовж заданої траєкторії, поворот на місці та переміщення між заданими точками з обходом перешкод.

Аналіз показує, що перспективними напрямками досліджень є розробка багатоканального керування та захист каналів зв'язку з мобільним роботом.

**Список посилань**

1. P. N. Yadav, K. H. Wankhade, and R. A. Khan. Design and Development of Glove Based Gesture Controlled Robot. International Conference on Inventive Communication and Computational Technologies (ICICCT), Coimbatore, India, 2017, pp. 2010-2013, doi: 10.1109/ICICCT1.2017.8343303.
2. J. A. Kannathal and N. Shanthi. Gesture Control of a Robot Using a Flexible Data Glove. IEEE Sensors Journal, vol. 19, №. 8, pp. 3124-3130, 2019, doi: 10.1109/JSEN.2019.2900001.
3. W. Li, Y. Li, M. Cao and X. Huang, A Survey on Gesture Recognition-Based Human-Robot Interaction, in IEEE Access, vol. 9, pp. 17719-17737, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3055459.

УДК 621

Руденко Н.В., канд. техн. наук, доцент

Руденко О.Л., магістр

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського

«Харківський авіаційний інститут», n.rudenko@khai.edu

## ОСОБЛИВОСТІ ФАЗОВИХ ТА СТРУКТУРНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ ПРИ ЛАЗЕРНОМУ НАГРІВАННІ

Автозагартування – одна з істотних переваг лазерного зміцнення сталей, чавунів та інших сплавів. Внаслідок високої теплопровідності металів і сплавів, оброблюваних лазерним випромінюванням, швидкість відведення тепла виявляється вищою за критичну швидкість загартування не тільки для середньовуглецевих і високовуглецевих сталей, але і для сталей з низьким вмістом вуглецю.

Одним із найбільш зручних модельних об'єктів для вивчення особливостей фазових та структурних перетворень при лазерному нагріванні є вуглецева електродна сталь У8.

Рівноважна структура цієї сталі складається з перліту і не містить надлишкового фериту, характерного для доевтектоїдних сталей. У той же час сталь У8 не має у своїй рівноважній структурі вторинного цементиту, який характерний для заевтектоїдних сталей. Тому фазові перетворення при нагріванні сталі У8, у тому числі імпульсному та локальному, відрізняються простотою. По суті, у сталі У8 є лише одна – нижня критична точка  $A_{c1}$ . Це відіграло певну роль широкому поширенні лазерного зміцнення сталі У8 [1], [2].

У зоні нагрівання сталі У8 також розрізняють два шари. Перший нагрівався до розплавлення і має дендритно-стовпчасту структуру. Вторинна структура складається з мартенситу та залишкового аустеніту. Кількість залишкового аустеніту в сталі У8, підданої лазерному гартуванню, коливається в широких межах від 5 до 70 % [3], [4]. У той же час мікротвердість першого шару дуже висока і становить 8300 ... 8800 МПа. Пояснюється це, очевидно, низкою причин:

- фазовим наклепом аустеніту внаслідок об'ємного ефекту мартенситного перетворення;
- перетворенням залишкового аустеніту дефектами кристалічної будови.

У момент дії імпульсу лазерного випромінювання у другому шарі відбувається повна фазова перекристалізація з утворенням аустеніту. Однак, ступінь його гомогенізації виявляється суттєво різним у верхній та нижній частинах шару. При наступному автозагартуванні в нижній частині шару утворюється менш однорідний за складом мартенсит, внаслідок чого твердість тут виявляється нижчою, ніж у верхній частині того ж шару.

### Список посилань

1. Sidashov A. V. et al. Study of the phase composition and tribological properties of carbon tool steels after laser surface hardening by quasi-CW fiber laser //Surface and Coatings Technology. – 2020. – Т. 385. – С. 125427.
2. Головкин Л. Ф., Фарзад Б., Хамед Х. Особливості процесу лазерного зміцнення інструментів для обробки матеріалів. – journals.khnu.km.ua
3. Wani A. M. et al. Simulation of laser hardening process of EN8 and EN24 steel //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing LLC, 2022. – Т. 2469. – №. 1. – С. 020003.
4. Хижняк В. Г., Кіндрачук М. В., Загребельний В. В. Комбінований метод поверхневого зміцнення сталі Р6М5 азототитануванням, азотохромуванням та дискретною лазерною обробкою // Problems of Tribology. – 2015. – Т. 78. – №. 4. – С. 99-104.



УДК 62-231.3:621.313.8; 621.9.04

Яглінський В.П., докт. техн. наук, професор

Гутиря С.С., докт. техн. наук, професор

Національний університет «Одеська політехніка», [v.p.yaglinskiy@opu.ua](mailto:v.p.yaglinskiy@opu.ua)

Аніченко А.К., студент

Одеський національний технологічний університет

## ОРІЄНТАЦІЯ РУХУ ПЛАТФОРМИ ГЕКСАПОДУ ЗА ДОДАТКОВИМИ ВЕКТОРАМИ

Екіпажам мобільних транспортних об'єктів необхідна ретельна підготовка для прийняття швидких і правильних рішень щодо утримання курсу та миттєвих реакцій щодо зміни руху в екстрених умовах. Самими ефективними є повнопілотні авіатренажери-гексаподи подвійного призначення (рис. 1) [1]. Гексапод має рухому платформу 1, нерухому основу (базис) 2 і шість рухомих ланок змінної довжини 3, що зв'язані нерухомими  $A$  та рухомими  $B$  шарнірами (рис. 2) [2]. Орієнтований рух платформи характеризується рухом полюса  $C$  та трьома додатковими векторами  $CC_1$ ,  $CC_2$ ,  $CC_3$ , тобто точками  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ , які не лежать в одній площині (рис. 2). В нерухомому координатному базисі координати таких точок наступні:

$$\left. \begin{aligned} x_C &= x_C(t); \\ y_C &= y_C(t); \\ z_C &= z_C(t); \end{aligned} \right\}, \quad \left. \begin{aligned} x_{C1} &= x_C + a; \\ y_{C1} &= y_C; \\ z_{C1} &= z_C; \end{aligned} \right\}, \quad \left. \begin{aligned} x_{C2} &= x_C; \\ y_{C2} &= y_C + b; \\ z_{C2} &= z_C; \end{aligned} \right\}, \quad \left. \begin{aligned} x_{C3} &= x_C; \\ y_{C3} &= y_C; \\ z_{C3} &= z_C + c; \end{aligned} \right\}. \quad (1)$$

Розрізняють рух платформи: без просторової орієнтації – задане тільки перше рівняння системи (1); з частковою орієнтацією – за одним чи двома додатковими векторами, задані перші два або три рівняння системи; з повною орієнтацією платформи – задані всі рівняння системи. Змінні величини  $a, b, c$  приводять до кутів Ейлера-Крилова.



Рис. 1 – «Повнопілотний» авіатренажер-гексапод

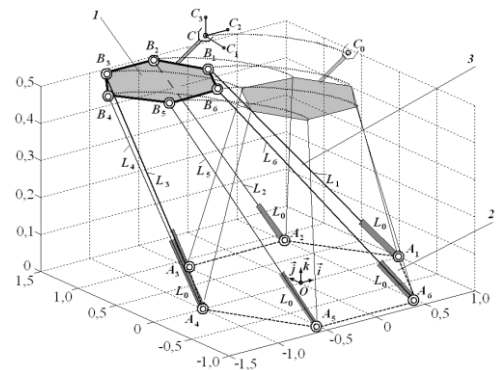


Рис. 2 – Схема руху гексаподу

Для формування рівнянь руху (1) використано метод тактових циклограм: зміну координати  $x_C$  задають циклограмою з ділянками розгону, рівномірного руху та гальмування, а інші визначають за видом траєкторії полюса платформи та орієнтації, а саме:

$$x_C = x_C(t); \quad y_C = f_1(x_C); \quad z_C = f_2(x_C); \quad a = f_3(x_C); \quad b = f_4(x_C); \quad c = f_5(x_C). \quad (2)$$

Рівняння (2) трансформуються в матрицю перетворення  $D$  координат точок платформи. Довжини штанг визначено як відстань між центрами шарнірів штанг гексаподу. Після відрахування початкових довжин  $L_0$  отримано рівняння руху гексаподу в  $L$  координатах – у вигляді зміни довжин штанг, які саме і спричиняють орієнтовний рух гексаподу.

### Список посилань

1. Яглінський В.П., Гутиря С.С., Ал-Обайді А.С., Фелько М.Ф. Моделювання акселераційної дії на екіпажі мобільних машин. Технологічні комплекси. Луцьк, 2014, № 2 (10). -С. 99-107.

2. Yaglinsky, V.P., Rost, S., Chlizov, D.M. (2008). Kinematics of robots with parallel structure. *MOTROL, Motorization and Power Industry in Agriculture. Lublin. Vol. 10A.* 105-114.

УДК 62-231.3:621.313.8

Оборський Г.О., докт. техн. наук, професор  
Яглінський В.П., докт. техн. наук, професор  
Гутиря С.С., докт. техн. наук, професор

Національний університет «Одеська політехніка», [v.p.yaglinskiy@op.edu.ua](mailto:v.p.yaglinskiy@op.edu.ua)

## СИЛОВІ ДІАГРАМИ ДЕМПФЕРНИХ СИСТЕМ ГЕКСАПОДУ

Підвищення технічного рівня конструкцій гексаподу обґрунтовано застосуванням демпферного пристрою на основі сучасних серійних конструкцій амортизаторів, що мають широке застосування у машинобудуванні. Найменш матеріаломісткими й найбільш компактними при однаковій миттєвій потужності є сучасні конструкції гідропневматичних амортизаторів (ГПА), що забезпечують можливість регулювання робочих характеристик і стабільність у широкому діапазоні частоти коливань [1]. Особлива роль припадає на демпферні системи під час подолання транспортним засобом перешкод та виконання складних маневрів (рис. 1). Віброударні робочі процеси в ГПА характеризуються двома ділянками (рис. 2) [2]: етап стиску, відповідний до проходження рідини через калібровані отвори з коефіцієнтами опору  $\eta_{11}$  й  $\eta_{12}$ ; етап розтягання, відповідний до роботи розвантажувальних клапанів прямого й зворотного ходу з коефіцієнтами опору  $\eta_{21}$  й  $\eta_{22}$ . У позначеннях коефіцієнтів опору  $\eta$  перший індекс вказує на режим роботи ГПА (1 – стиск; 2 – відбій); другий – на ділянку силової характеристики (1 – початковий; 2 – клапанний). Визначені граничні значення швидкостей ділянково-лінійних інтервалів, коефіцієнтів сил опору на етапах стиску й відбою, а також максимальні значення сил опору [3].

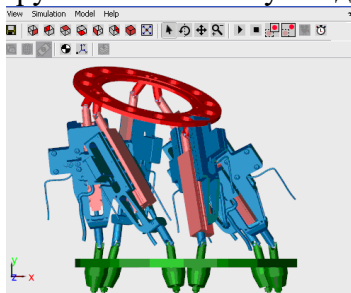


Рис. 1 – Фрагмент візуалізації виконання гексаподом маневру типу «тангаж» з кутом  $30^\circ$

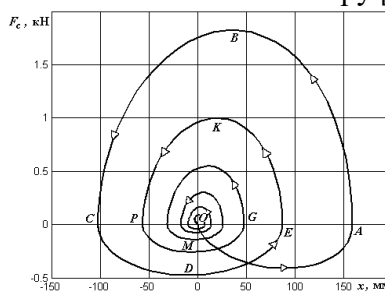


Рис. 2 – Силова діаграма демпферної системи гексаподу:  $OA$  – фаза удару,  $ABC$  – фаза відбою,  $CDE$  – фаза стиску,  $EKP$  – фаза відбою,  $PMGO$  – рух до зупинки,  $F_c$  – сила опору,  $x$  – переміщення штоку гальмівного циліндра

У якості критеріальних показників роботоздатності демпферної системи запропоновано: коефіцієнт перевантаження, тривалість етапу повного відновлення, коефіцієнт асиметрії силової характеристики та коефіцієнт нелінійності силової характеристики на етапі стиску.

Модель демпферної системи відображена за припущенням щодо форми ударної сили у вигляді півхвилі синусоїди. Використовуючи метод припасовування, отримано розв'язок нелінійних диференціальних залежностей. Сформовано Парето-оптимальну множину значень критеріальних коефіцієнтів технічного рівня демпферної системи гексаподу [4].

## Список посилань

1. Бачинський, В. В., Ярмолук В. М. Оцінка системи рухомості тренажерів бойових машин / 36. наук. пр. Харківського ун-ту Повітряних Сил. – 2010. – № 1(23). – С. 137-141.
2. Reimpell J., 1989: Fahrwerktechnik: Radaufhängungen. Vogel-Buchverlag, Würzburg: 328.
3. Gutrya S. et al., 2004: Serviceability function of the contacting seal for hydropneumatic cylinder // MOTROL, Lublin, 2004: 97-100.

4. Gutrya, S.S., Yaglinsky, V.P., Bezuglenko, O.U. (2004). Multi-criterion optimization functional trajectories of industrial robots. *Annals of DAAAM International, Vienna*, 37-38.

УДК 621.7, 617-7

Пасічник В.А., докт. техн. наук, професор

Бурбурська С.В., аспірант

Лашина Ю.В., канд. техн. наук

Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського»,

[y.lashyna@gmail.com](mailto:y.lashyna@gmail.com)

ТОВ «Остеоніка», м. Львів

## МОДЕЛЮВАННЯ І АДДИТИВНЕ ВИГОТОВЛЕННЯ ХІРУРГІЧНИХ НАВІГАТОРІВ ДЛЯ КАСТОМНИХ ОРТОПЕДИЧНИХ ІМПЛАНТАТІВ

Сучасні адитивні технології відкривають нові можливості економічно доцільного виготовлення одиничних виробів екстремально складної геометрії, що в свою чергу створює умови для поширення використання індивідуальних ортопедичних імплантатів замість стандартизованих виробів того ж призначення [1]. Виготовлення кастомних ортопедичних імплантатів є комплексною задачею, для вирішення якої використовується міждисциплінарний підхід, що потребує взаємодії фахівців в різних галузях, зокрема медицини, автоматизованого проєктування, адитивного і субтрактивного виробництва та управління [2]. При цьому можна виділити три ключові бізнес-ролі: медичні послуги, розробка, виробництво. Ресурси (*Resources – R*), необхідні для реалізації виробництва кастомного імплантату нами були розділені на три групи: людські (*Human Resources – H*), інформаційні (*IT Resources – I*) та матеріальні (*Material Resources – M*).

Важливою підзадачею при розробці кастомних імплантатів є конструювання і виготовлення хірургічних навігаторів. Ці пристрої використовуються для визначення положення та обмеження переміщення різального інструменту під час виконання хірургічної операції. Особливістю хірургічних навігаторів є те, що вони розробляються під конкретний випадок і є одноразовими [3]. Наприклад, пристрій, показаний на рис. 1, розроблений Лабораторією біомедичної інженерії «Osteonica» [4] дозволяє визначити необхідну траєкторію переміщення інструменту при свердлінні отворів і обмежити хід свердла. Також в конструкції пристрою реалізовано визначення положення і обмеження робочого ходу хірургічної пилки. Кріплення пристрою реалізується за допомогою шпиль, які встановлюються в спеціальні отвори.

Метою дослідження є аналіз ресурсів, необхідних для розроблення й виробництва хірургічних навігаторів для кастомних імплантатів як частини загальної комп'ютерно-інтегрованої моделі, придатної для вирішення задач оптимізації за критеріями часу або вартості.

Проектування хірургічного навігатора виконується на основі тривимірної моделі імплантату, а також вихідних даних щодо проведення хірургічної операції, отриманих від медичного закладу. Множина ресурсів, необхідних для реалізації цієї підзадачі може бути представлена наступним чином:  $R_{D1} = \{H_D^{CAD}, I_{SW}^{CAD}, I_{Kn}^{DB}\}$ , де

$H_D^{CAD}$  – людський ресурс, інженер-конструктор;

$I_{SW}^{CAD}$  – інформаційний ресурс, система тривимірного моделювання (наприклад, Autodesk Fusion 360);

$I_{Kn}^{DB}$  – інформаційний ресурс, а саме: «Робоча інструкція з проєктування хірургічних шаблонів, згідно вимог Технічного регламенту щодо медичний виробів».

Тривалість виконання задач:  $T_{D1}.time = H_D^{CAD}.time$

Вартість використання ресурсів:  $T_{D1}.cost = H_D^{CAD}.cost + I_{SW}^{CAD}.cost + I_{Kn}^{DB}.cost$ .

Де загальна вартість використання ресурсу визначається як добуток обсягу його споживання  $Resource.amount$  і вартості його використання в одиницю обсягу  $Resource.rate$ :

$$Resource.cost = Resource.amount \times Resource.rate$$

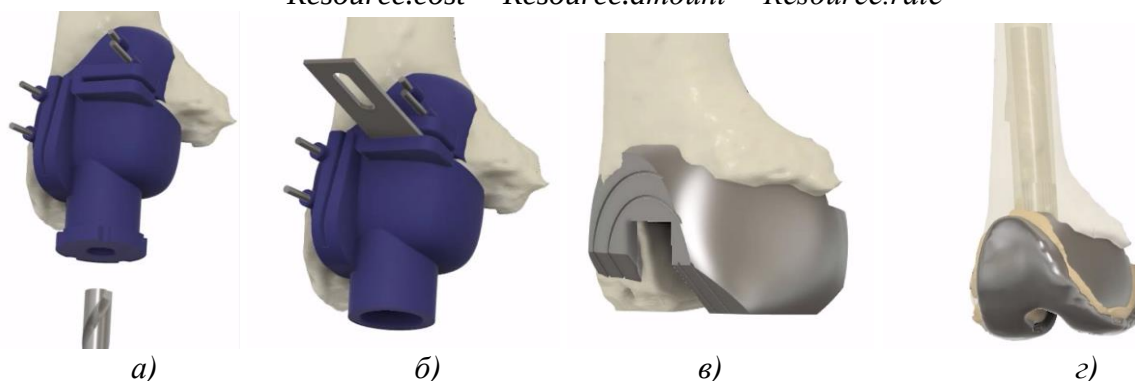


Рис. 1. – Приклад хірургічного навігатора:

а) свердління отвору; б) різання пилкою; в) і г) моделі імплантатів

Оскільки пристрій є індивідуальним і одноразовим, його доцільно виготовляти за допомогою адитивних технологій. Основними критеріями вибору адитивного способу виготовлення хірургічних навігаторів є: якість поверхні, вартість та час виготовлення. Найбільш раціональним з точки зору цих трьох показників є процес, який відноситься до групи VAT Photopolymerization. В даному випадку використовується процес LCD.

Ресурси, необхідні для виготовлення хірургічних навігаторів можуть бути представлені наступним чином:

$R_{D2} = \{H_D^{RP}, I_{SW}^{RP}, M_{Eq}^F, M_M^F\}$ , де  $H_D^{RP}$  – людський ресурс, спеціаліст з 3D-друку;

$I_{SW}^{RP}$  – інформаційний ресурс, програмне забезпечення підготовки управляючої програми для обладнання 3D-друку (наприклад, Chitubox);

$M_{Eq}^F$  – матеріальний ресурс, 3D-принтер та обладнання для пост-оброблення (наприклад, LCD Phrozen Sonic 4k);

$M_M^F$  – матеріальний ресурс, матеріал хірургічних навігаторів (наприклад, фотополімерна смола NextDent SG (Surgical Guide) ).

Тривалість виконання задачі:  $T_{D2}.time = H_D^{RP}.time + M_{Eq}^F.time - t'$ ,

де  $t'$  – тривалість спільного використання ресурсів  $H_D^{RP}$  і  $M_{Eq}^F$ .

Вартість використання ресурсів:  $T_{D2}.cost = H_D^{RP}.cost + M_{Eq}^F.cost + M_M^F.cost + I_{SW}^{RP}.cost$

Проаналізовані ключові людські, інформаційні та матеріальні ресурси, необхідні для успішного виконання задачі розроблення і виготовлення хірургічних навігаторів. Тривалість і вартість задачі представлено у виді залежностей від часу і вартості використання ресурсів. Визначення необхідних ресурсів розглянуто на практичному прикладі.

#### Список посилань

1. Adam E. Jakus PhD. An Introduction to 3D Printing - Past, Present, and Future Promise, 3D Printing in Orthopaedic Surgery, Elsevier Inc. 2019, 1-15p
2. Margaret Hauser, Russell King, Richard Wysk, Ola Harrysson. Resource planning for direct fabrication of customized orthopedic implants using EBM technology, Journal of Manufacturing Systems, Volume 60, 2021, Pages 500-511, ISSN 0278-6125, <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.07.003>.
3. Pasichnyk, V., Kryvenko, M., Burburska, S., Haluzynskyi, O. (2021). Design and Engineering Assurance for the Customized Implants Production Using Additive Technologies. In: Ivanov, V., Trojanowska, J., Pavlenko, I., Zajac, J., Peraković, D. (eds) Advances in Design, Simulation and Manufacturing IV. DSMIE 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-77719-7\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-77719-7_9).
4. Laboratory of Biomedical Engineering “Osteonica”, <https://osteonica.com/en>, last accessed 2023/05/19

УДК 629.7.05

Мандровська С.О., студентка

Стельмах Н.В., канд.техн.наук, доцент

Національний технічний університет України «КПІ ім. І. Сікорського», stelmakhnv@ukr.net

## ОГЛЯД, АНАЛІЗ І ПРОГНОЗ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ МАЛОГАБАРИТНИМИ БПЛА

Малогабаритні безпілотні літальні апарати (БПЛА) засовуються для вирішення широкого кола завдань. Їх використання відіграє важливу роль в багатьох сферах, починаючи з побутових завдань, реклами, моніторингу навколишнього середовища, небезпечних природних явищ, екологічного контролю, виконання функцій доставки, моніторингу об'єктів критичної інфраструктури, фото та відеозйомки, виконання пошуково-рятувальних завдань і закінчуючи вирішенням військових задач, таких як ведення військової розвідки, коригування вогню, транспортування медикаментів та переносу боєприпасів тощо.

Значною перевагою використання БПЛА перед пілотованими літальними апаратами є виключення небезпеки для життя та здоров'я людини (оператора), яка ним керує, відсутність необхідності підготовки пілотів, на відміну від пілотованих літальних апаратів, БПЛА не потребують аеродромів, зниження рівня впливу людського фактору при виконанні поставлених завдань. [1]

Основною відмінністю малогабаритних БПЛА є їхні невеликі розміри. Це є одночасно їхньою перевагою і недоліком. Адже завдяки маленьким розмірам вони мають значно нижчу собівартість в порівнянні з іншими засобами, що робить їх більш ефективними у виробництві, але при цьому, враховуючи, що більша частина бортового обладнання призначена для забезпечення руху літального апарату, лише відносно мала частина може використовуватись задля встановлення апаратури зв'язку. Це означає, що потужність передавачів є дуже обмеженою, що викликає складність забезпечення зв'язку на великих відстанях з людиною-оператором, яка знаходиться за пультом керування. [2]

Ключовим фактором ефективної роботи малогабаритних БПЛА є системи керування, адже саме від них залежить точність їхньої роботи. В залежності від принципів керування, можна виділити три види безпілотних літальних систем: безпілотні некеровані, автоматичні та дистанційно-пілотовані апарати. [3]

Для керування малогабаритними БПЛА використовують комплекс систем, що взаємодіють між собою для забезпечення ефективної роботи. Ці системи керування включають в себе [4]:

1. Актuatorи, які призначені безпосередньо задля активації механізмів руху БПЛА, тобто початку та зупинки руху, зміни кутів нахилу, зміни швидкості руху, висоти і так далі.

2. Навігаційні системи, прикладом якої є глобальна система позиціонування (GPS). Дані системи використовують задля отримання точних даних про розташування безпілота, побудови маршруту, визначення локації об'єктів.

3. Системи автоматичного керування БПЛА (автопілоти).

Працюючи разом з навігаційними системами, акселерометрами та іншими датчиками, які визначають положення, швидкість та напрямок руху безпілота, дані системи виконують задачу автоматичного управління, стабілізації та навігації.

4. Оптичні системи, що використовуються для візуального спостереження, такі як оптичні сенсори, фото- та відеокамери, для збору та передачі відео та зображень, розпізнавання об'єктів.

5. Системи зв'язку між безпілотовиком, людиною-оператором та іншими БПЛА. В якості систем зв'язку використовують супутниковий зв'язок, радіозв'язок, Wi-Fi, або мобільний радіозв'язок (4G, 5G). Дані системи зв'язку можна використовувати поодиночі, але більш



доцільним є використання комбінації з деяких різних систем, щоб у разі припинення роботи одного з каналів, була можливість переключитися інший і не втратити зв'язок з безпілотником.

В подальшому розвитку систем керування малогабаритними БПЛА задля покращення роботи перелічених вище систем можуть використовуватись технології машинного навчання. Дана підгалузь штучного інтелекту (ШІ) досліджує вивчення та побудову алгоритмів, які на основі отриманих даних можуть навчатися, проводити аналіз та робити прогнози.[5] Розвиток ШІ в даній галузі дозволить БПЛА на основі отриманих даних розпізнавати об'єкти, визначати закономірності, обробляти велику кількість інформації за короткий час, при цьому зменшивши вірогідність отримання похибок в результатах аналізу даних, які можуть бути викликані людським фактором.

#### Список посилань

1. Яровий, О. (2018, May 31). Вибір оптимальних моделей безпілотних літальних апаратів та систем управління для виконання задач щодо моніторингу наземних об'єктів. <https://www.molodyivchenyi.ua/index.php/journal/article/view/4492>
2. Каратанов, О., Устименко, О., Єна, М., Бова, Є., & Калашнікова, В. (2021). Використання алгоритмів ройового інтелекту при проектуванні систем управління груп безпілотних літальних апаратів. Молодий вчений, 10 (98), 98-103. <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2021-10-98-24>
3. Podorozhniak, A., Volotskov, Y., & Shevtsova, O. (2018). Drone's Control System Research. Advanced Information Systems, 2(3), 97–101. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.3.16>
4. Uninhabited Air Vehicles. (2000). National Academies Press eBooks. <https://doi.org/10.17226/9878>
5. Glossary of Terms Journal of Machine Learning. (n.d.). <http://ai.stanford.edu/~ronnyk/glossary.html>

УДК 629

Чурсов С.О., аспірант

Херсонський національний технічний університет, [chursov16996@gmail.com](mailto:chursov16996@gmail.com)

### ПРОГНОЗУВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГУМОКОРДНИХ МАТЕРІАЛІВ ПНЕВМАТИЧНИХ ШИН ПРИ НАКОПИЧЕННІ МЕХАНІЧНИХ ПОШКОДЖЕНЬ. ВЛАСТИВОСТІ КОРДУ ПРИ ВИПРОБУВАННІ НА РОЗТЯГ

Матеріали пневматичних шин уявляють собою складну композиційну структуру армовану як металевими та і не металевими волокнами. Незважаючи на досить широке застосування і усталеність (стабільність) поглядів, щодо механічних характеристик матеріалів шин, різні умови їх експлуатації напряду впливають на ресурс, прохідну здатність і безпеку руху автомобілів [1].

В цьому плані, задача дослідження накопичення пошкоджуваності в матеріалі шин є актуальною. Особливу увагу потрібно звернути на механічні властивості матриці [2-4] в якій саме накопичуються пошкодження різного виду [5-8] в результаті чого відбувається перерозподіл навантажень у волокнистих наповнювачах (металевий корд, тканина) та границях їх розподілу. Найбільш доступним методом оцінки є випробування на розтяг.

**Мета дослідження:** Визначити міцність композиції гума як матриця, армована металевими волокнами і вплив їх співвідношення на стійкість до пошкоджень, під час експлуатації автомобільних шин. Для дослідження було виготовлено зразки з R 15 з пробігом 20 тисяч км.

Було виготовлено окремо в зразках видалено металеві і тканеві волокна для випробування матриці на розтяг і окремо видалено матрицю із збереженням волокон (рис.1)

Випробування проводили на розривній машині Р-5 (рис.2, а). Криві деформацій руйнування (рис.3) свідчать, що руйнування відбувається за двократним механізмом-руйнування матриці з модулем пружності  $E_m=1,282\text{МПа}$  формула 3 та наступним руйнуванням металевих волокон  $E_v=50\text{МПа}$  формула 4.



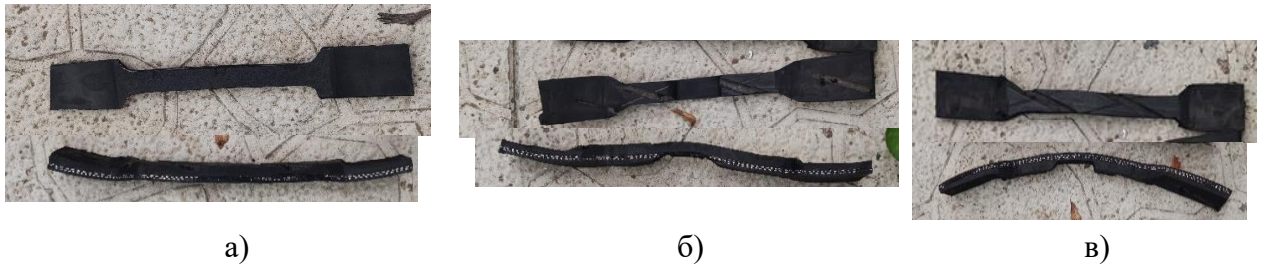


Рис. 1 – Зразки на випробування на розтяг: а) для визначення сукупної міцності композиційного матеріала; б) міцності матриці, в) міцності волокнистих матеріалів

Оримано під час досліджень величину сили розтягу 130 КгС заданого зразку та знаючи основні розміри сторін зразку  $a=11$  мм,  $b=11$  мм, у місці руйнувань. Було знайдено площу заданого зразка Площа зразка відображено у формулі 1, яка знаходиться нижче.

$$S=a*b; S=11*11=121\text{мм} \quad (1)$$

Таким чином, знаючи числові дані величин сили розтягу та величин площі можна знайти величину напружень, тобто:

$$\sigma=F/S=130/121=1,08 \text{ Н/[мм]}^2. \quad (2)$$

$$\sigma_M=E_M=100/0,000078=1,282\text{мПа}. \quad (3)$$

$$\sigma_B=E_B=300/0,000006=50\text{мПа}. \quad (4)$$

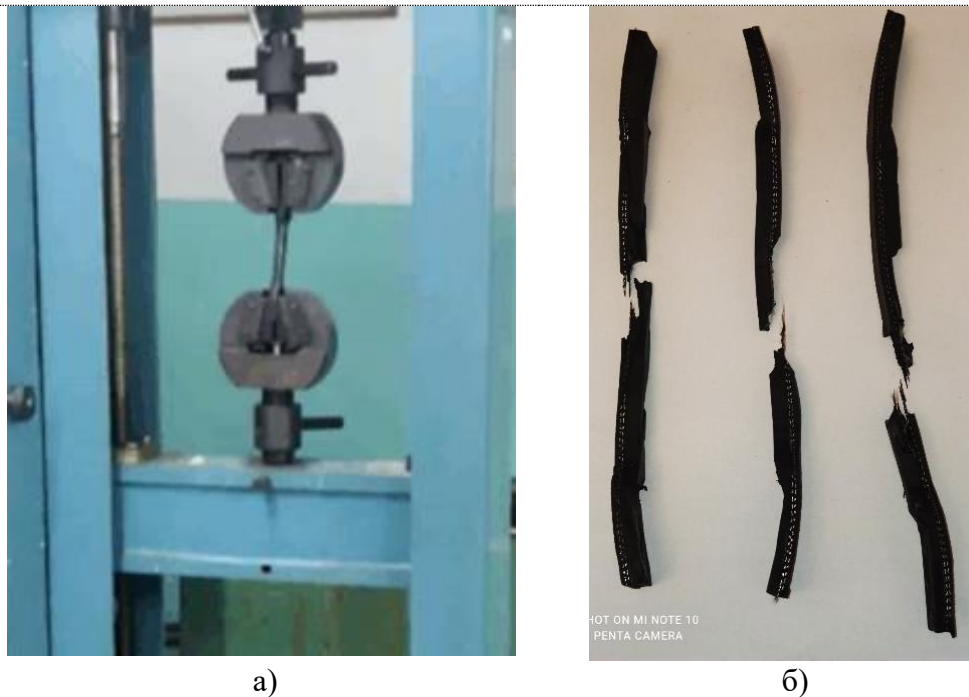


Рис. 2 – Випробування на розтяг: а) загальний вигляд закріплення зразків; б) зразки після розриву

Розглядалась поведінка композицій під дією напруження прикладеного паралельно до волокон. В матеріалі матриці штучно утворили поперечні проколи глибиною 3 мм і радіусом індентора 1 мм.

Більшість розірваних зразків показали «щепоподібне» руйнування з висмикуванням металевих волокон армуючого корду з подальшим повільним руйнуванням матеріалу матриці, що залишалась до процесу руйнації усього зразка в цілому (рис.3 ).



Рис. 3 – Крива деформації при розриві резинової матриці разом з волокнами металевого корду



Рис. 4 – а)отримані результати дослідження для декількох дослідних зразків зразок 1,2 – визначення сукупної міцності композиційного матеріалу; зразок 3–міцність волокнистих матеріалів та металокорду; 4 – міцність матриці (гума). б)отримані результати дослідження побудовані у вигляді діаграми від початку випробувань до моменту руйнації

#### Список посилань

1. Динаміка колеса автомобіля. Монографія [текст] / А.У. Абдулгасіс, Д.В. Абрамов, М.П. Артьомов, В.І. Гацько, З.Е. Забелишенський, Д.М. Клец, О.О. Назарько, М.А. Подригайло, О.С. Полянський, М.М. Потапов, В.Л. Файст; под. ред. М.А. Подригайло та О.С. Полянського Х.: ХНАДУ, 2019. – 219с.
2. Багатофункціональні епоксидні нанокompозити з поліпшеними діелектричними властивостями для підвищення експлуатаційних характеристик транспортних засобів монографія / Букетов А.В., Сметанкін С.О., Алексенко В.Л., Юренін К.Ю., Соценко В.В. –Херсон : ХДМА, 2021. –220с.
3. Портной К.И., Салибеков С.Е., Светлов И.Л., Чубаров В.М. Структура и свойства композиционных материалов М.: Машиностроение, 1979. – 255 с.

4. Буренніков, Ю. А. Нові матеріали та композити : навчальний посібник / Ю. А. Буренніков, І. О. Сивак, С. І. Сухоруков – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 161 с.

5. Застосування багатокоординатних механізмів в якості випробувальних стендів шин автотранспорту Тези доповідей VIII міжнародна науково-практична конференція «КОМПЛЕКСНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ - 2018» (с.147–149) Автори: Чурсов С.О. Дмитрієв Д.О. Войтович О.А. Баль О.Д.

6. Моделювання механічних характеристик матеріалів пневматичних шин в процесі подолання перешкод. Тези доповідей Матеріали IX Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених з автоматичного управління присвяченої Дню космонавтики 12–14 квітня 2021 (с.89–90).

7. Прогнозування залишкового ресурсу матеріалів пневматичних шин від накопичення і виду експлуатаційних пошкоджень. Тези доповідей Матеріали IX Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених з автоматичного управління присвяченої Дню космонавтики 12–14 квітня 2021 (с.94–95).

8. Тези доповідей Матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції ТК-2022 «Прогресивні напрямки розвитку автоматичних технологічних комплексів» Оцінка механо-фізичних характеристик корду та резинокордної конструкції в елементах пневматичних шин як композитного матеріалу 28–30 травня 2022 (с.111–113).

УДК 621.7

Палієнко В.О., аспірант

Чухліб В.Л., докт. техн.наук, професор

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,  
mustmix13@gmail.com

### КЛАСИФІКАЦІЯ КОЛІНЧАСТИХ ВАЛІВ

Колінчастий вал вважається одним з основних елементів кривошипно-шатунного механізму, призначений для здійснення поступального руху в обертальний. Для виготовлення колінчастих валів використовують високосортні вуглецеві сталі, хромомарганцеві, хромонікельмолібденові тощо. Найбільш використовуваними вважаються 45, 45Х, 45Г2, 50Г, а для важко навантажених колінчастих валів дизелів - 40ХНМА, 18ХНВА та інші. [1]. Колінчасті вали бувають: ковані, литі, складені, зварні, цільні. Залежно від числа циліндрів існують одно колінчасті та багатоколінчасті.

У середньо оборотних напружених двигунів колінчасті вали виготовляють з легованих сталей іноді з високоміцного або модифікованого чавуну.

Залежно від розмірів і потужності двигунів колінчасті вали бувають складеними і цільнокованими. У тихохідних судових двигунах, у яких радіус кривошипа перевищує 600 мм, коліна валу бувають складеними або напівскладовими.

Колінчастий вал може мати свої конструкційні особливості, проте можна виділити загальні для всіх елементи. Корінні шийки розташовані на основній поздовжній осі валу (2), на цих елементах використовуються підшипники ковзання. Шатунні шийки (3) розташовані паралельно осі, але зміщені відносно неї, використовуються для приєднання шатунів і через них приймають зворотно поступальні рухи поршнів. Для компенсації під час роботи відцентрових сил, які виникають під

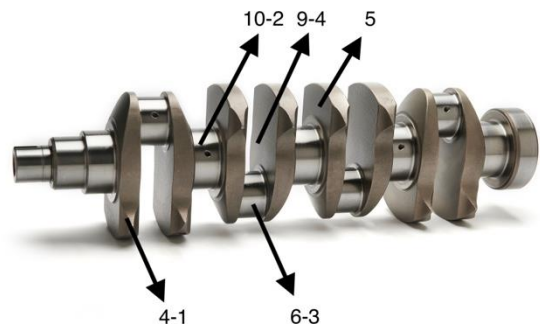


Рис. 1 – Колінчастий вал

час обертання шатунних шийок, є протипаги (1, 4), а також для уникнення деформації валу, яка може спричинити неправильну роботу двигуна. Щоби колінчастого валу (5) з'єднують шатунні та корінні шийки [2].

Висновок: У даній роботі розглянуті основні види колінчастих валів, з яких марок сталі виготовлені, його конструкційні особливості. Принцип дії колінчастого валу однаковий, але застосування і який спосіб виготовлення цієї деталі залежить від його призначення, чи то автомобіль, чи то суднова будова тощо.

#### Список посилань

1. A. Dindore et al. Optimization of crankshaft by modification in design and material Int. Res. J. Eng. Technol. (2020)
2. Каргин С. Б. Инновационные технологииковки валов : монографія / С. Б. Каргин, Б. С. Каргин, В. В. Кухарь. – Маріуполь : ПГТУ, 2016. – 145 с.

УДК 629.735.45

Пилипенко О.І., докт. техн. наук, професор

Почесний член національного програмного комітету конференції, [opilip@ukr.net](mailto:opilip@ukr.net)

### ВІБРАЦІЙНИЙ КОНТРОЛЬ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ РЕДУКТОРІВ ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ

Наявний парк вертольотів експлуатується в даний час згідно ресурсу, зумовленого їхнім технічним станом. Тому постає гостра проблема оцінки технічного стану як вертольотів у цілому, так і зубчастих передач та пов'язаних з ними деталей основного кінематичного ланцюга головних, проміжних і хвостових редукторів, приводів коробки агрегатів газотурбінних двигунів (ГТД).

Вібраційний контроль з початку 1990-х років і до сього часу є найбільш досконалим контролем, засоби і методи якого добре відпрацьовані в авіапромисловості [1].

Стандарт ДСТУ ISO 8579-2 [2] встановлює методи визначення механічної вібрації зубчастих передач редукторів, методи вимірювання вібрацій корпусу і валу, типи вимірювальної апаратури, методи вимірювання і методики випробування для визначення рівнів вібрації. На жаль, стандартом не передбачено вимірювання крутильних коливань зубчастих приводів. Але рекомендації стандарту треба враховувати під час розробки спеціальних високошвидкісних механічних приводів, до яких відносяться авіаційні зубчасті передачі ГТД і редукторів.

Ефективним напрямком експлуатаційного діагностування найбільш напружених вузлів – зубчастих передач редукторів ГТД – є методи аналізу сигналів вібрацій корпусу двигуна.

Теоретичне і експериментальне обґрунтування вібродіагностики зубчастих передач ГТД та редукторів вертольотів засвідчує [3], що основною функцією, яка характеризує енергетичну ефективність передачі крутного моменту і є чутливою до зародження дефектів зубців шестерен, можна вважати девіацію параметру першої похідної кутової швидкості переспряження зубців.

Широке практичне застосування ресурсного прогнозування вимагає розвитку ряду наукових і практичних додатків, зокрема таких, як прогнозування залишкового ресурсу зубчастих коліс за даними періодичного моніторингу динаміки зачеплення під час ресурсних випробувань.

Впровадження ефективних методів експлуатаційного діагностування зубчастих передач дають можливість чітко виділити в сигналі вібрацій корпусу двигуна ознаки відхилень характеристик деталей редуктора від штатного стану і доповнити автоматичну систему аналізу технічного стану роторних деталей ГТД [4, 5].



Система збору і обробки польотної інформації поділяється на бортову і наземну частини. Бортова підсистема у вигляді апаратно-програмних комплексів забезпечує збір і попередню обробку первинної інформації – сигналів вібрацій, синхронізації, температури і т. д. Вона взаємодіє з штатним обладнанням вертольоту для отримання інформації щодо режимів роботи і польоту вертольоту. Бортова підсистема, як правило, містить в собі давачі вібрацій, давачі частоти обертання і блоки накопичування та попередньої обробки [6, 7].

Наземна підсистема являє собою набір апаратно-програмних засобів, що забезпечують виконання автоматичного експрес-аналізу і розширеного аналізу зареєстрованої на борту інформації. Наземну підсистему системи діагностики можна розділити на локальну і центральну (центр супроводження). Локальна частина являє собою програмне забезпечення обробки накопиченої в польоті інформації і базу даних, які розташовані в організації, яка експлуатує вертольоти.

В даний час вже застосовуються методи обслуговування машин за фактичним станом або ідентифікації деталей без їх розборки на основі вібродіагностичних випробувань [8, 9]. Їх використання дозволяє одночасно і знизити вартість налагоджувальних робіт і підвищити їх якість, тому що перевіряється не тільки стан деталей виробу, але і як вони зібрані, чи є перекося підшипників або шестерен під час складання. Діагностика головного редуктора вертольоту виконується на протязі 20 хвилин. За результатами вібродіагностичних випробувань оцінюється технічний стан деталей кожного зубчастого зачеплення, підшипника без розборки редуктора.

Інноваційний метод дозволяє на протязі 10 хвилин проконтролювати стан семисот п'ятидесяти показників головного редуктора, тобто фактично здійснити тотальний контроль за станом кожного елементу деталей і вузлів.

Після польоту накопичені дані переносяться на наземну підсистему організації-експлуатанта, де відбувається післяполітний аналіз, видача результатів обробки і зберігання отриманих результатів у локальну базу даних. Далі результати обробки синхронізуються з базою даних центру супроводження для представлення інформації про технічний стан розробникам вертольотів та їх агрегатів, а також організаціям-експлуатантам.

#### Список посилань

1. Болотин, В.В. Ресурс машин и конструкций / В.В. Болотин. – М.: Машиностроение, 1990. – 448 с.
2. ДСТУ ISO 8579-2 Правила приймання зубчастих передач. Частина 2. Визначення механічних вібрацій редукторів під час приймальних випробувань.
3. Кравченко И.Ф. Экспериментальные и теоретические результаты исследования авиационных зубчатых передач для двигателей пятого и шестого поколений /И.Ф Кравченко, А.Б. Единович, В.А. Яковлев, В.Л. Дорофеев // Авиационно-космическая техника и технология. – Харьков, 2008. – №8. – С.129-134.
4. А.В. Папчѐнков. Эффективность спектральных методов диагностического контроля технического состояния зубчатых передач ГТД. Вестник двигателестроения, № 2, 2015. – С. 125-132.
5. В.Н. Журавлѐв. Виброкинематометрия зубчатых передач/ В.Н. Журавлѐв, А.Б. Единович, А.В. Папчѐнков, А.В. Корнейчук// Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: "Проблеми механічного приводу" №35(1144), 2015. – С. 56-60.
6. Перспективы использования бортовых автоматизированных систем контроля выработки усталостного ресурса авиационных конструкций / Игнатович С., Карусевич М., Бурау Н., Краснопольский В. // Вісник ТНТУ. – 2011. – Спецвипуск – частина 2. –С.136-143. – (механіка та матеріалознавство).
7. Harry J. Decker. Crack Detection for Aerospace Quality Spur Gears /Harry J. Decker U.S. Army Research Laboratory Glenn Research Center, Cleveland, Ohio/National Aeronautics and Space Administration. NASA/TM—2002-211492. Prepared for the International 58<sup>th</sup> Annual Forum and Technology Display sponsored by the American Helicopter Society - Montreal, Quebec, Canada, June 11-13, 2002.

8. ОСТ 100774-98. Система сбора и обработки полетной информации самолетов (вертолетов). М.: НИИСУ, 1998. 21 с.

9. В. В. Голованов. Методы и средства диагностики авиационных приводов при их эксплуатации по техническому состоянию/ В. В. Голованов, В. Г. Василенко, А. А. Земсков, С. С. Панов, А. А. Емельянова// Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета Том 14, №3, Ч.1, 2015. – С. 213-221.

УДК 685.34.05

**Макатьора А.В., аспірантка**

**Макатьора Д.А., канд.техн.наук**

**Зенкін М.А., докт.техн.наук, професор**

Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», makatora\_d@ukr.net

### **МЕХАНІЗМ ПЕРЕМІЩЕННЯ НОЖА, ЩО ЗДІЙСНЮЄ РУХ ПО ЗАМКНУТІЙ ТРАЄКТОРІЇ**

Для реалізації процесу різання використовується рухоме різання, або різання за допомогою нерухомого ріжучого інструмента [1, 2]. Проведенні дослідження показали, що процес різання нерухомим ножом супроводжується дуже високими значеннями втрат на тертя, які досягають 60-70% енергетичних витрат на виконання технологічної операції.

Саме тому широкого поширення отримали машини з рухомими ножами [2-7].

Авторами роботи [8] пропонується конструкція механізму переміщення ножа, що має замкнуту траєкторію руху та задовольняє висунутим вимогам (рис. 1). Конструкція механізму ножа містить вал 1 та додатковий вал 2, встановлений в двох парах опор 3 та кінематично з'єднаний з головним валом 4, за допомогою пари конічних варіаторів, що містять по парі конічних дисків 5, які кінематично з'єднанні між собою та встановлені з можливістю регулювання. Пара ексцентриків 6 і 7 кінематично з'єднана з парою куліс 8 і 9, які відповідно закріплені з ножом 10 та напрямною 11, в яку встановлений останній. Куліса 9 встановлена в додаткову напрямну 12, а куліса 8 з'єднана з ножом 10 за допомогою регулювального гвинта 13. Пристрої зміни ексцентриситету містять пару напрямних 14 і 15, регулювальних гвинтів 16, 17 і пару повзунів 18, 19 з радіальними пазами, закріпленими на ексцентриках 6, 7 і встановленими в напрямні 14, 15, які, в свою чергу, закріплені на додатковому валу 2 та валу 1 за допомогою гвинтів 20, 21, регулювальні гвинти 16, 17 встановлені в напрямні 14, 15 і кінематично зв'язані з повзунами 18, 19.

Регулювання зміни кутової швидкості обертання ексцентриків відбувається таким чином: шляхом переміщення конічних дисків 5, по відповідних валах, відносно один одного, змінюється передаточне відношення (радіуси передачі) в кожній парі, за допомогою чого кутова швидкість валу 1 і додаткового валу 2 може бути як однаковою (передаточні відношення варіаторів рівні), так і різною, крім цього таке регулювання дозволяє плавно регулювати кутові швидкості, а тим самим і лінійні швидкості леза ножа 10 в різних напрямках, а саме в напрямку подачі матеріалу та в перпендикулярному напрямку подачі матеріалу. Також дана конструкція дає можливість отримати замкнуту траєкторію леза ножа 10, у вигляді поєднання декілька еліпсів (вісімка і так ділі) за один зворотно-поступальний рух леза ножа в перпендикулярному напрямку подачі деталі, в залежності від вибору кутової швидкості (частоти обертання) валу 1 і додаткового валу 2, за рахунок зміни швидкості варіаторів, а саме: якщо швидкість швидкості валів 1 та 2 однакові рух леза ножа здійснюється по еліпсу, якщо співвідношення швидкостей валів 1:2 то закон руху вісімка, тощо.

Крім того, пара пристроїв зміни ексцентриситету дозволяють отримувати різну величину переміщення леза ножа 10 в різних напрямках, а також отримувати тільки лінійну траєкторію леза ножа 10 в напрямку подачі матеріалу та/або в перпендикулярному напрямку подачі матеріалу.



Запропонована конструкція механізму задовольняє висунутим вимогам та дозволяє покращити якість зрізу матеріалу при умові зменшення енергетичних витрат на процес різання.

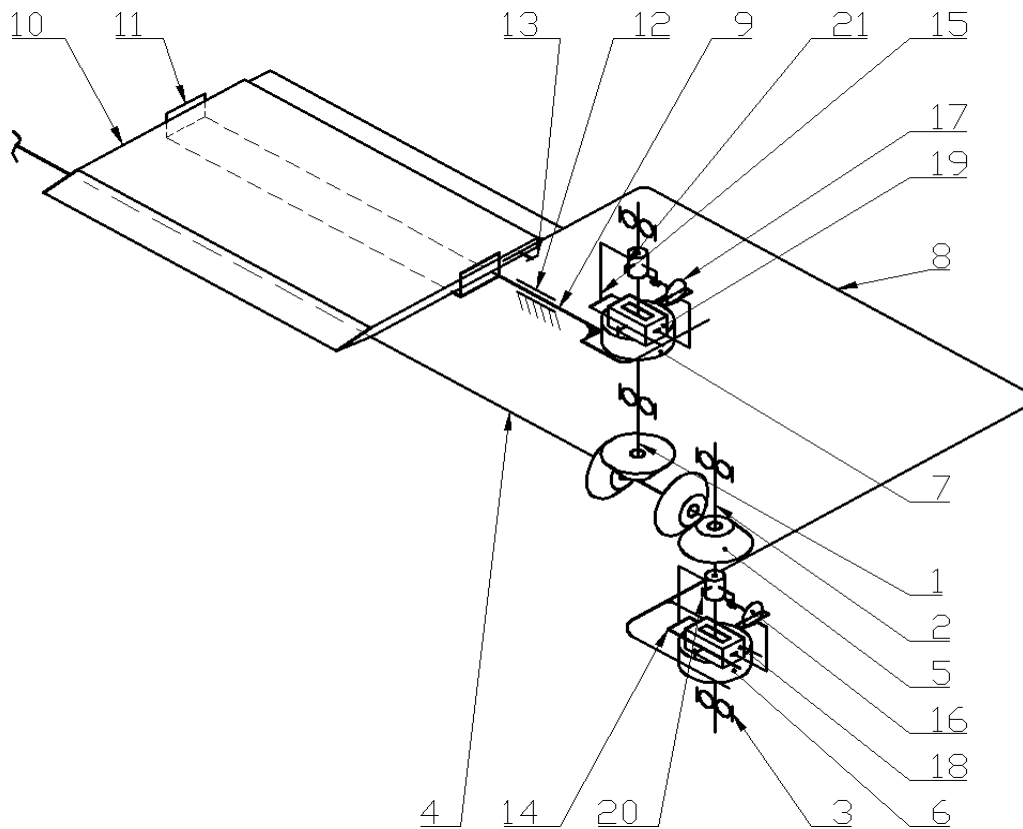


Рис. 1 – Механізм ножа, зі замкнутою траєкторією руху

## Список посилань

1. Чорно–Іванов В. С. Розробка механізму поздовжнього різання деталей низу взуття: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.10 / В. С. Чорно–Іванов; ДАЛПУ. – К., 1998. – 18 с.
2. Макадьора Д. А. Параметричний синтез робочих органів машини поздовжнього різання взуттєвих матеріалів: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.10 / Д. А. Макадьора; Київський національний університет технологій та дизайну. – Київ, 2020. – 23 с. – укр.
3. Макадьора Д. А. Механізми переміщення ножа, що здійснюють плоско-паралельний рух в машинах для поздовжнього різання / Д. А. Макадьора // Вісник Інженерної академії України. – 2018. – № 2. – С. 137–141.
4. Макадьора Д. А. Машини для двоїння і вирівнювання деталей низу взуття по товщині, з ножем, що здійснює обертальний рух / Д. А. Макадьора, В. І. Князев, В. С. Чорно–Іванов // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2005. – № 2. – С. 32–37.
5. Макадьора Д. А. Машини для вирівнювання деталей низу взуття по товщині, з рухомим ножем / Д. А. Макадьора, В. І. Князев, В. С. Чорно–Іванов // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2005. – № 3. – С. 35–40.
6. Макадьора Д. А. Машини для поздовжнього різання, з ножем, що здійснює обертальний рух / Д. А. Макадьора // MateriályIX mezinárodní vědecko–praktická konference «Aktuální vymoženostivědy – 2013». – Díl 18. Technické vědy. Zemědělství: Praha. Publishing House «Education and Science» s.r.o. – С. 10–13.
7. Макадьора Д. А. Конструкції машин для вирівнювання деталей низу взуття по товщині / Д. А. Макадьора // Матеріали дев'ятої Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Сучасна наука ХХІ століття». – 2013. – Ч. 2. – С. 65–67.
8. Патент № 52525 Україна, МПК А 43 D 8/00. Механізм розрізання деталей низу взуття по товщині/ Д. А. Макадьора, С. В. Музичишин; заявник та патентовласник Київський державний університет технологій та дизайну. – № u201003246; заявл. 22.03.2010; опубл. 25.08.2010, Бюл. № 16.

УДК 621.924 : 62-253.51

<sup>1</sup> Гончар Н.В., канд. техн. наук, доцент

<sup>2</sup> Гребенніков М.О., інженер

<sup>1</sup> Криворученко В.Л., аспірант

<sup>1</sup> Слободян А.Г., студентка

<sup>1</sup> Національний університет «Запорізька політехніка», [gonchar@zp.edu.ua](mailto:gonchar@zp.edu.ua)

<sup>2</sup> ЗМКБ «Івченко-Прогрес», [GrebennikovMA@ivchenko-progress.com](mailto:GrebennikovMA@ivchenko-progress.com)

## ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ЛОПАТОК В УМОВАХ ОДИНИЧНОГО ВИРОБНИЦТВА ГТД

В умовах одиничного, експериментального або пілотного виробництва авіаційних газотурбінних двигунів (ГТД) на початку їх життєвого циклу, в технологічному етапі фінішної доводки лопаток довгий час було задіяно ручне полірування, навіть після того, як стали інтенсивно відходити від використання ручної праці з поворотом промисловості на євроінтеграцію. Як тільки стало можливим придбання сучасних багатокоординатних верстатів з ЧПК, продуктивність фрезерування лопаток навіть в одиничному виробництві значно виросла, завдяки високошвидкісному принципу обробки. Але фінішний етап залишився практично без змін, ручне полірування пера виконували декількома кругами різної зернистості, тим паче, що після високошвидкісного фрезерування залишались «строчки» – сліди інструменту, які мали періодичний малюнок, висота і крок яких залежали в основному від подачі інструменту. Під полірування відводили значний припуск на дефектний шар і висоту строчок. Додаткове заключне полірування фетровим кругом видаляло ризики, яке наводило попереднє ручне полірування. В цілому фінішна обробка суттєво зменшувала продуктивність технологічного процесу виготовлення лопаток (30-120 лопаток в наборі), час полірування практично зрівнювався з тривалістю формуючого фрезерування. Також для цієї операції потребувались слюсарі високої кваліфікації через складну конфігурацію деталей – різні розміри по кожному з чисельних перерізів, і високі вимоги до точності і якості оброблених поверхонь. Тому назріло актуальне питання – механізація або автоматизація цього етапу для повної відмови від ручного полірування.

Поступово проводили пошук, аналізували та перебирали різні методи фінішно-оздоблювальної та фінішно-зміцнювальної обробки. Враховували матеріал лопаток, особливості їх геометрії, габарити; продуктивність методу, його екологічність, ресурсоощадливість. Лопатки є високовідповідальними деталями, тому ретельно вивчали зміну властивостей поверхні і поверхневого шару, особливо пера, через його тонкостінність і тонкі крайки. Шукали оптимальний варіант технології фінішного оброблення.

Вібробразивна обробка або віброполірування – один з методів, який забезпечує виконання більшості вимог, і до того ж дає змогу обробляти одночасно увесь набір лопаток певного ступеня компресора, що наводить однакові властивості лопаток одного набору.

Використання цього методу для завершального тонкого полірування дрібногабаритних лопаток показали гарні результати і дало поштовх до подальших досліджень. Більш ретельно досліджували глибину знятого шару в залежності від режимів і наповнювача, можливості зменшення припуску під полірування, якості і швидкості видалення «строчок», точність, шорсткість, та інші властивості.

З'ясували, що для забезпечення заявленої якості обробки і оптимізації технологічного процесу необхідно досліджувати комплексно – режими чистового етапу високошвидкісного фрезерування і режими вібробразивного полірування лопаток. Установлено, що результати досліджень обробки лопаток з різних матеріалів суттєво відрізняються, і для розробки технології необхідним є прискорене дослідження на натурних деталях. Також отримано незначний зміцнювальний ефект від цього методу обробки, підтверджено заявлену для досліджених лопаток межу витривалості і підвищення продуктивності в 2,5...3 рази.

УДК 621.9

**Пермяков О.А.,** докт. техн. наук, професор

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», [perm\\_a@i.ua](mailto:perm_a@i.ua)

**Шепеленко І.В.,** докт. техн. наук, професор

Центральноукраїнський національний технічний університет, м.Кропивницький,

[kntucpfzk@gmail.com](mailto:kntucpfzk@gmail.com)

**Przemysław Józkowicz,**

HERMES TECHNIC, м.Легніца, Польща, [pjozkowicz@wp.pl](mailto:pjozkowicz@wp.pl)

## **ТЕХНОЛОГІЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ПРОЦЕСІВ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ТА РЕВЕРСИВНИЙ ІНЖИНІРИНГ**

На сьогодні у реноваційних галузях найрозвиненіших країн світу задіяно близько 30% технологічного обладнання та робочої сили. Такий обсяг залучених ресурсів в машинобудуванні пов'язаний з тим, що відновлення зношених деталей залишається дуже важливим резервом підвищення ефективності використання техніки, економії матеріальних, паливно-енергетичних і трудових ресурсів. Технічна та економічна доцільність відновлення деталей зумовлена можливістю повторного (дуже часто неодноразового) використання 65-75% деталей. Собівартість відновлення зношених деталей не перевищує 50% вартості нових, а витрати на матеріал в 15-20 разів нижчі, ніж під час виготовлення деталей [1].

Поряд з економією матеріальних, енергетичних, трудових і природних ресурсів ремонтне виробництво за рахунок зниження кількості деталей, що надходять на утилізацію, а також пов'язаних з ними технологічними відходами, значно скорочує забруднення навколишнього середовища. Використання таких екологічно чистих методів обробки, як електроконтактне приварювання стрічки, електроіскрові методи, нанотехнології (фінішна антифрикційна безабразивна обробка тощо) та ін., дає змогу вважати сферу відновлення деталей безальтернативною з точки зору екологічності та економічності.

Процес відновлення деталей – складне конструкторсько-технологічне завдання, під час розв'язання якого, крім геометричних розмірів, частково змінюються деякі характеристики деталі, закладені в ній конструктором: матеріал окремих ділянок, фізико-механічні властивості, шорсткість поверхні тощо. У зв'язку з цим особливої ваги набуває питання проектування технологічного процесу відновлення деталей, під час якого вирішуються питання якості відновлення деталей.

Сучасний розвиток інформаційних технологій у машинобудуванні надає альтернативу існуючим процесам відновлення деталей. Можливість створення 3D-моделей виробів методами ручного комп'ютерного графічного дизайну або за рахунок 3D-сканування, їх подальший експорт до САМ систем та використання методів традиційного субтрактивного виробництва (на основі верстатів з ЧПК) або методів адитивного виробництва (3D-печать) значно спрощує процес технологічного проектування та виготовлення деталі.

Реверсивний інжиніринг (реверс інжиніринг, зворотне проектування, reverse-engineering) – процес створення точної копії об'єкта за вже існуючим зразком (рис.1). Зворотне проектування деталей потрібне, коли необхідне: відновлення втрачених деталей; відновлення зношених або деталей, що вийшли з ладу; збереження інформації про об'єкти для їхнього подальшого ремонту чи відтворення.

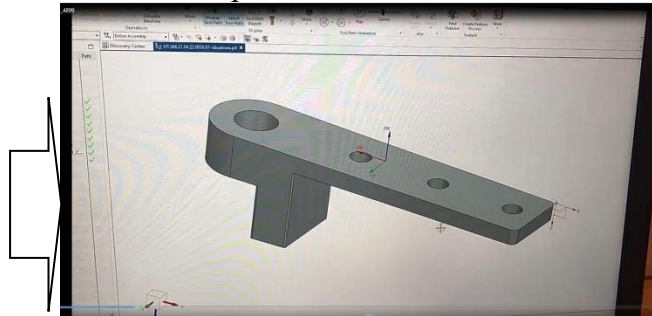
Реверс-інжиніринг прискорює та спрощує виробничі процеси. За допомогою сучасних високоточних технічних рішень – 3D-сканерів та програмного забезпечення – метод забезпечує кілька важливих переваг. Швидкість – багаторазове прискорення вимірювань порівняно з класичним методом: від кількох днів за кілька годин чи хвилин. Точність – сканування дозволяє уникнути накопиченої помилки при знятті розмірів. Універсальність – відтворення геометрії будь-якої складності та вироби практично будь-яких габаритів.

Контроль при проектуванні – швидка та наочна перевірка відхилення геометрії виробу від 3D-моделі у спеціалізованих програмах.

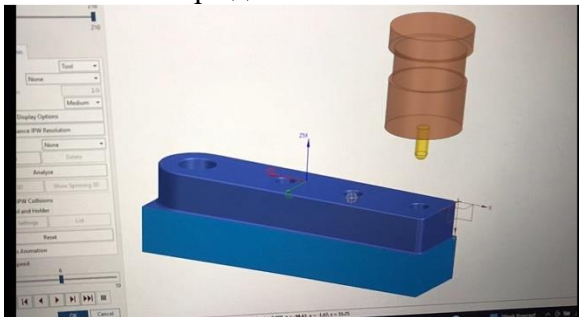
Аналіз зношеної деталі



Створення 3D CAD моделі



Експорт до САМ системи



Використання методів

традиційного субтрактивного  
виробництва  
(на основі верстатів з ЧПК)

або

адитивного виробництва (3D-печать)

Виробництво (верстат з ЧПК)

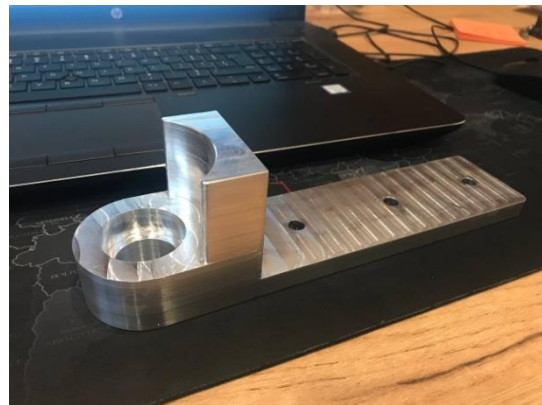


Рис. 1 – Реверсивний інжиніринг - створення точної копії об'єкта за вже існуючим зразком

Запропоновано підхід до проектування технологічного процесу відновлення деталей, під час якого вирішуються питання якості відновлення деталей, а також реверсивного інжинірингу зношених деталей шляхом створення точної копії за вже існуючим зразком.

#### Список посилань

1. Черновол М.І., Пермяков О.А., Немировський Я.Б., Горбулик В.І., Шепеленко А.І. Методологія технологічного проектування процесу відновлення деталей //Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні: зб. наук.пр. – Харків : НТУ «ХПІ», 2023. № 2 (8) 2023. – С. 61–68. – ISSN 2079-004X, DOI: 10.20998/2079-004X.2023.2(8).01

УДК 621

Кологойда А.В., канд. техн. наук  
Пасов Г.В., канд. техн. наук, доцент  
Сіра Н.М., канд. техн. наук

Національний університет «Чернігівська політехніка», kolohoida@gmail.com

## **АДИТИВНЕ ВИРОБНИЦТВО ТА ВИКОРИСТАННЯ 3D ТЕХНОЛОГІЙ В АВТОМОБІЛЬНОМУ ТРАНСПОРТІ ТА ГАЛУЗЕВОМУ МАШИНОБУДУВАННІ**

Сучасна промисловість зорієнтована на отримання якісних товарів за мінімальний проміжок часу з найменшими витратами. Це обумовлюється високою конкуренцією на ринку споживачів. Задовільнити вказані вимоги дозволяє використання адитивного виробництва. Паралельно з'являються нові матеріали та методи їх отримання. Таким чином, видозмінюються вимоги до кваліфікації робітників. Пред'являються високі вимоги до вміння створювати просторові моделі різноманітних деталей та вузлів, з врахуванням методу виготовлення, обирати тип виробництва, призначати матеріали та робити попередні розрахунки, щодо собівартості отриманого продукту. Отже, підготовка високопрофесійних фахівців машинобудівної та автотранспортної галузей, які будуть володіти рядом визначених компетенцій, є важливою задачею освітньої діяльності.

Виготовлення будь-якого продукту починається зі створення загальної концепції та комп'ютерного моделювання, з метою візуалізації та проробки всіх необхідних елементів. Наразі, значної популярності в цьому напрямі отримали програмні продукти SolidWorks [1], Autocad, Delcam, Catia та інші. Загальні принципи моделювання є спільними для всіх програмних продуктів, а послідовність створення моделей може визначатись обраним методом обробки. Також на конструктивні елементи деталей буде впливати метод її виготовлення.

Впровадження адитивних технологій в виробництво стало можливим зі створенням та поширенням різних типів 3D принтерів (рис. 1). Наразі наявна широка номенклатура різноманітних пристроїв для 3D друку, які відрізняються станом робочого матеріалу, методом його спікання та іншими параметрами [2].



Рис. 1 – 3D принтер

Загалом 3D друк використовується як на етапі прототипування, так і при виготовленні виробів. Створення прототипів таким методом значно скорочує час на їх отримання та дозволяє більш детально опрацювати всі елементи виробу від зовнішнього вигляду, до функціонального призначення. Загалом для створення прототипів використовують різноманітні пластики типу PETG, PLA, ABS та інші. А у випадку створення готових виробів додатково можливе використання металевих порошків та ін. [3] (рис. 2). Часто методом 3D друку виготовляють заготовки для подальшої механічної обробки. Таким чином значно зростає відсоток корисного використання матеріалу, в порівнянні з іншими



методами отримання заготовок. Цікавим є технології 3D друку з використання 2 або більше матеріалів. Таким чином спрощується видалення так званих підтримок при виготовленні складних за формою елементів.



Рис. 2 – Лопатка газотурбінного двигуна створена 3D друком

Також поширеним є зворотне проектування, коли, наприклад, необхідно відновити зношені або зламані деталі. При цьому просторова модель створюється шляхом визначення положення точок тіла 3D сканерами [4] та об'єднання їх в одну поверхню. Найбільшої точності досягають контактні 3D сканери, однак при цьому можливе псування поверхні деталі та її дрібних елементів. Більш універсальними є безконтактні сканери, які поділяються на портативні та стаціонарні (рис. 3)



Рис. 3 – Безконтактні сканери: а) портативний, б) стаціонарний

При цьому портативні сканери є більш дешевим і часто зручнішим варіантом, але вимагають використання спеціальних міток, що наклеюються на поверхню деталі, яка сканується – це звичайно впливає і на отриману просторову модель, додаючи невизначені області. Стаціонарний сканер може виконуватись з різноманітними опорами, а при визначенні координат точок тіла додатково враховується просторове положення його головки.

Просторове сканування активно використовується при перевірці точності виготовлених деталей. При цьому набір отриманих точок реальної деталі накладають на її просторову модель та порівнюють області співпадіння та відхилення розмірів й геометрії.

#### Список посилань

1. Solidworks у завданнях 3D моделювання та інжинірингу технічних систем. Навч. посібник / В.Я. Ворошук, Т.М. Вітенько. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2021. 164 с. <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/40547>
2. Mariano Jiménez, Luis Romero, Iris A. Domínguez, María del Mar Espinosa, Manuel Domínguez, "Additive Manufacturing Technologies: An Overview about 3D Printing Methods and Future Prospects", Complexity, vol. 2019, Article ID 9656938, 30 pages, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/9656938>
3. Науковці Академії розробили нове обладнання для виробництва комплектуючих до турбін та авіадвигунів. (16.07.2021) Прес-служба НАН України <https://www.nas.gov.ua/UA/Messages/Pages/View.aspx?MessageID=8027&fbclid=IwAR118vkhOLB79VhQ-j5aeJvdBIsZMjGuqZU-3lVYECzTcGtJ5BBMgONaYCg>
4. 3D сканер: 3D-сканування об'єктів та тривимірне моделювання від компанії KOLORO // <https://koloro.ua/ua/3D-skaner-3D-skanirovanie-obektov-i-trehmernoje-modelirovanie.html>



УДК 621.9.02

Онисько О.Р., докт. техн. наук, професор

Лукань Т.В., асистент

Левицький Є.М., студент

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

## ОСНОВИ АВТОМАТИЧНОГО РОЗРАХУНКУ ФОРМОУТВОРЕННЯ ПРОФІЛЮ ХОДОВИХ ВАЛІВ

Алгоритм прогнозного розрахунку профілю точеної нарізі гвинта побудовано на функціональній залежності профілю нарізі від таких параметрів: передній кут різця, кут нахилу різальної крайки різця, профільний кут нарізі, діаметр деталі, а також сумарне тангенціальне відхилення різця, щодо осі деталі [1] (рис.1, а). Усі перелічені параметри є відомими і не потребують певних способів вимірювання, окрім тангенціального відхилення. Залежність бічного профілю нарізі гвинта від тангенціального відхилення  $\Delta$  визначається за формулою [1] (Рис.1, б):

$$Z(x) = \left( \Delta \cdot \operatorname{tg} \left( \frac{\pi}{2} - \tau \right) - r \right) \operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2} - \frac{P\tau}{2\pi}$$

де:  $\Delta$  – сумарне тангенціальне відхилення леза різця відносно осі деталі

$P$  – крок нарізі гвинта,  $\varepsilon$  – профільний кут нарізі гвинта,  $r$  – радіус впадин нарізі гвинта

$$\tau = \arcsin \frac{\Delta}{x}$$

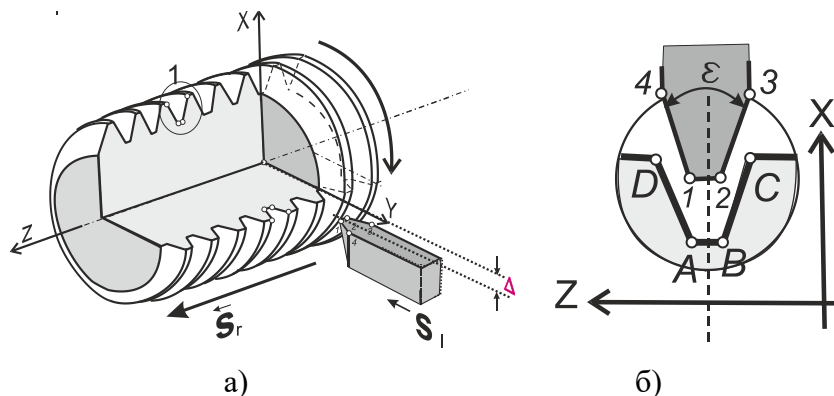


Рис. 1 – Схема точіння ходового гвинта: а) тангенціальне відхилення різця, б) схема отриманого профілю нарізі гвинта

Таким чином для отримання прогнозного розрахунку профілю нарізі необхідним є вимірювання сумарного тангенціального відхилення різця наперед відомому верстаті, режимах обробки та з використанням заданого інструмента. Відхил є інтегральною величиною, що може включати тангенціальні складові похибки шпинделя верстата і його вібрації, установлення деталі та різця і навіть установлення різальної пластини на різці. Тобто необхідною умовою автоматизованого розрахунку точності нарізі гвинта – є застосування сенсорів тангенціального відхилення різця у процесі точіння.

### Список посилань

1. Oleh Onysko. The strength and accuracy of lead screws - as a function of the geometry of the cutting tool or out-of-standard views on the formation of helical surfaces. Keynote Speech Topic. International Conference on Materials and Technologies in Engineering (MTE-2023), May 16-18, 2023, Lutsk, Ukraine, – pp.21.

УДК 621.9.08:62.187.4

Динник О.Д., канд. техн. наук  
Приходько О.М., викладач  
Майба А.О.

Відокремлений структурний підрозділ «Класичний фаховий коледж» Сумського державного університету, м. Конотоп, [odkonotop39@gmail.com](mailto:odkonotop39@gmail.com)

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ШВИДКОСТІ РІЗАННЯ НА НА ЯКІСТЬ ОБРОБЛЕНОЇ ПОВЕРХНІ ПІД ЧАС ХОНІНГУВАННЯ

Основні експлуатаційні показники двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) (а саме, потужність, терміни експлуатації, експлуатаційна надійність, економічність) значною мірою залежать від якості обробки центрального отвору гільзи циліндру [1]. Отвори гільзи після остаточної обробки, а саме, після хонінгування, повинні мати ідеальні макроеометричні параметри, тобто вони повинні мати бездоганну круглу та циліндричну форму. Поверхня повинна бути шорсткою для того, щоб на ній могла утримуватися мастило. Одночасно якість її обробки повинна забезпечувати бездоганне ковзання поршнів та поршневих кілець.

Одним із шляхів підвищення якості гільз циліндрів ДВЗ сьогодні є оптимізація технології платовершинного хонінгування внутрішньої поверхні, завдяки якій формується мікрорельєф робочої поверхні, що визначає триботехнічні показники пари тертя, так і загальну надійність ДВЗ [2].

В роботі продовжені попередні дослідження з питань вивчення хонінгування з безперервно зростаючою швидкістю різання [4].

Проведений аналіз показав, що процес хонінгування, при якому швидкість різання змінюють протягом циклу обробки, є одним із найпростіших і в той же час перспективних методів підвищення якості обробленої поверхні та зниження зносу абразивного інструменту при фінішній обробці. Однак внаслідок того, що не повністю розкрито механізми та фізичні закономірності впливу зміни швидкості різання на результати обробки, виникає необхідність більш глибокого вивчення впливу зміни швидкості обертання хонголівки та інших режимів обробки на процес хонінгування поверхонь гільз циліндрів ДВЗ.

Все перелічене дозволило сформулювати мету дослідження: підвищення якості обробленої поверхні гільз циліндрів ДВЗ та зниження ступеня зношування абразивного інструменту шляхом застосування хонінгування з швидкістю різання, що безперервно зростає протягом часу процесу обробки.

Дослідження проводилися у декілька етапів. На основі статистичного аналізу були визначені основні причини невідповідностей якості поверхонь центральних отворів гільз циліндрів та причини виникнення браку. За допомогою методу FMEA у дослідженні були проаналізовані та ранжовані відповідно до їх важливості основні фактори, які впливають на якість обробленої поверхні (а саме, на параметр шорсткості  $R_a$ ) в процесі хонінгування. Кожен дефект був оцінений за трьома критеріями: значимість (S); імовірність виникнення (O); імовірність виявлення (D).

На основі застосування ABC аналізу для подальшого дослідження було обрано такі фактори: зернистість хонінгувальних брусків ( $X_1$ ), твердість інструмента ( $X_2$ ), середня швидкість різання ( $X_3$ ), інтервал збільшення швидкості ( $X_4$ ).

Для виявлення закономірностей формування мікропрофілю обробленої поверхні при хонінгуванні з швидкістю різання, що зростає в процесі обробки, у дослідженні побудовано математичну модель впливу обраних факторів на основний параметр шорсткості  $R_a$ . На основі попередніх досліджень процесу хонінгування [4] було зроблено припущення, що

залежність досліджуваних показників від зазначених факторів можна представити у вигляді рівняння регресії ступневого вигляду:

$$F_{сч} = 0,042 \cdot \frac{X_1^{0,44} \cdot X_2^{0,39}}{X_3^{0,41} \cdot (X_4 + 0,01)^{0,065}}, \quad (1)$$

На основі отриманої регресійної моделі були побудовані теоретичні криві впливу окремих факторів на величину параметру шорсткості Ra, які характеризують адекватність отриманих математичних моделей. З графіків видно, що відхилення відповідних емпіричних залежностей від теоретичних кривих не перевищують 64%, що входить довірчий інтервал. Це свідчить, що модель досить добре описує процес і є адекватною.

За отриманою моделлю і теоретичними кривими був проаналізований вплив швидкості різання під час хонінгування на величину середнього арифметичного відхилення профілю Ra. У ході досліджень підтвердилася теорія про позитивний вплив швидкості різання при хонінгуванні якості обробленої поверхні. Так, встановлено, що при підвищенні швидкості різання під час платовершинного хонінгування активізується процес оновлення ріжучої поверхні інструменту (самозаточування), що в кінцевому підсумку призводить до створення мікрорельєфа з меншою висотою мікронерівностей і покращення якості обробленої поверхні.

Крім того, постійне підвищення швидкості обертання хонголівки, з одночасним збереженням постійної швидкості зворотно-поступального, дає безперервну зміну кута сітки слідів обробки. Це призводить до того, що сліди обробки попередніх і наступних ходів хонголівки гарантовано не збігаються, внаслідок того, що у кожному ході абразивні зерна рухаються під різним кутом. Як наслідок, значно знижується величина середнього арифметичного відхилення профілю Ra обробленої поверхні. Також важливим фактором є те, що за продуктивністю досліджуваний спосіб хонінгування не поступається способу обробки з постійною швидкістю, в зв'язку з тим, що низька інтенсивність зрізання металу в початковий період циклу обробки з низькою швидкістю різання компенсується високою інтенсивністю зрізання в кінці циклу при високій швидкості. Таким чином, проведені дослідження, довели, що зростаюча швидкість різання позитивно впливає на якість поверхні центрального отвору гільзи циліндру ДВЗ.

#### Список посилань

1. Акилов, А.И. Плосковершинное хонингование гильз цилиндров [Текст] / А.И. Акилов, И.Г. Чижов, А.В. Морщ // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. – 2013. – №4. – С. 135-137.
2. Голубков, В.И. Обеспечение точности геометрической формы деталей на отделочных операциях [Текст] / В.И. Голубков, А.И. Акилов // Сучасні технології в промисловому виробництві : матеріали науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів факультету технічних систем та енергоефективних технологій, Суми, 18-22 квітня 2011 року / Ред. кол.: О.Г. Гусак, В.Г. Євтухов. – Суми : СумДУ, 2011. – Ч.1. – С. 36.
3. Маркович С.І. Розробка технології алмазного платовершинного хонінгування при відновленні гільз циліндрів двз [Текст] / С.І. Маркович, О.Й. Мажейка, В.В.Кириченко // Матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції. Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки. – Кропивницький: ЦНТУ, 2017. – С. 190–191.
4. Динник О.Д. Дослідження впливу основних характеристик абразивного інструменту на якість обробленої поверхні / О.Д. Динник, О.М. Приходько, Б.А. Грищенко // Матеріали XII міжнародної науково-практичної конференції комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем, 26–27 травня 2022 року / у 2-х т. / Національний університет «Чернігівська політехніка» [та ін.]; відп. за вип.: Єрошенко Андрій Михайлович [та ін.]. Чернігів: НУ «Чернігівська політехніка», 2022. – Т. 1. – С. 114-116.

УДК 621.833:621.9.07

Данильченко Ю.М., докт. техн. наук, професор

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», [yumd@i.ua](mailto:yumd@i.ua)

Кривошея А.В., канд. техн. наук, ст.наук. співробітник

Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, [krivosheyatolja@ukr.net](mailto:krivosheyatolja@ukr.net)

Щоголь А.О., магістр

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»

## ФОРМОУТВОРЕННЯ ЗУБЧАСТОГО ПРОФІЛЯ ЧЕРВ'ЯЧНИМ ІНСТРУМЕНТОМ

Виготовлення зубчастих передач підвищеної якості, надійності і довговічності з використанням універсальних верстатів та інструментів є актуальною технічною задачею, вирішення якої потребує дослідження процесів формоутворення зубчастих коліс та наукового обґрунтування граничної точності оброблення на таких верстатах.

Для оцінки точності оброблення доцільно створити математичну модель вихідної точності верстата, в основу якої покладено визначення функції формоутворення [1].

Розглядається процес шліфування зубчастого колеса на широкоуніверсальному консольно-фрезерному верстаті мод. 6М82П алмазним черв'ячним еластичним хоном (АЧЕХ). АЧЕХ закріплюється на горизонтальному шпинделі, а оброблювана деталь – на спеціальному пристосуванні, встановленому на столі верстату під кутом  $\beta$  до горизонталі (рис.1). Обертання деталі надається інструментом за рахунок сил тертя в зачепленні. АЧЕХ виготовлено у вигляді корпусу з алмазозносними кільцями.



Рис. 1 – Установка оброблюваної деталі і інструмента на верстаті

Схема взаємодії оброблюваної деталі і інструмента зображена на рис. 2.

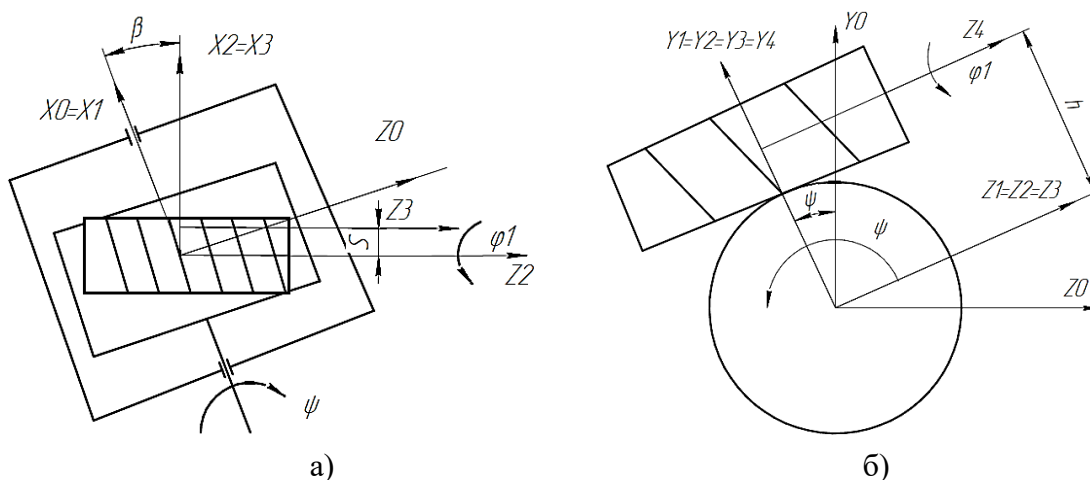


Рис. 2 – Схема взаємодії оброблюваної деталі і інструмента: а) вид зверху та б) вид збоку

З урахуванням порядку перетворення координат при послідовному переході від системи координат оброблюваної деталі  $S_0 (X_0, Y_0, Z_0)$  до системи координат інструмента  $S_4 (X_4, Y_4, Z_4)$  (рис. 2), математична модель ФС верстата буде такою:

$$\mathbf{r}_0 = A_{01}^4(\psi)A_{12}^5(\beta)A_{23}^1(s)A_{34}^2(h)A_{45}^6(\varphi_1)\mathbf{r}_5 \quad (1)$$

де  $\psi$  – кут повороту оброблюваної деталі;  $\beta$  – кут установки пристосування на столі верстату, рівний куту підйому гвинтової лінії черв'яка;  $s$  – рух поздовжньої подачі стола верстату;  $h$  – міжосьова відстань в зачепленні, яка встановлюється вертикальним рухом консолі верстату;  $\varphi_1$  – кут повороту інструменту.

Математична модель інструменту  $\mathbf{r}_5$  визначається порядком перетворення координат при послідовному переході від початкової системи координат інструменту  $S_0 (X_0, Y_0, Z_0)$  до системи координат  $S_5 (X_5, Y_5, Z_5)$  точок на робочих поверхнях алмазозносних кілець (рис. 3):

$$\mathbf{r}_5 = A_{01}^6(\varphi_2)A_{12}^3(z)A_{23}^1(R_3^*)A_{34}^5(\pm\alpha)A_{45}^1(-a)\mathbf{e}^4 \quad (2)$$

де  $\varphi_2$  – поворот вісі інструменту на кут, який визначає положення заданої точки гвинтової лінії;  $z$  – переміщення поздовж вісі інструмента до перетину, якому належить задана точка гвинтової лінії;  $R_3^*$  – переміщення в поперечному перетині до умовної вершини алмазозносного кільця (рис. 3, а);  $\pm\alpha$  – поворот на кут профілю вихідного контуру інструменту (для лівого «+» і правого «-»бокового профілю алмазозносного кільця);  $-a$  – переміщення поздовж лінії бокового профілю кільця;  $\mathbf{e}^4$  – радіус-вектор початку системи координат інструменту.

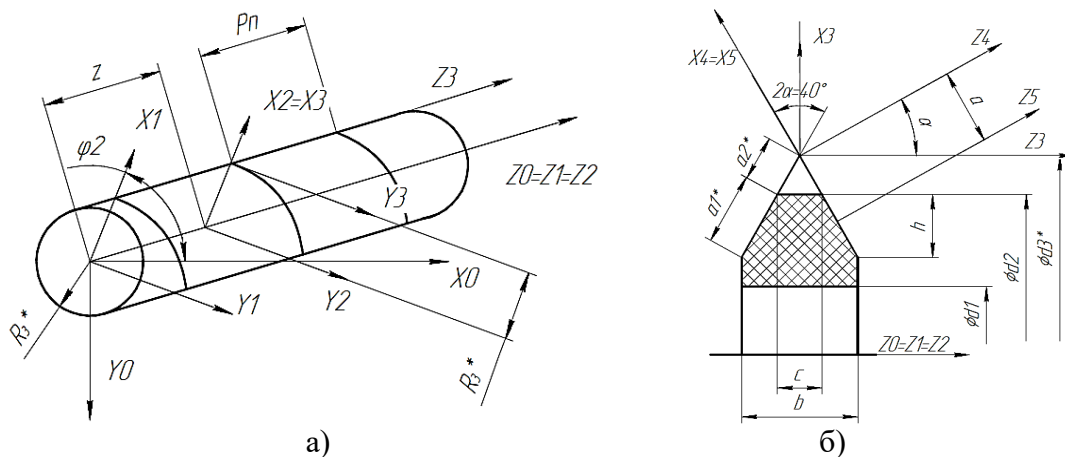


Рис. 3 – Схема взаємодії оброблюваної деталі і інструмента: а) вид зверху та б) вид збоку

З урахуванням (1) і (2) рівняння обробленої поверхні в формоутворюючому вигляді буде таким:

$$\begin{cases} \mathbf{r}_0 = A_{01}^4(\psi)A_{12}^5(\beta)A_{23}^1(s)A_{34}^2(h)A_{45}^6(\varphi_1)A_{01}^6(\varphi_2)A_{12}^3(z)A_{23}^1(R_3^*)A_{34}^5(\pm\alpha)A_{45}^1(-a)\mathbf{e}^4 \\ \psi = \frac{\varphi_1}{z}; \quad \varphi_2 = \frac{z}{P_n} \end{cases}$$

де  $z$  – число зубів оброблюваного колеса;

$P_n$  – крок гвинтової лінії АЧЕХ.

#### Список посилань

1. Решетов Д.Н. Точность металлорежущих станков. / Д.Н. Решетов, В.Т. Портман. – М.: Машиностроение, 1986. – 336 с.

УДК 621.923

Музичка Д.Г., канд. техн. наук, доцент

Солод В.Ю., канд. техн. наук, доцент

Музичка В.А., аспірант

Дніпровський державний технічний університет, м.Кам'янське, [kafedra\\_tm@ukr.net](mailto:kafedra_tm@ukr.net)

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНЦЕНТРАЦІЇ ЗЕРЕН ШЛІФУВАЛЬНОГО КРУГА НА ТЕОРЕТИЧНУ ДОВЖИНУ ТВІРНОЇ ГОЛОВНОГО РІЗАЛЬНОГО КОНУСУ

При прогнозуванні показників працездатності алмазного шліфувального інструменту при обробці твердих сплавів однією з важливих теоретичних проблем є опис закономірностей зносу робочої поверхні круга [1–4]. Закономірності формування профілю робочої поверхні шліфувального круга залежать від умов обробки. Виконані раніше дослідження [4–7] показали, що довжина твірної головного різального конусу (ГРК) може розглядатися як один з показників працездатності інструменту. Передбачається, що ефективне використання абразивного інструменту можливе при підборі таких характеристик шліфувальних кругів і режимів різання, при яких інструмент працюватиме в режимі самозаточування, тобто матиме трикутну форму профілю.

Запропонована методика формоутворення різальної поверхні алмазних кругів [8] враховує зношування зерен протягом певного часу контакту зерна з поверхнею, що обробляється, та дозволяє визначити макроеометричні параметри абразивовмісного шару, яким повинен відповідати профіль інструменту, та прогнозувати показники працездатності. Збільшення дійсного коефіцієнту занурення зерен внаслідок зносу еквівалентно підвищенню концентрацію зерен в алмазовмісному шарі круга.

При дослідженні впливу концентрації зерен на теоретичну довжину твірної ГРК моделювалася обробка твердих сплавів ВК6 і Т15К6 шліфувальними кругами 12А2-45° розмірами 125×32×10×3 з алмазами АС6 (гострими та з площадками зношування) зернистістю 100/80 на полімерній В2-01 і металевих зв'язках М1-04, М2-01. Концентрація зерен змінювалася в межах від 50 до 200 % (при інших рівних умовах). Продуктивність обробки становила 600 та 1200 мм<sup>3</sup>/хв.

Аналіз отриманих результатів (рис. 1) показав, що зі збільшенням концентрації зерен круга довжина твірної ГРК зменшується. Збільшення кількості алмазних зерен на робочій поверхні кругів веде до зменшення сили різання, що доводиться на одно зерно, і, як наслідок, до зниження напружень на границі зерно-зв'язка.

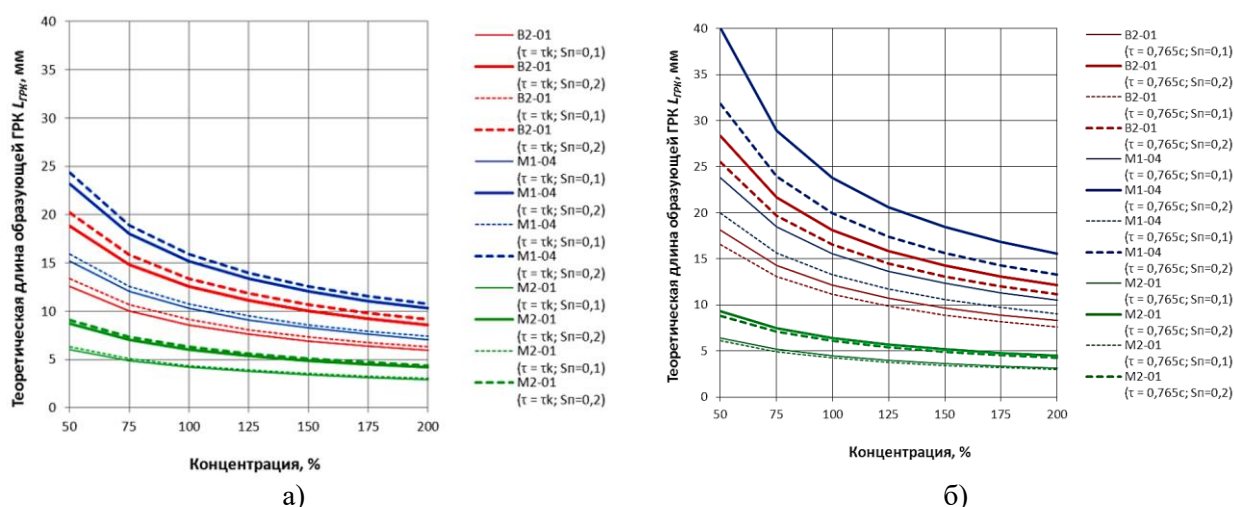


Рис. 1 – Вплив концентрації алмазів шліфувального круга на довжину твірної ГРК при обробці твердих сплавів Т15К6 (—) та ВК6 (- - -): а) незношене зерно; б) зерно з площадкою зносу



При обробці твердих сплавів ВК6 та Т15К6 кругами з однаковою концентрацією зерен у робочому шарі круга найбільш зношуються алмазні круги на зв'язці М1-04, а найменш – на зв'язці М2-01. Шліфувальні круги на полімерній зв'язці В2-01 займають проміжне положення між вказаними інструментами, що пов'язано з теплофізичними властивостями зв'язок. Ця тенденція зберігається як при обробці гострими зернами, так і зернами, що мають площадки зносу (табл. 1). Зниження довжини твірної ГРК зі збільшенням концентрації зерен у робочому шарі круга для алмазних кругів на металевих зв'язках М1-04 та М2-01 складає  $41,7 \div 61,2$  % та  $51,3 \div 52,0$  % відповідно, а на полімерній зв'язці В2-01 –  $52,3 \div 57,2$  %.

Таблиця 1 – Вплив концентрації зерен у робочому шарі круга на довжину твірної ГРК, %

| Тип зв'язки | Ступінь зносу різального зерна           | Продуктивність, мм <sup>3</sup> /хв. |      |       |      |
|-------------|------------------------------------------|--------------------------------------|------|-------|------|
|             |                                          | ВК6                                  |      | Т15К6 |      |
|             |                                          | 600                                  | 1200 | 600   | 1200 |
| В2-01       | гостре                                   | 53,0                                 | 54,8 | 52,3  | 54,4 |
|             | з площадкою зносу при $\tau_k = 0,5$ с   | 53,8                                 | 56,3 | 54,2  | 57,2 |
| М1-04       | гостре                                   | 53,6                                 | 41,7 | 53,4  | 55,6 |
|             | з площадкою зносу при $\tau_k = 0,765$ с | 54,7                                 | 56,0 | 55,8  | 61,2 |
| М2-01       | гостре                                   | 51,3                                 | 52,0 | 51,3  | 51,9 |
|             | з площадкою зносу при $\tau_k = 0,5$ с   | 51,3                                 | 51,9 | 51,3  | 52,0 |

Таким чином, змінюючи концентрацію зерен шліфувального круга можна спрямовано змінити довжину твірної ГРК у радіальному перерізі різальної поверхні шліфувального круга. Для зменшення довжини твірної ГРК необхідно збільшити концентрацію алмазів.

#### Список посилань

1. Захаренко И.П. Основы алмазной обработки твердосплавного инструмента / И.П. Захаренко. – Киев: Наук. думка, 1981. – 300 с.
2. Лавриненко В.И. Электрошлифование инструментальных материалов / В.И. Лавриненко. – Київ: Наукова думка, 1993. – 155 с.
3. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки / А.Н. Резников. – М.: Машиностроение, 1981. – 279 с.
4. Музичка Д.Г. Довжина твірної головного різального конусу як показник працездатності шліфувального інструменту. / Д.Г. Музичка // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем : Матер. VII Міжнародної науково-практичної конференції, 24-27 квітня 2017 р., м. Чернігів : у 2-х т. – Чернігів : ЧНТУ 2017. – Т. 1 – С. 127–128.
5. Музичка Д.Г. Дослідження впливу режимів різання на теоретичну довжину твірної головного різального конусу / Д.Г. Музичка, В.Ю. Солод, І.С. Кашинський // Вісник Херсонського націон. техн. ун-ту. – Херсон: ХНТУ. – 2018. – № 4(67). – С. 105-110.
6. Музичка Д.Г. Прогнозирование показателей работоспособности алмазного шлифовального инструмента. / Д.Г. Музичка // Математичні проблеми технічної механіки: Матер. Міжнародної наукової конференції, 14-17 квітня 2015 р., м. Дніпродзержинськ-Черкаси. – Дніпродзержинськ, 2015. – С. 127–128.
7. Музичка Д.Г. Вплив зносу зерен на теоретичну довжину твірної головного різального конусу / Д. Г. Музичка // Технічні науки та технології : науковий журнал. – Чернігів: ЧНТУ. – 2018. – № 3(13). – С. 18-29.
8. Музичка Д.Г. Повышение эффективности шлифования твердых сплавов направленным ограничением формоизменения режущей поверхности шлифовальных кругов: дисс. ... канд. техн. наук : 05.03.01 / Д.Г. Музичка. – Чернигов, 2015. – 182 с.

УДК 621.923

Музичка Д.Г., канд. техн. наук, доцент

Чернишов О.В., ст. викладач

Коваленко О.К., аспірант

Музичка А.Р., магістр

Дніпровський державний технічний університет, м.Кам'янське, [kafedra\\_tm@ukr.net](mailto:kafedra_tm@ukr.net)

Дербаба В.А., канд. техн. наук, доцент

Щербіна Є.Ю., асистент

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», [5762634@gmail.com](mailto:5762634@gmail.com)

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗЕРНИСТОСТІ ШЛІФУВАЛЬНОГО КРУГА НА ТЕОРЕТИЧНУ ДОВЖИНУ ТВІРНОЇ ГОЛОВНОГО РІЗАЛЬНОГО КОНУСУ

Аналіз праць [1–3] та ін. показав, що опис закономірностей зносу робочої поверхні круга є однією з важливих теоретичних проблем при прогнозуванні показників працездатності алмазного шліфувального інструменту при обробці твердих сплавів. Закономірності формування профілю робочої поверхні шліфувального круга залежать від умов обробки. Як показали дослідження [4–7], одним з показників працездатності інструменту може розглядатися довжина твірної головного різального конусу (ГРК). Вважається, що ефективне використання абразивного інструменту можливе при підборі таких характеристик шліфувальних кругів і режимів різання, при яких інструмент працюватиме в режимі самозаточування, тобто матиме трикутну форму профілю. Методика формоутворення різальної поверхні алмазних кругів [8], яка враховує зношування зерен протягом певного часу контакту зерна з поверхнею, що обробляється, дозволяє визначити макроеметричні параметри абразивовмісного шару, яким повинен відповідати профіль інструменту, та прогнозувати показники працездатності.

При дослідженні впливу зернистості шліфувального круга на теоретичну довжину твірної ГРК моделювалася обробка твердих сплавів ВК6 і Т15К6 алмазними кругами 12А2-45° розмірами 125×32×10×3 АС6 100% на полімерній В2-01 і металевих зв'язках М1-04, М2-01.

Дослідження впливу зернистості на довжину твірної ГРК проводилось у діапазоні розмірів зерен від 63 до 200 мкм. Отримані графіки (рис. 1) мають мінімум, що залежить від ступеню зносу різальних зерен, фізико-механічних властивостей зв'язки, що застосовується, круга та матеріалу, що обробляється, та свідчать про принципово різному впливі типу зв'язки на довжину твірної ГРК у досліджуваному інтервалі зернистості.

Так, при обробці твердих сплавів ВК6 та Т15К6 з продуктивністю 600 та 1200 мм<sup>3</sup>/хв. кругами на полімерній зв'язці В2-01 з гострими зернами мінімальні значення теоретичної довжини твірної ГРК від зернистості 125 мкм (ВК6) та 100 мкм (Т15К6). Зі збільшенням зносу зерен мінімальна довжина твірної буде спостерігатися при більш високій зернистості: 160 мкм, як для обробки з продуктивністю 600 мм<sup>3</sup>/хв., так й 1200 мм<sup>3</sup>/хв., незалежно від марки матеріалу, що обробляється.

При використанні кругів на металевих зв'язках М1-04 та М2-01 найменші значення довжини твірної ГРК спостерігаються лише при обробці твердого сплаву Т15К6 кругом із зернами, що мають площадки зносу, на зв'язці М1-04 незалежно від продуктивності. У інших випадках мінімум функції лежить за межами досліджуваного діапазону.

Зі збільшенням зернистості кількість зерен на робочій поверхні круга, що знімають припуск за одиницю часу, зменшується, а товщина шару, що зрізується одним зерном, збільшується. Проте при збільшенні навантаження на кожне різальне зерно напруження від дії силового фактору в зоні контакту зменшуються, оскільки інтенсивність зростання зернистості більше інтенсивності зростання горизонтальної складової сили різання. Одночасно з цим при збільшенні розміру зерна величина його виступання із зв'язки круга

(при сталому коефіцієнті величини занурення) також збільшується. Це веде до зростання відстані від теплового джерела до рівня зв'язки круга, а отже й часу розповсюдження тепла. Таким чином, напруження від дії температурного фактору також будуть зменшуватися.

Зі зростанням площадок зносу на різальних зернах сила тертя, що діє по задній поверхні, також буде зростати, що приведе до збільшення температурних та сумарних напружень на границі зерно-зв'язка.

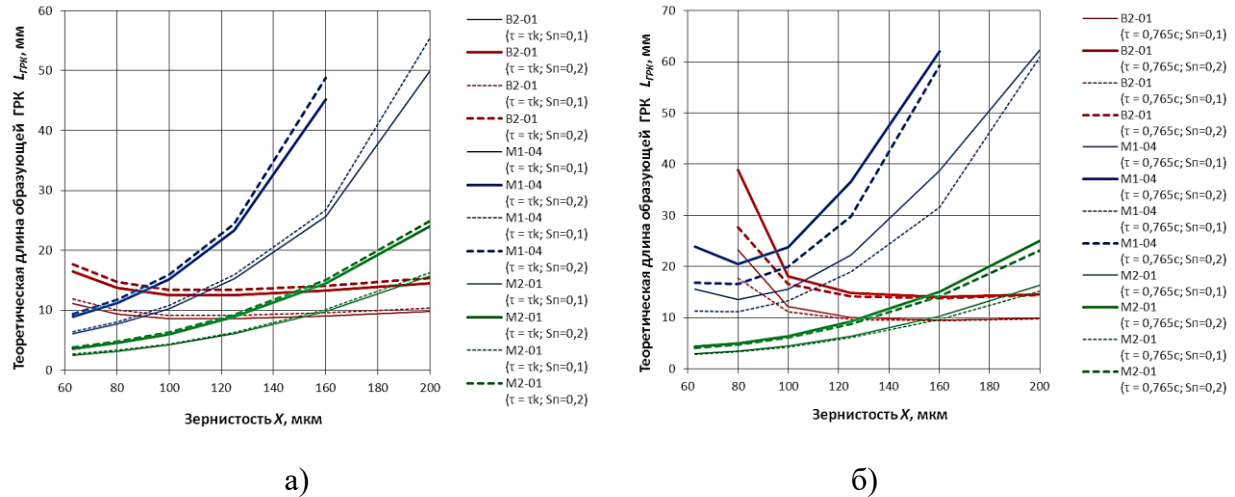


Рис. 1 – Вплив зернистості шліфувального круга на довжину твірної ГРК при обробці твердих сплавів Т15К6 (—) та ВК6 (---): а) незношене зерно; б) зерно з площадкою зносу

Таким чином, зернистість алмазів в кругах з різними типами зв'язок (полімерні, металеві) мають принципово різний вплив на довжину твірної ГРК: для металевих зв'язок для зменшення довжини твірної ГРК необхідно зменшити зернистість, а для полімерних, навпаки, збільшити.

#### Список посилань

- Захаренко И.П. Основы алмазной обработки твердосплавного инструмента / И.П. Захаренко. – Киев: Наук. думка, 1981. – 300 с.
- Лавриненко В.И. Электрошлифование инструментальных материалов / В.И. Лавриненко. – Київ: Наукова думка, 1993. – 155 с.
- Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки / А.Н. Резников. – М.: Машиностроение, 1981. – 279 с.
- Музичка Д.Г. Довжина твірної головного різального конусу як показник працездатності шліфувального інструменту. / Д.Г. Музичка // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем : Матер. VII Міжнародної науково-практичної конференції, 24-27 квітня 2017 р., м. Чернігів : у 2-х т. – Чернігів : ЧНТУ 2017. – Т. 1 – С. 127–128.
- Музичка Д.Г. Дослідження впливу режимів різання на теоретичну довжину твірної головного різального конусу / Д.Г. Музичка, В.Ю. Солод, І.С. Кашинський // Вісник Херсонського націон. техн. ун-ту. – Херсон: ХНТУ. – 2018. – № 4(67). – С. 105-110.
- Музичка Д.Г. Прогнозирование показателей работоспособности алмазного шлифовального инструмента. / Д.Г. Музичка // Математичні проблеми технічної механіки: Матер. Міжнародної наукової конференції, 14-17 квітня 2015 р., м. Дніпродзержинськ-Черкаси. – Дніпродзержинськ, 2015. – С. 127–128.
- Музичка Д.Г. Вплив зносу зерен на теоретичну довжину твірної головного різального конусу / Д. Г. Музичка // Технічні науки та технології : науковий журнал. – Чернігів: ЧНТУ. – 2018. – № 3(13). – С. 18-29.
- Музичка Д.Г. Повышение эффективности шлифования твердых сплавов направленным ограничением формоизменения режущей поверхности шлифовальных кругов : дисс. ... канд. техн. наук : 05.03.01 / Д.Г. Музичка. – Чернигов, 2015. – 182 с.

УДК 621.923

Майборода В.С., докт. техн. наук, професор  
 Гаврушкевич Н.В., ст.викладач  
 Овсієнко Л.Г., ст.викладач  
 Національний технічний університет України "КПІ ім. Ігоря Сікорського",  
 maiborodavs@gmail.com

## ХАРАКТЕР ВИТІСНЕННЯ ПОРОШКА ВІДНОВЛЮВАЛЬНИМ СТРИЖНЕВИМ ЕЛЕМЕНТОМ З РОБОЧОЇ ЗОНИ ПРИ МАГНІТНО-АБРАЗИВНОМУ ОБРОБЛЕННІ

Ефективність процесу магнітно-абразивного оброблення (МАО) в значній мірі залежить від виконання трьох основних умов [1], однією з яких є здатність магнітно-абразивного інструменту, що формується в робочих зонах до сталого перемішування і відновлення робочої форми. Вирішення зазначеної проблеми раніше досягалось шляхом використання певної форми робочих зазорів [2], додатковим використанням відновлюваних стрижневих елементів (ВСЕ) [3]. Проте при застосуванні ВСЕ має місце небажане витіснення частини магнітно-абразивного порошку з зони активного оброблення і часткове його розкидання відцентровими силами на неробочі елементи магнітної системи (рис.1). В зв'язку з цим, для мінімізації процесу витіснення важливим є встановлення раціонального діапазону кутів нахилу ВСЕ в залежності від швидкості процесу МАО і величини магнітної індукції в робочих зазорах. Експериментальні дослідження виконували при змінних значеннях магнітної індукції від 0,15 до 0,25 Тл, швидкостях обертання деталей навколо осі кільцевої ванни в діапазоні 1-3 м/с і змінних кутах нахилу ВСЕ від 40 до 60°.

Характерний вигляд залежностей ступеня витіснення порошку відновлюваним елементом при швидкості МАО 2 м/с наведено на рис.2.



Рис.1. – Зовнішній вигляд витісненого порошку при МАО

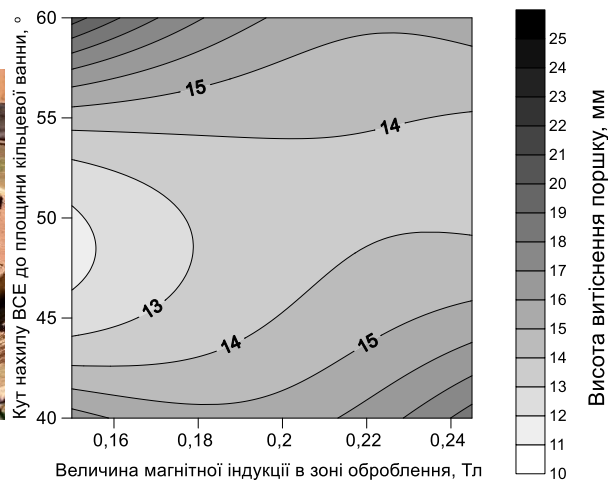


Рис.2. – Топограма зміни висоти піднімання ВСЕ магнітно-абразивного порошку при швидкості МАО 2 м/с в залежності від кута нахилу ВСЕ і магнітної індукції в зоні оброблення.

Встановлено, що найбільш раціональними кутами нахилу ВСЕ до площини кільцевої ванни є кути 47-50°. Аналіз зміни величини магнітної індукції над робочою зоною, наведений в [1] показав, що повернення витісненого порошку в процесі МАО в зону оброблення відбувається при магнітній індукції не менше 0,08 Тл.

### Список посилань

1. Майборода В. С., Слободянюк І. В., Джулий Д. Ю. Магнитно-абразивная обработка деталей сложной формы. Житомир: ПП "Рута", 2017. 272 с.
2. Майборода В. С. Формування магнітно-абразивного інструменту в кільцевих щілинах з різною формою поперечних перерізів робочих зон при магнітно-абразивній обробці кінцевих та осевих інструментів./ В. С. Майборода, В. М. Гейчук, О. А. Івановський// Вестник национального технического университета Украины "Киевский политехнический институт". Машиностроение.-вып.49.-2006.-С.153-164.
3. Ткачук І. В. Формування магнітно-абразивного інструменту зі стабільними властивостями в робочих зонах кільцевого типу: дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01 / Ткачук Іванна Валентинівна. – Київ, 2015. – 164 с.

УДК 621.87

**Неженцев О.Б., канд. техн. наук, доцент**

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»

[nezhentsev007@gmail.com](mailto:nezhentsev007@gmail.com)

### РОЗВИТОК СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ВАНТАЖОПІДЙОМНИХ МАШИН

В Україні практично відсутні системи моніторингу енергоспоживання вантажопідйомних машин. Останні в порівнянні з іншим промисловим обладнанням мають дуже низькі коефіцієнти корисної дії і є одними з найменш енергоефективних. Великі втрати енергії в кранових електроприводах, обумовлені як застарілими системами управління приводами, неоптимальними режимами роботи механізмів, так і незадовільним їх технічним станом. В першу чергу це стосується більше 80% вантажопідйомних кранів, які відпрацювали нормативний термін експлуатації.

Темпи оновлення парку вантажопідйомних кранів значно нижче темпів зростання числа машин з простроченими нормативними термінами експлуатації, тому з кожним роком зазначена проблема буде тільки загострюватися.

Розроблена систему моніторингу енергоспоживання вантажопідйомних машин, яка враховує нормативні вимоги безпечної експлуатації. Система моніторингу базується на встановленому функціональному зв'язку між змінами втрат енергії при експлуатації вантажопідйомних машин і їх технічним станом. В процесі експлуатації, наприклад, вантажопідйомних кранів істотно змінюється: технічний стан підкранових колій, реборд і ободів ходових коліс, гальмівних накладок, гальмівних шківів, канатних блоків, барабанів, підшипників і інших вузлів тертя в кранових механізмах; опір ізоляції і стан обмоток електродвигунів і релейно-контакторної апаратури, котушок електромагнітних штовхачів, в'язкість робочої рідини в електрогідроштовхачах і редукторах. Внаслідок цього в процесі експлуатації змінюються також втрати енергії і в цілому енергоспоживання машин.

Для проведення досліджень і оптимізації енергетичних показників кранових електроприводів, динамічних навантажень і кінематичних параметрів вантажопідйомних машин, розроблено математичні моделі [1 - 4], які враховують перехідні процеси в кранових електроприводах, коливання металоконструкції, розгойдування вантажу та являють собою сукупність нелінійних диференціальних рівнянь. Інтегрування останніх здійснюється за допомогою пакету комп'ютерних прикладних програм [5, 6], що базуються на чисельних методах і дають змогу дослідити різні процеси розгону і гальмування механізмів пересування кранів, підйому та опускання вантажів (в тому числі: багатоступінчастий пуск по нелінійним механічним характеристикам, пуск при частотному регулюванні, гальмування противмиканням, динамічне гальмування, гальмування колодковим гальмом і ін.).

За результатами досліджень встановлено ступінь впливу різних факторів на втрати енергії і енергоспоживання вантажопідйомних машин. Наприклад, енергоспоживання електроприводу механізму підйому крім висоти, на яку піднімають вантаж, також істотно залежить від моменту інерції ротора двигуна, муфт і гальмівного шківів, розташованих на швидкохідному валу.

Втрати енергії приводу механізму пересування крана в першу чергу залежать від тривалості та швидкості пересування крана, маси металоконструкції крана і вантажу, технічного стану підкранових колій, кутів установки ходових коліс, одночасності спрацювання гальм і двигунів роздільного приводу.

За допомогою теорії планування експерименту встановлено функціональний зв'язок між величинами енергоспоживання і параметрами, які характеризують технічний стан вантажопідйомних машин. На основі багатофакторного аналізу визначено шляхи зниження втрат енергії кранів [2, 7]. Розроблено концепцію створення засобів контролю енергоспоживання, втрат енергії і інших параметрів вантажопідйомних машин [8]. Для зручності накопичення, обробки та аналізу результатів моніторингу вантажопідйомних машин і довідково-статистичної інформації розроблено автоматизований програмний комплекс [9].

Отримані результати досліджень дозволили підвищити точність розрахунку: втрат енергії машин в середньому на 20%, динамічних навантажень - на 25%, амплітуди розгойдування вантажу - в 2,3 рази.

#### Список посилань

1. Неженцев А.Б. Моделирование потерь энергии при работе механизма подъема крана [Текст] / А.Б. Неженцев, С.М. Аветисян, Д.А. Зябрев // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, №7(77), частина 2. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2004. – С. 117-123.
2. Неженцев О.Б. Зниження динамічних навантажень при гальмуванні мостового крана шляхом оптимізації механічної характеристики електроприводу [Текст] / О.Б. Неженцев // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія Машинобудування. – Київ, 2015, Вип. №3(75). – С. 151 – 158.
3. Неженцев О.Б. Моделювання втрат енергії при гальмуванні мостового крана [Текст] / О.Б. Неженцев // Матеріали VI-ої Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології промислового комплексу – 2020», випуск 6. – Херсон: ХНТУ, 2020. – С. 135-137.
4. Неженцев А.Б. Потери энергии при торможении противовключением кранов мостового типа [Текст] / А.Б. Неженцев // Підйомно-транспортна техніка, №1(21). - Дніпропетровськ, 2007. – С. 22-30.
5. Аветисян С.М. Программное обеспечение для исследования переходных процессов грузоподъемных кранов (часть 1: при работе механизмов передвижения) [Текст] / С.М. Аветисян, А.Б. Неженцев // Підйомно-транспортна техніка, № 4(8). - Дніпропетровськ, 2003. – С. 33-48.
6. Аветисян С.М. Программное обеспечение для исследования переходных процессов грузоподъемных кранов (часть 2: при работе механизмов подъема грузов [Текст] / С.М. Аветисян, А.Б. Неженцев // Підйомно-транспортна техніка, № 1(9). - Дніпропетровськ, 2004. – С. 83-95.
7. Неженцев А.Б. Исследование влияния скорости передвижения грузоподъемного крана на энергопотребление и динамические нагрузки [Текст] / А.Б. Неженцев // Техніка та технологія виконання будівельних, колійних та перевантажувальних робіт на транспорті. Сб. науков. праць Української держав. академії залізничного транспорту. Вип. №58. – Харків, 2004. – С. 35-42.
8. Неженцев А.Б. Концепция мониторинга энергопотребления грузоподъемных машин [Електронний ресурс] / Наукові вісті Давіського університету, №7, 2012 р. - Режим доступу: [www.URL: http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Nvdu/2012-7/12nabegm.pdf](http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Nvdu/2012-7/12nabegm.pdf).
9. Неженцев О.Б. Програмне забезпечення для обробки інформації про технічний стан вантажопідйомних кранів [Текст] / О.Б. Неженцев, С.М. Аветисян // Priority directions of science development. Abstracts of the 1st International scientific and practical conference. (October 28-29, 2019) SPC «Sci-conf.com.ua», Lviv, Ukraine. 2019. Pp. 117-122.



УДК 629.1:623

**Жирний А.В., начальник НДВ**  
**Кайдаш К.І., інженер групи контролю якості**  
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та  
військової техніки, м.Черкаси, [gva04041976@gmail.com](mailto:gva04041976@gmail.com)

## МОДЕРНІЗАЦІЯ ТАНКУ Т-64 ПІД ЧАС КАПІТАЛЬНОГО РЕМОНТУ

У світі та й в Україні ще не вичерпані запаси основних танків, розроблених в СРСР. Зрозуміло, що ці танки, розроблення яких почалось наприкінці 1950-х років, потребують суттєвого оновлення та приведення тактико-технічних характеристик до вимог сучасного бою. Модернізація радянських танків триває починаючи зі створення Збройних Сил України до сьогоднішнього часу. Вивчення змісту та спрямованості програм модернізації основних танків в Україні потребує визначення основних факторів, що впливали на цей процес, адже без їх усвідомлення встановити причинно-наслідкові зв'язки, характерні для розроблення та реалізації модернізаційних програм, неможливо [1].

Завод ДП «Харківський бронетанковий завод» освоїло ремонт та модернізацію танків Т-64БМ2, невелика партія яких вже приймає участь в захисті суверенитету України (рис.1). Фахівцями ДНДІ ВС ОВТ проводилась перевірка тактико-технічних характеристик дослідного зразка танку Т-64 БМ2 з врахуванням застосування силової установки з двигуном 6ТД і відповідними вузлами та системами. Під час освоєння ремонту і модернізації на танк Т-64БМ2 було встановлено тисячосильний двотактний опозитний 6-ти циліндровий дизельний двигун 6ТД. Бойова машина стала більш маневреною, попри незначне збільшення ваги у зв'язку з підвищеним броньованим захистом [2, 3].



Рис.1 – Участь 4 танків Т-64БМ2 у параді до 30-ї річниці Незалежності України. 2021 рік.  
Джегело: Радіо Свобода

Модернізація основних танків в Україні підпадає під вплив різних факторів, які можна виділити наступним чином:

➤ Технічні фактори: Розвиток нових технологій у сфері бронетехніки створює потребу в модернізації танків, щоб забезпечити відповідність сучасним вимогам бойового поля. Це включає покращення озброєння, систем управління вогнем, бронезахисту, мобільності та інших параметрів.

➤ Геополітичні фактори: Геополітичне положення України, зокрема її сусідство з Росією, впливає на потребу в модернізації основних танків. Конфлікт на сході України і анексія Криму підкреслили необхідність покращення обороноздатності танків, щоб протистояти сучасним загрозам.

➤ Фінансові фактори: Фінансування галузі оборони і здійснення модернізації танків залежить від фінансових можливостей держави. Бюджетні обмеження можуть впливати на темпи і обсяги модернізації.

➤ Міжнародні зв'язки: Україна може співпрацювати з іншими країнами або міжнародними організаціями для отримання технологічної допомоги, фінансування або отримання ліцензій на виробництво. Міжнародна співпраця може впливати на процес модернізації танків, забезпечуючи доступ до передових розробок та ресурсів.

➤ Військові потреби: Вимоги військової доктрини і військових оперативних сцен грають важливу роль у визначенні факторів, що впливають на модернізацію основних танків в Україні. Ось деякі з них:

- Адаптація до сучасної військової доктрини: Вимоги військової доктрини визначають, яким чином мають бути використані танки на полі бою. Наприклад, якщо стратегічний акцент робиться на маневреності, танки можуть бути модернізовані з урахуванням покращення мобільності, швидкості і маневреності.

- Військові загрози: Аналіз військових загроз та потенційних противників допомагає визначити, які здатності потрібно покращити у танках. Наприклад, якщо існує загроза з боку супротивника, який володіє потужною протитанковою зброєю, танки можуть бути модернізовані для поліпшення бронезахисту.

- Умови бойових операцій: Різні оперативні сценарії, такі як міська війна, гірські регіони або дії в умовах обмеженої видимості, вимагають від танків певних особливостей і можуть стимулювати їх модернізацію. Наприклад, у міському середовищі можуть знадобитися танки з поліпшеними системами наведення та зниженою видимістю.

- Вимоги ефективності: Завдання забезпечення високої ефективності та пропорційності витрат у реалізації військових завдань може впливати на модернізацію танків. Вдосконалення систем управління вогнем та комунікацій може покращити точність і швидкість реакції танка на загрози, забезпечуючи ефективність бойових операцій. Модернізація таких систем може включати в себе встановлення сучасних комп'ютеризованих систем управління вогнем, які забезпечують точність стрільби, враховуючи різні фактори, такі як вітер, відстань та рух цілі.

Крім того, забезпечення ефективності може вимагати покращення мобільності танка. Це може означати модернізацію системи приводу, покращення механічних та ходових властивостей, а також збільшення запасу ходу танка. Важливо мати танк, який може швидко реагувати на зміни в бойовій ситуації та виконувати поставлені завдання ефективно та безпечно.

Успішний розвиток озброєння та військової техніки пов'язан з модернізацією спрямованою на покращення функціональних характеристик, надійності та інших експлуатаційних параметрів, щоб підвищити загальну ефективність техніки. Модернізація зазвичай вимагає значних фінансових вкладень і може бути довготривалим процесом. Доробка під час капітального ремонту, з іншого боку, передбачає відновлення пошкоджених, зношених або втрачених елементів, щоб привести техніку в робочий стан, зазвичай, здійснюється в рамках вже запланованого капітального ремонту і потребує менших бюджетних асигнувань.

#### Список посилань

1. Фактори, що впливали на розвиток основних бойових танків радянського виробництва (1991 – 2022 рр.) / С.П. Буряк, С.М. Гулий // Збірник наукових праць ДНДІ ВС ОВТ, 2023, Вип. 1(15)-С.34-40.

2. Основной танк Т-64. 50 лет в строю / В. Чобиток, М. Саенко, А. Тарасенко, В. Чернышев /. Война и мы. Танковая коллекция. М.: Яуза. 2016 160 с.

3. У Харкові починають нову модернізацію Т-64 за зразком 2022 року <https://mil.in.ua/uk/news/u-harkovi-pochynayut-novu-modernizatsiyu-t-64-za-zrazkom-2022-roku>.

УДК 621.314:621.396.66

**Яворський І.М.,** докт. фіз.-мат. наук, професор

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, [ihor.yavorskyj@gmail.com](mailto:ihor.yavorskyj@gmail.com)

Бидгощська політехніка, Бидгощ, Польща, [javor@pbs.edu.pl](mailto:javor@pbs.edu.pl)

**Юзефович Р.М.,** докт. техн. наук, доцент

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, [roman.yuzefovych@gmail.com](mailto:roman.yuzefovych@gmail.com)

Національний університет "Львівська політехніка", [roman.m.yuzefovych@lpnu.ua](mailto:roman.m.yuzefovych@lpnu.ua)

**Мацько І.Й.,** канд. техн. наук, старший науковий співробітник

**Личак О.В.,** канд. техн. наук, старший дослідник

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, [olehlychak2003@yahoo.com](mailto:olehlychak2003@yahoo.com)

## АНАЛІЗ ВІБРАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ ВІД ТОНКОЇ ПЛАСТИНИ З ТРІЩИНОЮ

Аналізуючи вібраційні сигнали від механічних обертових систем значну увагу приділяють вивченню спектральної густини потужності та кореляційної функції. Більшість дослідників припускають, що вібраційний сигнал є випадковим стаціонарним процесом і тому, всі обрахунки проводять у стаціонарному наближенні. Звичайно, спектральна густина потужності є однією з найінформативніших характеристик вібраційного сигналу, проте аналіз в стаціонарному наближенні дає змогу виявляти лише розвинуті дефекти. Виявити дефект на ранній стадії розвитку, користуючись таким підходом, непросто. Тому важливо є дослідити зміни спектральних властивостей вібраційного сигналу під час розвитку дефекту і аналіз можливостей побудови на цій основі критеріїв для визначення дефектності механічного вузла.

Вивчення зміни спектральних властивостей вібраційного сигналу проводиться на основі аналізу вібраційних сигналів від тонкої пластини з тріщиною, до кінців якої прикладається зовнішня циклічна сила. У [1] показано, що тріщина призводить до появи нестационарності у вібраційному сигналі. Чим більша тріщина, тим більшими за величиною є вищі кореляційні компоненти періодично корельованих випадкових процесів (ПКВП) [2], якими описують вібраційний сигнал. Вимушені коливання тонкої пластини з тріщиною описують за допомогою системи нелінійних диференціальних рівнянь другого порядку [3]. Результати досліджень показали, що кореляційна структура вібраційного сигналу залежить від довжини тріщини. З ростом тріщини в кореляційній структурі вібраційного сигналу, окрім нульового з'являється перший кореляційний компонент, потужність якого зростає з ростом тріщини. Також встановлено, що коефіцієнти замикання компонентів кореляційної функції змінюються зі збільшенням відносної довжини тріщини. Це пояснюється тим, що спектральні характеристики вібраційного сигналу деталі без тріщини мають характерне вузькосмугове підняття в області частоти, яка відповідає резонансній частоті деталі, тоді як у випадку тіла з тріщиною маємо два резонансних близьких підняття. Зі збільшенням довжини тріщини відстань між піками збільшується, що призводить до їх розширення, котре проявляється у збільшенні коефіцієнта замикання. Ці особливості поведінки спектральних характеристик можуть бути використані як діагностичні критерії розвитку тріщини в механічній системі.

### Список посилань

1. Вплив розміру тріщини на кореляційну структуру вібраційного сигналу / І. Й. Мацько, І. Б. Кравець, Р. М. Юзефович, І. М. Яворський // Відбір і обробка інформації. – Львів. – 2009. – № 31 (107). – С. 18–25.
2. Яворський І.М. Математичні моделі та аналіз стохастичних коливань. Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів, 2013. – 804 с.
3. Gelman L., Gorpinich S. Non-linear Vibroacoustical Free Oscillation Method For Crack Detection And Evaluation // Mechanical Systems and Signal Processing. – 2000. – 14(3) – P. 343–351.

## СЕКЦІЯ 2. ТЕХНОЛОГІЇ ДЕРЕВООБРОБКИ І МЕБЛЕВОГО ВИРОБНИЦТВА

УДК 691.075.5

Касянчук І.О., аспірант

Цапко Ю.В., докт. техн. наук, професор

Горбачова О.Ю., канд. техн. наук

Мазурчук С.М., канд. техн. наук

Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ,

[gorbachova.sasha@ukr.net](mailto:gorbachova.sasha@ukr.net)

### ВСТАНОВЛЕННЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ ДЕРЕВИННО-ПОЛІМЕРНОГО МАТЕРІАЛУ

Вироби з деревини знаходять широке застосування у будівництві оскільки мають унікальні властивості: мала об'ємна вага, низька теплопровідність, досить висока атмосферостійкість, крім того вони володіють високою міцністю та пружністю. Однак при виготовленні будівельних виробів обов'язково присутні побічні продукти (відходи лісопиляння), що потребують утилізації, а саме тирса.

Основне використання тирси у будівництві це виготовлення плитних матеріалів та теплоізолювальних виробів. Застосування поліефірних або епоксидних сухих сумішей при формуванні теплоізоляційних виробів з деревної тирси підвищує атмосферостійкість виробів, оскільки наведені смоли характеризуються стійкістю до води та перепаду температур.

У зв'язку з цим постає необхідність визначення теплофізичних властивостей виробів з деревної тирси та сухих клейових сумішей з поліефірних та епоксидних смол, що і обумовило необхідність проведення досліджень у даному напрямку.

Для дослідження теплопровідності теплоізоляційного виробу з деревної тирси та сухих сумішей з поліефірних та епоксидних смол були виготовлені зразки шляхом змішування тирси та сухих сумішей смол у пропорції 1:2, з яких формували килим розмірами близько 150x150x20 мм та спікали за температури 200°C протягом 20 хв. (рис. 1).



Рис. 1 – Зразки виробів для досліджень

Для дослідження теплоізолювальних властивостей матеріалів було застосовано спеціальне обладнання [1].

Суть досліджень з визначення теплопровідності полягає в тому, що в зразок матеріалу поміщали нагрівач з термопарою, а на оберненій стінці зразка контрольну термопару. При досяганні температури 70°C нагрівач виключали, продовжуючи вимірювати температуру до значення  $0,5T_{max}$  на оберненій поверхні зразка. За виміряними величинами визначали теплоізолювальні властивості зразка.



Результати досліджень з визначення температури та тривалості індукційного часу передавання тепла через зразок, виготовленого з деревної тирси та сухих сумішей з поліефірних та епоксидних смол наведено на рис. 2.

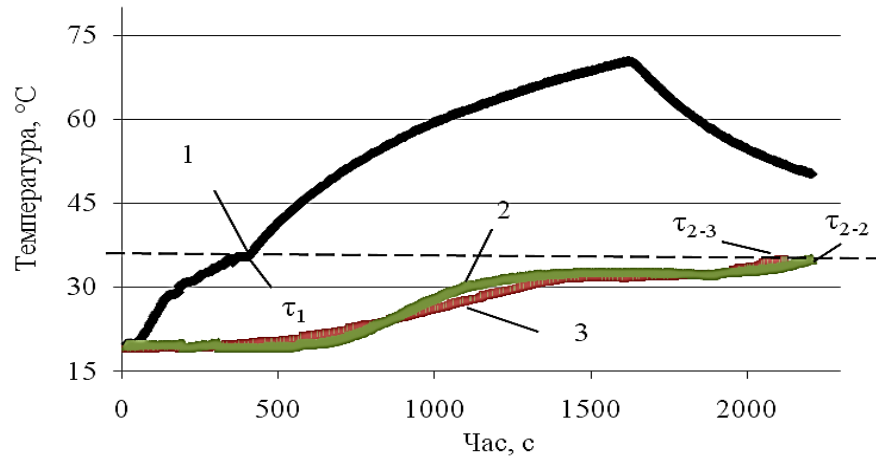


Рис. 2 – Результати випробувань теплопровідності теплоізоляційного виробу:  
1 – нагрівальна крива, 2 – значення температури на оберненій поверхні для виробу на основі тирси і поліефірної смоли, 3 – значення температури на оберненій поверхні для виробу на основі тирси і епоксидної смоли

Точки на рис. 2  $\tau_1$  – відповідають значенню температури нагрівальної кривої,  $\tau_2$  – відповідно у значенню температури на оберненій поверхні.

Виходячи з результатів вимірюної температури за методикою, яку наведено вище, розраховані теплофізичні характеристики матеріалів з деревної тирси та смоли (табл. 1).

Таблиця 1 – Теплофізичні характеристики теплоізоляційного виробу

| Назва матеріалу                    | Товщина, мм | Маса, г | Розрахункові характеристики виробів з деревної тирси |                                                              |                                           |                                       |                          |
|------------------------------------|-------------|---------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|
|                                    |             |         | Густина $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>                   | Теплова активність, Вт·с <sup>1/2</sup> /(м <sup>2</sup> ·К) | Температуропровідність, м <sup>2</sup> /с | Теплопровідність $\lambda$ , Вт/(м·К) | Теплоємність, кДж/(кг·К) |
| Виріб з тирси з поліефірною смолою | 19,2        | 177     | 415                                                  | 6,22                                                         | $0,20 \cdot 10^{-6}$                      | 0,00280                               | 33,22                    |
| Виріб з тирси з епоксидною смолою  | 19,0        | 175     | 384                                                  | 6,22                                                         | $0,21 \cdot 10^{-6}$                      | 0,00285                               | 32,15                    |

Таким чином встановлено, що температуропровідність теплоізоляційного виробу з тирси склала не більше  $0,21 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с, теплопровідність зразка не перевищила 0,00285 Вт/(м·К). Окрім того, теплоємність виробу відповідає значенню в межах 70÷90 кДж/(кг·К), а значення теплоємності для виробу з деревної тирси склало 32÷33,5 кДж/(кг·К) відповідно та класифікує як теплоізолювальний матеріал.

#### Список посилань

1. Determination of thermal and physical characteristics of dead pine wood thermal insulation products / [Tsapko, Yu., Zavialov, D., Bondarenko, O., Marchenco N., Mazurchuk S., Horbachova O.] // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2019. – Vol. 4/10 (100). – pp. 37 – 43.

УДК 684: 674.47.54

Яремчук Л.А., докт. техн. наук, професор

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, [l.yaremchuk@nltu.edu.ua](mailto:l.yaremchuk@nltu.edu.ua)

### ТОВЩИНА ПЛІВКИ ЗАХИСНО-ДЕКОРАТИВНОГО ПОКРИТТЯ НА ТЕРМОДЕРЕВИНІ

На сьогоднішній день стрімко збільшується попит на термодеревину. Збільшення попиту пов'язане з рядом переваг даного матеріалу у порівнянні із звичайною деревиною: довговічність; розмірна стабільність; знижена гігроскопічність та теплопровідність; природний колір деревини; екологічність.

Піддаючи термічній обробці деревину однієї породи, можемо одержати колір та природний вигляд іншої. Ця можливість дає змогу використовувати деревину менш цінних порід, імітуючи цінні породи деревини.

Із рядом вище перелічених переваг термодеревина володіє і недоліками: зниження міцності, збільшення крихкості; низька світлостійкість, а також суттєво змінюється її поверхнева енергія.

Саме зміна поверхневої енергії термодеревини може викликати зниження адгезії при таких важливих технологічних операціях, як склеювання та опорядження. При нанесенні клеєних та опоряджувальних матеріалів на поверхню термодеревини суттєво змінюється її змочування, а також в залежності від температури та часу модифікації змінюється товщина плівки лакофарбового покриття, при однакових витратах на одиницю площі.

Відомо, що найкращим опоряджувальним матеріалом для термодеревини є висихаючі олії. Тому в роботі представлені дані зміни товщини захисно-декоративної плівки створеної лляною олією на термодеревині від температури і часу модифікації.

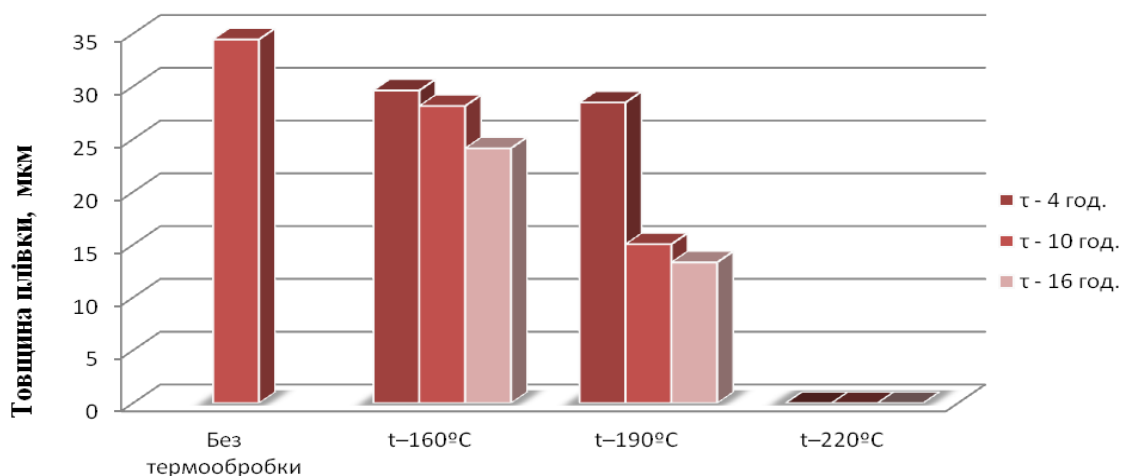


Рис. 1 – Залежність товщини плівки сформованої лляною олією на термодеревині ясена від температури і часу модифікування.

Товщина плівки при модифікуванні за температури 160°C змінюється незначно, при модифікуванні за температури 190°C з часом витримки 4 год. становить 28 мкм. При збільшенні часу товщина плівки різко зменшується, а при температурі модифікування 220°C плівка взагалі не утворилася, весь шар олії просочився у підкладку, що підтверджує зміну поверхневої енергії деревини та дифузії термодеревини.

#### Список посилань

1. Гупало О. Хімія деревини / Гупало О., Тушницький О. – Львів: Знання, 2008. – 276 с.
2. Яцимарський В. Фізична хімія. / В. Яцимарський. – К.: Перун, 2007. – 512 с.
3. Гомонай В.І. Фізична та колоїдна хімія. / В.І. Гомонай. – К.: Знання, 2014. – 496 с.



УДК 674.213:69.025.351.3:678.073

Дацків Г.М., аспірант

Кшивецький Б. Я., докт. техн. наук, професор

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, datskivhalyna12@gmail.com

### ЩОДО ЗМІНИ МІЦНОСТІ КЛЕЙОВИХ З'ЄДНАНЬ ТЕРМІЧНО МОДИФІКОВАНОЇ ДЕРЕВИНИ ЯСЕНА І СОСНИ НЕМОДИФІКОВАНОЇ ПРИ ВПЛИВІ ПРИРОДНИХ ФАКТОРІВ

У процесі термічного модифікування, за рахунок зміни фізико-механічні властивостей деревини, значно підвищується її стійкість до температурних та вологісних умов експлуатації [6, 7, 8]. Разом з тим, дія високих температур негативно впливає на адгезійні властивості термічно модифікованої деревини, що в свою чергу призводить до зменшення міцності клейового з'єднання. Дослідження щодо склеювання термічно модифікованої деревини між собою з використанням різних клейових матеріалів наведені у роботах [4, 5, 9]. Проте, мало досліджено зміну міцності клейових з'єднань термічно модифікованої і немодифікованої деревини.

Для вирішення цього питання авторами було прийнято рішення про проведення експериментальних досліджень зміни міцності клейових з'єднань термічно модифікованої деревини ясена з немодифікованою деревиною сосни, склеєної термопластичними полівінілацетатними клеями із класом довговічності D4. Дослідження проводились двома методами, а саме: тривалим (природним) і пришвидшеним (лабораторним). Методики досліджень, підготовка матеріалів та проведення експериментів наведено у роботах [2, 3]. Результати пришвидшених експериментальних досліджень наведено у роботі [1].

На рис. 1 наведено графічну інтерпретацію зміни середньої міцності термічно модифікованої деревини ясена і сосни немодифікованої на протязі двох років випробувань у природних умовах.

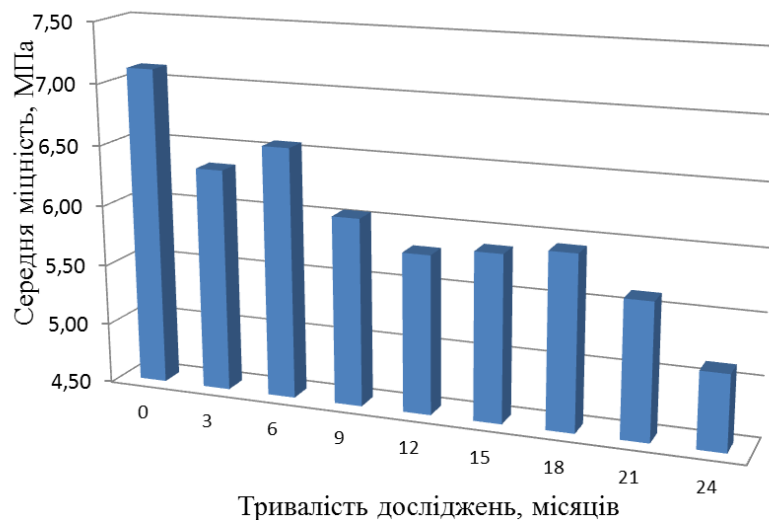


Рис. 1 – Зміна середньої міцності термічно модифікованої деревини ясена і сосни немодифікованої протягом двох років випробувань у природних умовах.

Як видно з рис. 1 міцність клейових з'єднань термічно модифікованої деревини ясена і сосни немодифікованої, змінюється синусоїдально. Середня міцність контрольних зразків становить 7,12 МПа. А середня міцність після двох років випробувань зменшилась до 5,13 МПа, що у відсотковому співвідношенні становить 27,9%. Таке зменшення міцності є допустимим для клейових з'єднань, які експлуатуються у змінному температурно вологісному середовищі. Разом з тим, міцність клейових з'єднань змінюється по-різному

залежно від пори року. На першому році випробувань у зимово-весняний період міцність збільшилась на 3,47%, а у літньо-осінній – зменшилась на 3,96%.

Підсумовуючи отримані результати досліджень можна зробити наступні висновки.

1. Досліджено, що міцність клейових з'єднань термічно модифікованої деревини ясеня і сосни немодифікованої склеєної термопластичними полівінілацетатними клеями із класом довговічності D4 після двох років випробувань у природних умовах зменшилась на 27,9%.

2. Встановлено, що зміна міцності таких клейових з'єднань у різні періоди випробувань змінюється не однаково. А саме, у літньо-осінній період міцність зменшується, а в зимово-весняний – навпаки збільшується.

3. Отримані результати досліджень дозволяють стверджувати, що термопластичні полівінілацетатні клейові з'єднання термічно модифікованої деревини ясеня і сосни немодифікованої із класом довговічності D4 забезпечують експлуатаційні характеристики конструкціям у змінному температурно вологісному середовищі.

### Список посилань

1. Дацків Г. М. Щодо пришивдшених експериментальних досліджень міцності клейового з'єднання термічно модифікованої деревини клеями на основі ПВА. / Г. М. Дацків, Б. Я. Кшивецький // XI Міжнародна науково-практична конференція «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» Том 1. 26 – 27 травня 2021 р., м. Чернігів. – С. 175-177.

2. Дацків Г.М. Щодо результатів пришивдшених експериментальних досліджень міцності склеювання термічно модифікованої деревини клеями на основі ПВА. / Г. М. Дацків, Б. Я. Кшивецький // XII Міжнародна науково-практична конференція «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» Том 1. 26 – 2 травня 2022 р. – С. 168-169.

3. Дацків, Г. М., Кшивецький, Б. Я. (2022). Встановлення міцності клейових з'єднань термічно модифікованої та звичайної деревини із використанням різних методик. Науковий вісник НЛТУ України, 32(5), 63-68. <https://doi.org/10.36930/40320509>

4. Biazzon, J.C., Junior, M.L., Munis, R., & Araujo, V. (2019). Shear strength of eucalyptus saligna wood joints bonded with polyvinyl acetate adhesive. Bioresources, 14(2), 4590-4602. doi: 10.15376/biores.14.2.4590-4602.

5. Can, A., Krystofiak, T., & Lis, B. (2021). Shear and adhesion strength of open and closed system heat-treated wood samples. Maderas: Ciencia y Tecnologia, 23. doi: 10.4067/s0718-221x2021000100432.

6. Kozakiewicz, P., Drożdżek, M., Laskowska, A. K., Grzeskiewicz, M. (2020). Chemical Composition as a Factor Affecting the Mechanical Properties of Thermally Modified Black Poplar (*Populus nigra* L.). Bioresources 15(2):3915-3929. DOI:10.15376/biores.15.2.3915-3929.

7. Kristak, L., Réh, R., & Kubovský, I. (2021). New challenges in wood and wood-based materials. Polymers, 13(15), article number 2538. doi: 10.3390/polym13152538.

8. Wang, D., L. Lin, L., Fu, F. (2022). Molecular-level characterization of changes in the mechanical properties of wood in response to thermal treatment. Cellulose 29(6). DOI:10.1007/s10570-022-04471-3.

9. Vidholdová, Z., Ciglian, D., & Reinprecht, L. (2021). Bonding of the thermally modified norway spruce wood with the pur and pvac adhesives

УДК 674.8; 674.061

**Буйських Н. В., канд. техн. наук, ст. викладач**

Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ,  
[nataby@meta.ua](mailto:nataby@meta.ua)

### ЩОДО ПИТАНЬ ТЕРМІНОЛОГІЇ НА ДЕРЕВИННІ ТА ПАЛИВНІ ТРІСКИ

Одним із продуктів переробки деревини є тріска. Тріска широко застосовується у виготовленні деревних плит, як біопаливо, сировина для будівельної галузі та у інших сферах господарства. Тож на неї є суттєвий попит, як в Україні, так і за кордоном.

Для успішної торгівлі деревинною тріскою, а також обґрунтованого формування цінової політики, необхідно, щоб ця продукція була стандартизована, як за термінологією, так і за

розмірно-якісними характеристиками. Так за ДСТУ EN ISO 17225-4:2018 (ISO 17225-4:2014, IDT) – Solid biofuels – Fuel specifications and classes – Part 4: Graded wood chips (Тверде біопаливо. Технічні характеристики та класи. Частина 4. Сорткування деревинних трісок) деревинні тріски (wood chips) визначаються як подрібнена деревна біомаса у вигляді часток певного розміру, що утворюються в процесі механічної обробки деревини гострими інструментами та має прямокутну форму з типовою довжиною від 5 мм до 50 мм і товщиною значно меншою за інші розміри.

ДСТУ EN ISO 17225 охоплює лише деревні тріски, виготовлені з первинної необробленої деревини, побічних продуктів деревообробної промисловості та хімічно необробленої деревини, що була у використанні.

ДСТУ EN 14588:2013 застосовують до твердих біопалив, отриманих з наведених продукції сільського та лісового господарств, рослинних відходів сільського та лісового господарств, рослинних відходів харчової промисловості, деревних відходів, зокрема будівельних відходів та брухту, за винятком деревних відходів, які можуть містити галогеновмісні органічні з'єднання чи важкі метали внаслідок оброблення деревини консервантами або з покриттями, коркових відходів, волокнистих рослинних відходів від виробництва целюлози з вихідної сировини та від виробництва паперу з целюлозної маси, якщо ці відходи спалюють на місці виробництва, енергія, що виділяється, повертається назад у виробництво.

ТУУ 6.1-00994207-007:2018 встановлюють класифікацію і технічні вимоги до трісок технологічних з деревини хвойних та листяних порід. Ці технічні умови поширюються на всі види трісок технологічних, призначених для целюлозно-паперового і гідролізного виробництва, виготовлення деревиностружкових і деревиноволокнистих плит.

Технологічна тріска (technological chips) за ДСТУ 3071 - подрібнена деревина встановлених розмірів для вироблення целюлози, деревних плит і продукції лісохімічних та гідролізних виробництв. Паливна тріска (hog fuel) та тріски паливні (hog fuel) це подрібнена деревина встановлених розмірів, класів і технічних параметрів для використання у якості твердого біопалива (ТУУ 6.1-00994207-007:2018) та паливна деревина, що має частки різного розміру і форми, отримані шляхом подрібнення тупими інструментами такими як вальці, молоткові або ланцюгові дробарки (EN ISO 16559:2014 – Solid biofuels – Terminology, definitions and descriptions).

Таким чином, в Україні діють ряд нормативних документів, що регламентують розмірно-якісні характеристики трісок та напрями їх використання – як паливо і технологічний (для виробництва целюлози та деревинних плит). Це дозволяє підприємствам класифікувати свою продукцію, як для внутрішнього вжитку, так і на експорт.

УДК 674-42

**Жежик К. В., студент**

**Сапон С.П., канд. техн. наук, доцент**

Національний університет «Чернігівська політехніка», [kirillzezik@gmail.com](mailto:kirillzezik@gmail.com)

## **ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ПЛІНТУСІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ УНІВЕРСАЛЬНОГО ДЕРЕВООБРОБНОГО ОБЛАДНАННЯ**

В нашу сучасність плінтуси з натурального дерева відходять на другий план, бо їм на зміну приходять плінтуси з композитних матеріалів, але все таки в деяких дизайнерських рішеннях без них просто не обійтися. В даній роботі приведено три технології виготовлення класичних дерев'яних плінтусів (рис. 1) із застосуванням універсального деревообробного обладнання: круглопилельного і фрезерного верстатів.

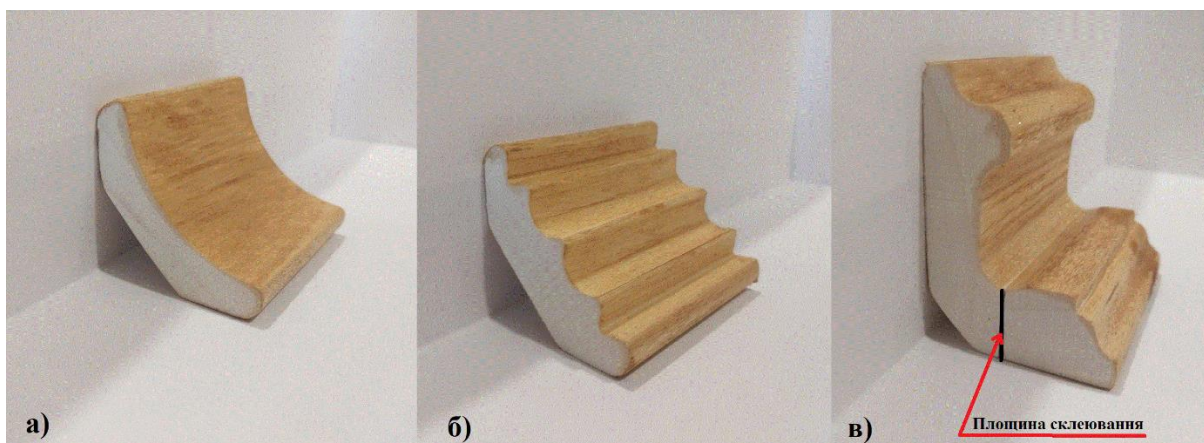


Рис. 1 – Зразки плінтусів виготовлених із застосуванням універсального деревообробного обладнання: а) формоутворення профілю пильним диском; б) формування профілю фрезами; в) склеювання з двох частин

Технологія виготовлення плінтусів з використанням круглопильного верстату – полягає в тому, щоб за допомогою пильного диска в заготовці виготовити паз з радіусним профілем.

Перед тим як приступити до обробки пазу радіусної форми, потрібно попередньо підготувати заготовку, обробивши фаски з тильної сторони та радіуси – з лицевої сторони. Для обробки пазу радіусного профілю на стільниці круглопильного верстату встановлюють два упори, розташовані паралельно між собою та під кутом до пильного диска (рис. 2, а).

Від кута розташування упорів відносно пильного диска буде залежати профіль самого пазу. Якщо кут між диском і упорами зробити більш гострим, то профіль пазу буде більш вузьким і обробляти заготовку буде простіше. Та навпаки, якщо його зробити більш близьким до кута в  $90^\circ$  то паз буде більш широким і обробку буде обробляти складніше.

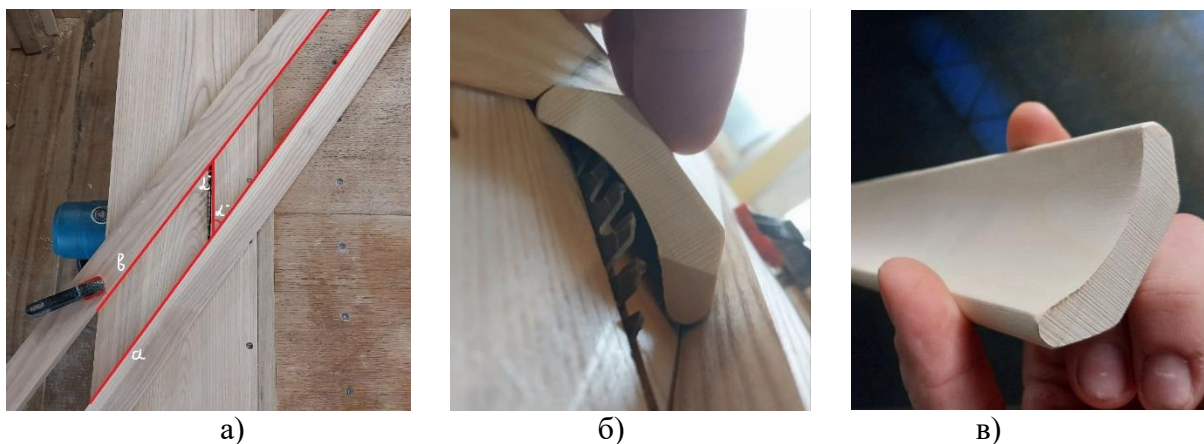


Рис. 2 – Виготовлення плінтуса на круглопильному верстаті

Після кожного проходу пильний диск потрібно піднімати приблизно на 0,5 мм. В кінцевому результаті отримуємо плінтус з радіусним профілем (див. рис. 2, в).

Технологія виготовлення плінтусів з використанням фрезерного верстату і фрез з циліндричним хвостовиком полягає у фрезеруванні на плінтусах пазів за допомогою фрез з різним профілем різального леза. Попередня підготовка заготовки така сама, як і в методі формоутворення пильним диском.

Для фрезерування профілю використовується паралельний упор (рис. 3, а). Для формоутворення профілю плінтуса, зображеного на рис. 1, б обрано 2 фрези: жолобна напівкругла та жолобна V-подібна (рис. 3, б).



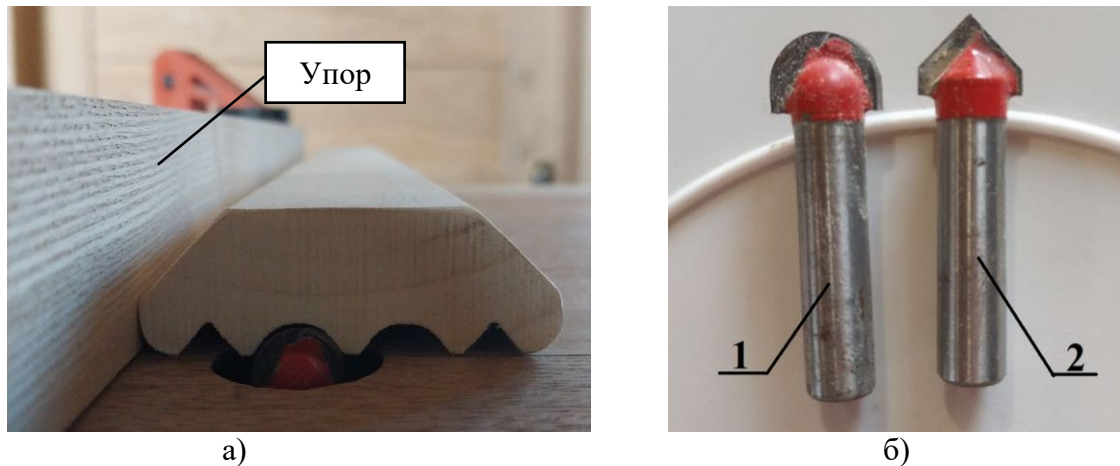


Рис. 3 – Виготовлення профілю плінтуса фрезеруванням а) та використані фрези б)

Виставляти фрези потрібно так, щоб різальне лезо було вище ніж площина столу приблизно на 1 мм, це буде висота зрізання матеріалу для першого проходу. Після кожного проходу заготовки висота виступу фрези збільшується на 1 мм, поки не буде досягнуто потрібної глибини пазу. Так як в даному випадку профіль плінтуса є симетричним відносно середини, потрібно обробляти заготовку спочатку однією стороною, потім іншою, а лише потім збільшувати висоту вильоту фрези, так само потрібно робити й з іншою фрезою.

Технологія виготовлення плінтусів способом склеювання з двох частин (див. рис. 1, в) передбачає виготовлення частин плінтуса за згаданими вище технологіями з наступним з'єднанням двох частин склеюванням. В даній роботі продемонстровано створення плінтуса з двох частин, профіль на яких виготовлено фрезеруванням. Результатом реалізації цієї технології є плінтус зображений на рис. 1, в.

Наведені в роботі технології та ілюстрації до них реалізовано особисто автором у власній деревообробній майстерні і показують, що технології виготовлення плінтусів досить різноманітні та їх можна комбінувати в одному виробі, утворюючи найскладніші дизайнерські профілі плінтусів.

#### Список посилань

1. Як зробити плінтус за допомогою циркулярки і фрезера [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.youtube.com/watch?v=1zStgsewEDE>
2. Красивий профіль для карніза ручним фрезером. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.youtube.com/watch?v=X8L0Hwrgww0>

УДК 004.92:674.2

Полева Ю.І., студентка

Національний університет «Чернігівська політехніка», [studenttd211yulia@gmail.com](mailto:studenttd211yulia@gmail.com)

### СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ СТОЛЯРНИХ ВИРОБІВ

На сьогодні сучасні технології автоматизованого проектування досить сильно розвинулись і розвиваються далі. Щодо столярних виробів, то на даний момент існує низка систем автоматизованого проектування, що дозволяють з легкістю створювати шафи, тумби, кухні або просту полицю на комп'ютері. Це дозволяє скороти час створення моделей, ескізів і спрощує роботу столяра чи проектувальника столярних виробів.

Системи автоматизованого проектування (САПР) столярних виробів є важливою частиною сучасного столярного виробництва. Вони дозволяють столярам та дизайнерам створювати точні, ефективні та красиві вироби за допомогою комп'ютерних програм.

Завдяки САПР столяри можуть створювати 3D-моделі виробів, візуалізувати їх та виконувати різноманітні розрахунки (наприклад, розрахунок кількості матеріалів або оптимальних розмірів виробу) перед початком виробництва.

Також САПР дозволяють автоматизувати виробничі процеси, наприклад, виконувати різання та обробку матеріалів з використанням верстатів з ЧПУ, що знижує витрати робочої сили та підвищує якість продукції.

Серед популярних САПР для столярного виробництва можна виділити такі програми, як Microvellum, Cabinet Vision, SketchList 3D, Pro100 та інші. Кожна з цих програм має свої переваги та недоліки, але загалом вони дозволяють проектувати стільниці, шафи, двері, сходи та інші вироби з точністю до міліметра.

В роботі проаналізовано 3 системи САПР: Cabinet Vision, Microvellum, SketchList 3D.

Cabinet Vision - це САПР, розроблена спеціально для проектування та виробництва меблів та столярних виробів. Ця програма має багато функцій, що спрощують проектування та виробництво, включаючи автоматичний розкладання на листи, автоматичну генерацію специфікацій та багато іншого. Вона також може бути дорогим рішенням для невеликих підприємств. Програма також має досить велику кількість вбудованих компонентів.

Продукти Cabinet Vision використовують технологію твердотільного моделювання для створення справжніх тривимірних презентацій кінцевого продукту на екрані, одночасно генеруючи необхідну інформацію для виробництва в цеху.[2]

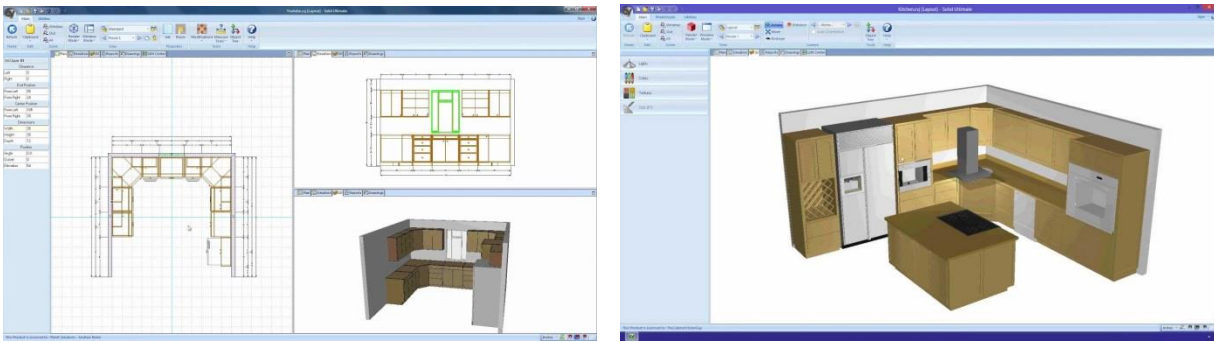


Рис. 1 – Приклади робіт в Cabinet Vision та інтерфейс програми

Але мінусом цієї системи є її висока вартість ліцензії та обслуговування, вимога до високої технічної компетентності користувача, а також складність налаштування та кастомізації системи.

Microvellum - це потужна програма з багатофункціональними інструментами та зручним інтерфейсом. Вона підтримує велику кількість форматів файлів та має велику бібліотеку матеріалів та комплектуючих. Microvellum може бути дорогим рішенням для невеликих підприємств. Також програма надає потужну настроювану програмну платформу CAD/CAM/CIM, щоб допомогти виробникам виробів із деревини оптимізувати процеси проектування, креслення, оцінки, проектування та виробництва. [1]

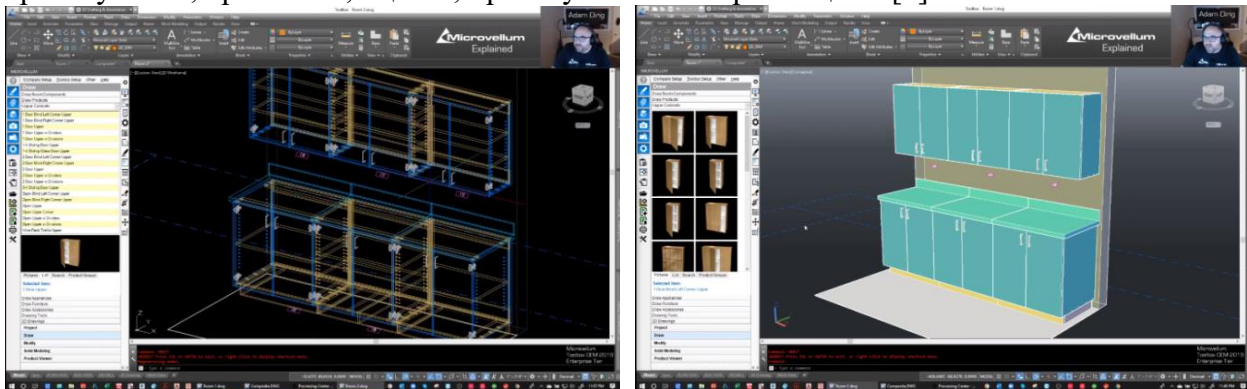


Рис. 2 – 3D моделювання в Microvellum та інтерфейс програми [4]



Microvellum має найбільшу бібліотеку матеріалів, меблів, механізмів та аксесуарів порівняно з Cabinet Vision, SketchList 3D і ця бібліотека постійно оновлюється. Програма також вимагає потужних комп'ютерних систем для оптимальної роботи, є складною в використанні, але тим користувачам які мали справу з AutoCAD, буде досить легко опанувати цю програму.

SketchList 3D - це програма, яка відома своєю простотою використання та можливостями моделювання 3D. Ця програма дозволяє проектувати та виготовляти різноманітні столярні вироби, включаючи меблі та кухонні гарнітури. SketchList 3D не має таких широких можливостей, як Microvellum та Cabinet Vision, але це може бути перевагою для невеликих підприємств [3].

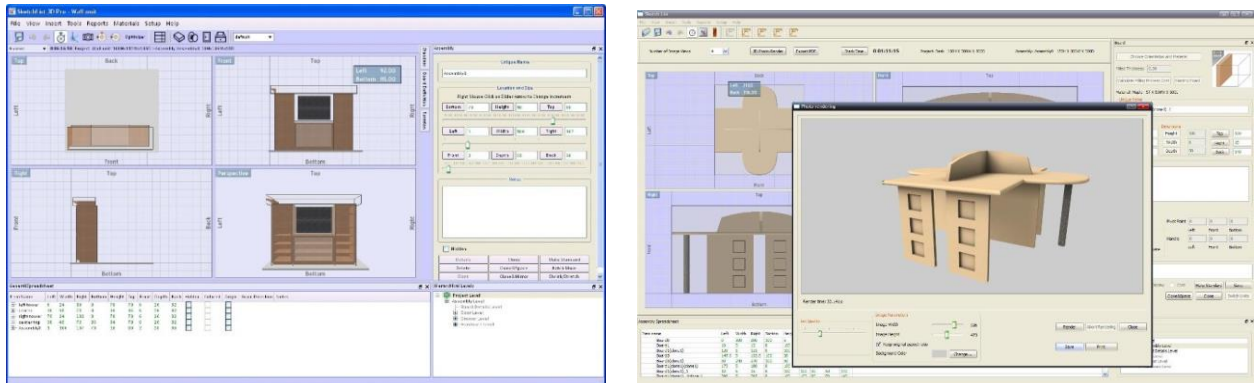


Рис. 3 – Інтерфейс і роботи в SketchList 3D

Серед проаналізованих програм SketchList 3D є найлегшою в освоєнні та має більш спрощений функціонал. Програма має можливість попередньої візуалізації виробу в 3D перед вирізанням, можливість оптимізації вирізання для економії матеріалу, і також має досить велику бібліотеку вбудованих матеріалів, фурнітури, але вона менша за попередні.

Основні переваги використання САПР в столярному виробництві полягають у підвищенні ефективності та точності проектування, уніфікації процесу виробництва, зменшенні часу та витрат на виготовлення виробів та збільшенні точності монтажу. Завдяки САПР столяри можуть швидко та легко розробляти різні варіанти проектів, перевіряти їх ергономіку та зручність в експлуатації.

Недоліки використання САПР в столярному виробництві пов'язані зі складністю налаштування та використання програм, високою вартістю програмного забезпечення, потребою у високопродуктивному обладнанні та комп'ютерах, високою вимогливістю до кваліфікації працівників та складністю підготовки до роботи.

У підсумку, САПР столярних виробів є важливим інструментом для підвищення ефективності та точності проектування виробів, зменшення витрат на їх виробництво та збільшення якості продукції.

#### Список посилань

1. Основний сайт Microvellum [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.microvellum.com/>
2. Cabinet Vision [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.cabinetvision.com/aboutus>
3. SketchList 3D - Деревообробка [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://sketchlist.com/woodworking/>
4. Microvellum Explained - Simple Room Walk-Through [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.youtube.com/watch?v=JqmBi64pap8>

*\*Робота виконана під керівництвом канд. техн. наук, доцента Сапона С.П.*

УДК 674.028.7

Попівнич В.В., студент

Національний університет «Чернігівська політехніка», [vladpopivnych@gmail.com](mailto:vladpopivnych@gmail.com)

## ТЕХНОЛОГІЇ ГНУТТЯ ДЕРЕВИНИ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ СТОЛЯРНИХ ВИРОБІВ

Технологія гнуття деревини є важливою складовою процесу виготовлення столярних виробів. Гнуття деревини - це процес згинання заготовок деревини для формування вигнутої форми та закріплення її після сушіння. Цей метод дозволяє економно витрачати матеріали та виготовляти деталі з ощадливим використанням деревини. Деревина твердих листяних порід, зокрема дуб, ясен та бук, є більш пластичною та найбільш придатною для гнуття [1].

Додатково до цього можна зазначити, що гнуття деревини є процесом, який вимагає певної кваліфікації і спеціального обладнання.

Крім того, важливо звернути увагу на якість деревини, з якої будуть виготовлені гнуті елементи. Якість деревини може впливати на міцність і довговічність елементів, а також на їх зовнішній вигляд. Тому варто вибирати деревину високої якості, щоб забезпечити максимальну міцність та естетичний вигляд виготовленої продукції.

Загалом, гнуті елементи з дерева можуть бути виготовлені з використанням різних методів та матеріалів, залежно від конкретної ситуації та вимог. Важливо враховувати всі фактори та використовувати відповідну технологію, щоб забезпечити якісні та міцні столярні вироби [2].

Поширеними технологіями гнуття деревини в залежності від типу деревини та форми виробу, який потрібно виготовити, є:

- метод нагрівання, який передбачає собою обробку заготовки високою температурою, що дозволяє збільшити гнучкість деревини і легко сформувати бажану форму;
- паровий метод (гідротермічний спосіб) використовує високу вологість, що дозволяє збільшити гнучкість деревини і легко сформувати бажану форму при низькій температурі;
- метод згинання з використанням пропилів є найбільш точним методом гнуття, що дозволяє виготовляти складні форми дерев'яних виробів [3].

При порівнянні методів виявлено наступне:

Метод нагрівання є економічним, дозволяє отримати складні форми з високою якістю, без використання хімічних речовин, однак вимагає спеціального обладнання та має обмежену товщину гнутого матеріалу.

Гідротермічний спосіб є високоякісним, недорогим та екологічно безпечним, але вимагає високої вологості і має обмежені можливості формування.

Згинання з використанням пропилів ефективно, забезпечує високий рівень виробництва і якість продукту, проте воно достатньо витратне, супроводжується порівняно великими відходами та потребує високоякісних вихідних заготовок без дефектів та пошкоджень деревини.

Вибір найкращого методу залежить від конкретних потреб, обсягу виробництва, доступності обладнання та здатності керувати процесом, екологічних факторів.

### Список посилань

1. Гнуття (деревини). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://vseslova.com.ua/word/%D0%93%D0%BD%D1%83%D1%82%D1%82%D1%8F\\_%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B2%D0%B8%D0%BD%D0%B8-25548u](http://vseslova.com.ua/word/%D0%93%D0%BD%D1%83%D1%82%D1%82%D1%8F_%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B2%D0%B8%D0%BD%D0%B8-25548u).
2. Парогенератор для гнуття деревини. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://taya.com.ua/parogenerator-dlja-gnuttja-derevini/>.

*\*Робота виконана під керівництвом канд. техн. наук, доцента Сапона С.П.*

УДК 614.841

Лопатько Л.С., аспірантка

Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, [asp21-l.lopatko@it.nubip.edu.ua](mailto:asp21-l.lopatko@it.nubip.edu.ua)

## ВИКОРИСТАННЯ НАНОЧАСТИНОК МЕТАЛІВ ДЛЯ УДОСКОНАЛЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕРЕВО-КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ

Накопичення значних запасів низькоякісної деревини сосни на нижніх складах пов'язано із прогресуючим всиханням деревостанів. До низькоякісної деревини відносять круглі лісоматеріали, що мають низьку товарну цінність, а саме тонкомірну деревину, відходи лісопереробних виробництв, пні, корені, суччя [1]. Із деяким припущенням сюди можна віднести також і вживану деревину, оскільки її товарна цінність теж є низькою. Така деревина чудово підходить для подальшого виготовлення з неї дерево-композитних панелей, таких як ДСП, OSB, MDF та інші.

Використання деревини для зведення будинків у нашій країні переживає значне піднесення в останні роки, адже деревина є екологічно чистим, приязним для людини і швидко відновлювальним матеріалом. Бажання покращення якості повітря призвело до збільшення долі будинків з деревних матеріалів до 95% у скандинавських країнах. Відомо, що один дерев'яний будинок середніх розмірів може адсорбувати 40 тон вуглецю, що дорівнює за кількістю викидів одного автомобілю, який використовується протягом 20 років.

Проведені пошукові дослідження впливу наночастинок металів показали можливість їх використання у дерево-композитних матеріалах для покращення їх фізико-механічних властивостей та зменшення забруднення повітря формальдегідом. Для малоповерхового дерев'яного домобудівництва більш раціональним є використання пустотілого бруса, заповненого теплоізоляцією, що дозволяє зменшити теплопровідність стін порівняно із традиційними будівельними матеріалами у 3,5 рази. Для цього доцільно виготовляти клеєний пустотілий брус з дерево-композитних матеріалів. Таким чином у конструкції бруса відсутня серцевина, яка сприяє розтріскуванню щільного бруса із масиву деревини, що сприяє формостабільності. Крім того, об'ємний вихід бруса суцільного перетину та пустотілого бруса із дерево-композитних матеріалів однакового діаметру відрізняється майже у два рази на користь останнього. Використовуючи для виготовлення такого бруса незатребувану недорого сировину можна значно зменшити вартість будинків.

У разі зведення багатоповерхових дерев'яних будинків пустотілий брус можна використовувати у якості крокв, а стіни та перекриття раціонально виготовляти з панелей перехресно-склеєних пиломатеріалів (Cross Laminated Timber – CLT). Завдяки тому, що ламелі в сусідніх шарах панелі розташовані під кутом один до одного – анізотропні властивості деревини нівелюються. Це покращує її фізико-механічні властивості, до мінімуму зводиться усихання деревини, збільшуються несучі здібності. Товщина CLT панелей варіюється від 30 до 1000 мм при цьому коефіцієнт теплопровідності їх незначний і знаходиться в межах 0,1 – 0,087 Вт (м °С)-1[2]. Враховуючи те, що у середні шари допускається використання деревини низьких сортів, раціональним є застосування зрощених елементів із вживаної деревини. Цьому сприяє також внесені ЄС ще у травні 2018 році поправки у «директиву про відходи» (EU, 2018) з метою створення правової бази, яка забезпечує поліпшення повторного використання, рекуперації і рециркуляції матеріалів в інтересах ефективного переходу до циркуляційної економіки.

### Список посилань

1. Никишов В.Д. Комплексное использование древесины. Учебник для вузов / В.Д.Никишов – М.: Лесная промышленность, 1985. – 264 с.

2. Пінчевська О.О., Буйських Н.В., Головач В.М. Ефективність використання низькотоварних круглих лісоматеріалів з деревини сосни / О.О. Пінчевська, Н.В.Буйських, В.М.Головач // К.: Центр учбової літератури. – 2015. – 160 с.

УДК 674.815 : 631.572

**Копанський М.М., канд. техн. наук, доцент**  
**Козак Р.О., докт. техн. наук, професор**  
**Ортинська Г.Є., канд. техн. наук, доцент**  
**Кусняк І.І., канд. техн. наук, ст. викладач**

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, mkopansky@ukr.net

## **ВПЛИВ ПИТОМОГО ВМІСТУ РІПАКОВИХ ЧАСТИНОК У ВИХІДНІЙ КОМПОЗИЦІЇ НА ВЛАСТИВОСТІ ПАЛИВНИХ БРИКЕТІВ**

*Актуальність теми.* На сучасному ринку паливних матеріалів уже давно набувають популярності альтернативні види палива такі, як паливні брикети та пелети. Для їх виготовлення найчастіше використовують відходи деревообробних підприємств такі, як тирса та стружка. Також досить ефективним є використання для цього сільськогосподарських відходів. Можна використовувати листя тирси, соломку, насіння та лушпиння соняшнику, очерет, льон та інші сільськогосподарські відходи. Основний спосіб виробництва біопалива - пресування за високої температури (брикет "Піні-кай"), за рахунок гідралічного пресування (брикет "Руф"-цегла)

Нами було прийнято рішення дослідити властивості паливних брикетів виготовлених з використанням стебел ріпаку. Переваги цього виду сировини наступні:

- швидке відновлення сировини;
- низька вартість стебел ріпаку;
- менші витрати на подрібнювальне і сушильне обладнання.

Використання ріпаку є особливо актуальним для регіонів з низькою лісистістю, оскільки у таких регіонах зазвичай вирощують різноманітні сільськогосподарські культури, в тому числі і ріпак, а деревинну сировину завозять з інших регіонів.

*Мета.* Авторами проводилися дослідження з метою встановлення можливості та доцільності використання відходів ріпаку у виробництві паливних брикетів; визначення впливу складу стружкової композиції, вмісту ріпаківих частинок на їх фізико-механічні показники, встановити закономірності впливу технологічних параметрів на властивості паливних брикетів з відходів ріпаку.

Дослідження проводились у лабораторії Національного лісотехнічного університету України (НЛТУ), при застосуванні лабораторного обладнання. Для встановлення залежності властивостей паливних брикетів від параметрів сировини, матеріалів та параметрів режиму пресування було використано класичний експеримент.

При проведенні експериментів було вибрано такі сталі фактори:

- температура пресування;
- тиск пресування;

Змінними було вибрано такі фактори:

- співвідношення ріпаківих частинок до стружки у вихідній композиції
- тривалість пресування брикетів.

Властивості паливних брикетів що досліджувались :

- міцність на згин;
- щільність брикетів;

Згідно ГОСТ Р 55111-2012 розміри зразків які досліджуватися на механічну міцність повинні відповідати таким вимогам:

- зразки повинні мати циліндричну або квадратну форму;

- довжина повинна бути у 2 рази більша за діаметр брикету.

Для визначення залежності міцності паливних брикетів від співвідношення ріпакових і деревних частинок у вихідній композиції було проведено дослідження, при якому до складу брикетів додавали різний процентний вміст частинок виготовлених із стебел ріпаку і деревних частинок. Процес виготовлення зразків складався з п'яти етапів: підготовки ріпакової сировини, подрібнення ріпакової сировини, висушування, поділ на фракції, виготовлення експериментальних зразків, і проведення експериментальних досліджень [1].

Після подрібнення ріпакові частинки висушувалися до вологості 12-18% у сушильний шафі до постійної маси за температури 100 - 140° С. Контроль вологості здійснювався ваговим методом.

Змінними факторами під час проведення досліджень впливу основних технологічних параметрів, сировини і матеріалів на властивості плит прийняті: співвідношення деревинних і ріпакових частинок в різних пропорціях, % (75:25, 50:50, 25:75, 0:100; тривалість пресування (1,2,3,4 хв), фракційний склад частинок ріпаку.

Розміри частинок вимірювали за допомогою індикаторного товщиноміра і електронного штангенциркуля. Довжину частинок визначали з точністю до 0,1 мм, ширину – до 0,02 мм, товщину – до 0,01 мм.

Наступним етапом було завантаження преса і пресування виробу за температури 220 ° С протягом встановленого часу.

Виготовлені зразки нумерувались і випробовувались. Перед випробуванням визначалися розмірні і вагові показники.

**Висновки.** Проведені відповідно до поставлених завдань експериментальні дослідження дозволили отримати результати, які забезпечують встановлення закономірностей впливу технологічних параметрів на властивості виробів виготовлених з використанням відходів ріпакової сировини.

Аналізу результатів проведених експериментальних досліджень з визначення фізико-механічних властивостей паливних брикетів виготовлених з використанням стебел ріпаку і деревної стружки дає змогу зробити такі висновки:

1. Збільшення питомої частки ріпакової сировини у вихідній композиції обумовлює зменшення міцності паливних брикетів.
2. Збільшення часу пресування паливних брикетів підвищує їх міцність.
3. При збільшенні питомої частки ріпаку у паливних брикетах їх щільність зменшується.
4. Залежність міцності і формостійкості брикетів від розмірів частинок має обернено-пропорційний характер.
5. На основі результатів експериментальних досліджень запропоновано способи виготовлення паливних брикетів із використанням стебел ріпаку, які дають змогу розширити сировинну базу завдяки залученню відходів сільськогосподарського виробництва, а саме ріпакової сировини, зменшити собівартість продукції і, відповідно, зекономити цінну деревинну сировину.

#### Список посилань

1. Бехта П. А. Технологія деревинних плит і пластиків. / П.А. Бехта. – К.: Основа, 2004 р. – 780 с.
2. Бехта П.А. Технологія деревинних композиційних матеріалів: Підручник. / П.А. Бехта. – К.: Основа, 2003. – 336 с.
3. Торгашов В.И. Сравнительное исследование условий выделения, морфологии и свойств целлюлозы из стеблей злаковых и масличных культур. / В.И. Торгашов, Е.В. Герт, О.В. Зубец, Ф.Н. Капуцкий // Химия растительного сырья. – Минск. – 2009. – №4.

УДК 674.815:631.572

Козак Р.О., докт. техн. наук, доцент

Бірук В.С., аспірант

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, kozak\_r@nltu.edu.ua

## ВОДОПОГЛИНАННЯ ТА НАБРЯКАННЯ ЗА ТОВЩИНОЮ ЛЕГКИХ СТРУЖКОВИХ ПЛИТ ІЗ ВМІСТОМ СТРУЖКИ З СТЕБЕЛ СОНЯШНИКА

На сьогоднішній день стружкові плити (СП) можна вважати основним матеріалом у деревообробній та меблевій промисловості [1]. Однак, проблема нестачі деревини стримує розвиток виробництва СП як в Україні, так і у світі [3]. Зниження щільності плит дозволяє економити деревинну сировину без зменшення обсягів їх виготовлення. Окрім того, останнім часом в дизайні меблів популярності набирають легкі СП, щільність яких, згідно EN 16368, менша, ніж  $600 \text{ кг/м}^3$  [2]. Це дозволяє використовувати потовщені деталі меблевих виробів без збільшення їх ваги.

Заміна деревинної сировини альтернативною є ще одним шляхом економії деревини. Такою сировиною може бути агросировина, зокрема стебла соняшника. Соняшник є однією з найпопулярніших агрокультур в Україні. У 2022 р. соняшником було засіяно 3 940,3 тис. га [4]. Це свідчить про наявність великої кількості стебел соняшника, які можна використати замість деревини для виробництва легких СП. Виробництво легких СП з вмістом стружки з стебел соняшника дозволить зменшити використання деревинної сировини, знизити їх собівартість і задовільнити потреби споживачів у легких плитах.

Водопоглинання та набрякання за товщиною відносяться до важливих фізичних властивостей СП, які, зокрема, залежать від щільності плит і виду застосовуваної сировини [5]. Тому визначення водопоглинання та набрякання за товщиною легких СП різної щільності з вмістом стружки з стебел соняшника є актуальним.

Для досліджень були виготовлені тришарові легкі СП розмірами  $290 \times 290 \times 16$  мм щільністю  $350 \text{ кг/м}^3$ ,  $450 \text{ кг/м}^3$ , і  $550 \text{ кг/м}^3$  з деревинної сировини та з вмістом 25%, 50%, 75% та 100% у середньому шарі стружки з стебел соняшника. Масова частка зовнішніх шарів становила 33%, середнього – 67%. Як сировину використовували деревинну стружку фракцій внутрішнього і зовнішнього шару промислового виготовлення та стружку фракцій внутрішнього шару з стебел соняшника. Стружку висушували до вологості  $3 \pm 2\%$ . Для склеювання стружки застосовувався клей на основі карбамідоформальдегідної смоли (КФС). Клей готували шляхом додавання до смоли парафінової емульсії, 43% водного розчину карбаміду та 33% водного розчину сульфату амонію. Окремо готували клей за рецептурою для внутрішнього і зовнішнього шару плити. Витрата КФС становила 14% і 9% від маси сухої стружки для зовнішнього і внутрішнього шарів відповідно. Стружка змішувалася з клеєм впродовж 7 хв. З приготованої стружково-клейової суміші формувалася стружковий килим, підпресовувався і спрямовувався в прес для гарячого пресування. Пресування відбувалось за температури  $190^\circ\text{C}$  і тиску 2,8 МПа з використанням дистанційних прокладок. Цикл пресування складав 6 хвилин. Виготовлення зразків і їх випробування здійснювались після 24 год витримки згідно методик ДСТУ EN 323:2008, ДСТУ 4761:2007 (EN 317:1993, MOD). Результати випробувань виготовлених легких СП наведено в табл. 1.

Встановлено, що чим вища щільність легких СП, тим нижчі показники водопоглинання через 2 та 24 години. У плитах, що містять 100% стружки з стебел соняшника щільністю  $350 \text{ кг/м}^3$ , водопоглинання через 2 і 24 години вище на 37,0% і 27,9% відповідно, ніж у плитах щільністю  $550 \text{ кг/м}^3$ . Очевидно, що вода більше проникає в структуру легких плит з малою щільністю і великою кількістю пор, ніж у менш пористу структуру плит з більшою щільністю. Зі збільшенням вмісту стружки з стебел соняшника в плитах їх водопоглинання знижується після 2 і 24 годин витримки у воді. Показники водопоглинання через 2 та 24



години у плитах 550 кг/м<sup>3</sup> з вмістом у внутрішньому шарі 100% стружки з стебел сояшника, були на 18,6% та 5,7% відповідно нижчими порівняно з плитами, виготовленими лише з деревних частинок. Позитивний вплив вмісту частинок стебла сояшника в плитах на їх водопоглинання зумовлений меншою пористістю таких плит за рахунок меншої щільності стебла сояшника, порівняно з деревиною.

Таблиця 1 – Результати дослідження водопоглинання та набрякання легких стружкових плит

| Властивості                           | Щільність<br>плити,<br>кг/м <sup>3</sup> | Вміст стружки з стебел сояшника в плиті, % |        |        |        |        |
|---------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
|                                       |                                          | без стебел<br>сояшника                     | 25     | 50     | 75     | 100    |
| Водопоглинання, %<br>2 год            | 350                                      | 139,78                                     | 134,48 | 129,13 | 122,70 | 117,71 |
|                                       | 450                                      | 115,45                                     | 110,36 | 105,89 | 100,94 | 95,96  |
|                                       | 550                                      | 91,12                                      | 86,23  | 82,67  | 79,18  | 74,21  |
| 24 год                                | 350                                      | 151,39                                     | 149,00 | 145,10 | 142,53 | 141,18 |
|                                       | 450                                      | 129,65                                     | 127,71 | 124,80 | 122,65 | 121,45 |
|                                       | 550                                      | 107,90                                     | 106,44 | 104,55 | 102,78 | 101,72 |
| Набрякання за товщиною,<br>%<br>2 год | 350                                      | 14,62                                      | 13,32  | 12,55  | 11,83  | 11,24  |
|                                       | 450                                      | 17,36                                      | 16,40  | 15,56  | 14,95  | 14,18  |
|                                       | 550                                      | 20,10                                      | 19,49  | 18,57  | 18,06  | 17,12  |
| 24 год                                | 350                                      | 16,00                                      | 15,53  | 14,93  | 14,51  | 13,92  |
|                                       | 450                                      | 20,39                                      | 19,79  | 19,26  | 18,71  | 18,16  |
|                                       | 550                                      | 24,77                                      | 24,04  | 23,59  | 22,91  | 22,39  |

Вміст стружки з стебел сояшника в плиті позитивно впливає на розбухання по товщині. Набрякання плит щільністю 550 кг/м<sup>3</sup> із вмістом 100% стружки з стебел сояшника після 2-х та 24-годинної витримки у воді зменшується відповідно на 14,9% і 9,6% порівняно з аналогічним показником для плит з деревних частинок. Це зумовлено особливостями будови стружки з внутрішньої частини стебел сояшника. Зі збільшенням щільності плит з 350 кг/м<sup>3</sup> до 550 кг/м<sup>3</sup> розбухання їх зростає. У плитах з вмістом стружки з стебел сояшника 100% щільністю 550 кг/м<sup>3</sup> розбухання через 2 і 24 години більше на 52,3% і 60,8% відповідно, ніж у плит з щільністю 350 кг/м<sup>3</sup>. Руйнування клейових з'єднань водою спричиняє руйнування структури плити. Оскільки спресування щільніших плит є більшим, ніж плит меншої щільності, то і відновлювальні деформації після руйнування клейових з'єднань будуть більшими в щільніших плит.

Отримані результати засвідчують, що заміна деревинної стружки стружкою зі стебел сояшника призводить до покращення водопоглинання та набрякання у воді легких СП із застосуванням КФ клею.

#### Список посилань

1. European Panel Federation. Wood-Based Panel Industry. Types of WoodBased Panels and their Economic Impact. URL: <https://europanel.org/the-wood-based-panel-industry/types-of-wood-based-panels-economic-impact/>
2. Khojasteh-Khosro, S. Preferences of furniture manufacturers for using lightweight wood-based panels as eco-friendly products. / S. Khojasteh-Khosro, A. Shalbafan, H. Thoemen, // Eur. J. Wood Prod. 78, - 2020. P. 593–603. URL: <https://doi.org/10.1007/s00107-020-01519-8>
3. EUwood - Real Potential for Changes in Growth and Use of EU Forests. Final report / U. Mantau at al. Hamburg, Germany, 2010. – 160 p.
4. Міністерство аграрної політики та продовольства України. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://minagro.gov.ua/news/v-ukrayini-zasiyali-1886-tis-ga-yaroyi-pshenici>

5. Бехта П.А. Технологія деревинних плит і пластиків: підручник / П.А. Бехта [Текст]. – К.: Основа, 2004. - 780 с.

УДК 674.093.26

Чернецький О.М., аспірант  
Кусняк І.І., канд. техн. наук, ст. викладач  
Бехта Н.С., ст. викладач

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, [iryna.rondyak@gmail.com](mailto:iryna.rondyak@gmail.com)

## ВПЛИВ МОДИФІКУВАННЯ ШПОНУ НА ВОДОСТІЙКІСТЬ ФАНЕРИ

*Вступ.* Фанера – один з перспективних деревинно-композиційний матеріал у меблевому виробництві. Проте, термореактивні клеї, що використовуються для виготовлення фанери, підвищують клас емісії формальдегіду. Саме тому, виробництво фанери склеєної термопластичними плівками набуває сьогодні актуального значення. Адже, заміна рідких термореактивних клеїв сухими термопластичними плівками у технологічному процесі виготовлення фанери забезпечує не лише зменшення класу емісії, але й покращує умови виробництва [1, 2]. Проте, фанера склеєна термопластичними полімерами володіє нижчою водостійкістю порівняно з фанерою склеєною термореактивними клеями [3], що обмежує сферу її застосування. Тому, виникає потреба у подальших дослідженнях щодо покращення водостійкості фанери склеєної термопластичними полімерами шляхом модифікування шпону.

*Метою дослідження є з'ясувати водопоглинання та набрякання за товщиною березової фанери з модифікованого шпону, склеєного з використанням первинної термопластичної плівки ПЕНГ.*

*Матеріали та методика досліджень.* Для проведення досліджень використовували лущений березовий шпон (300×300×1,55 мм), вологістю  $6 \pm 2$  %. Листи шпону обробляли водним розчином лимонної кислоти концентрацією – 5, 15, та 25 % з витратою 50, 100 та 150 г/м<sup>2</sup> і висушували за температури 102 °С до вологості  $6 \pm 2$  %. Модифіковані та висушені листи шпону склеювали первинною термопластичною плівкою ПЕНГ товщиною 100 мкм. Одержані результати порівнювали з результатами випробування фанери, склеєної карбамідоформальдегідним клеєм (КФ-МТ), який готували за рецептом виробника. Виготовляли тришарову фанеру за тиску – 1,4 МПа, температури – 160 °С та часу – 4,5 хв, а фанеру склеєну КФ-МТ клеєм – за тиску – 1,8 МПа, температури – 110 °С, часу – 6 хв, витрати клею – 110 г/м<sup>2</sup>. Листи фанери піддавали стадії холодного пресування за  $T=20 \pm 2$  °С впродовж 5 хв з наступним кондиціонуванням 7 діб ( $T=20 \pm 2$  °С,  $W=65 \pm 5$  %). З кожної фанери вирізали зразки для визначення водопоглинання і набрякання за товщиною після замочування у воді впродовж 24 год (EN 317).

*Результати досліджень.* За результатами проведених досліджень та на основі аналізу ANOVA (англ. *Analysis of Variance*) було встановлено, що концентрація розчину лимонної кислоти – 5, 15 та 25 % має статистично достовірний вплив на водопоглинання фанери після замочування у воді впродовж 24 год ( $p = 0,000 < 0,05$ ), тоді як на набрякання за товщиною не впливає ( $p = 0,259 > 0,05$ ). Витрата модифікувального розчину – 50, 100 та 150 г/м<sup>2</sup> не впливає на показники водопоглинання і набрякання за товщиною зразків фанери ( $p = 0,234 > 0,05$ ,  $p = 0,636 > 0,05$ , відповідно).

Найпомітніше зменшення показників водопоглинання було зафіксовано для зразків фанери склеєної з шпону модифікованого 15 %-ним розчином лимонної кислоти та її витрати від 50 до 150 г/м<sup>2</sup> (від 38,5 % до 39,24 %) (табл. 1). Проте, для зразків фанери, склеєної із модифікованого шпону 5 та 25 % - ним розчином кислоти та її витрати від 50 до 150 г/м<sup>2</sup>, показники водопоглинання дещо вищі (від 41,54 % до 47,61 %, відповідно).

Таблиця 1 – Значення водопоглинання та набрякання фанери за товщиною

| Вид клею | Витрата<br>модифікувального<br>розчину, г/м <sup>2</sup> | Водопоглинання, %                        |       |       | Набрякання, % |      |      |
|----------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------|-------|-------|---------------|------|------|
|          |                                                          | Концентрація модифікувального розчину, % |       |       |               |      |      |
|          |                                                          | 5                                        | 15    | 25    | 5             | 15   | 25   |
| ПЕНГ     | 50                                                       | 44,2                                     | 38,5  | 41,54 | 8,79          | 8,96 | 9,07 |
|          | 100                                                      | 43,47                                    | 38,63 | 45,07 | 8,99          | 8,79 | 8,61 |
|          | 150                                                      | 44,58                                    | 39,24 | 47,61 | 9,19          | 7,55 | 9,06 |
|          | -                                                        | 46,9                                     |       |       | 9,29          |      |      |
| КФ-МТ    | -                                                        | 41,07                                    |       |       | 10,33         |      |      |

Пояснити таку залежність можна, найімовірніше, тим, що зі збільшенням концентрації розчину кислоти від 5 до 15 % збільшується реакційна здатність деревини з лимонною кислотою, що веде до утворення ефірних зв'язків в клітинах деревини та заповнення їх в'язкотекучим полімером, що тим самим відштовхує вологу із поверхні шпону [1]. Тоді як за концентрації 25 % відбувається надмірне збільшення зшивання клітинних стінок деревини, що сповільнює процес їх заповнення розплавом полімеру. Крім того, як бачимо з табл. 1, водопоглинання фанери склеєної із шпону модифікованого 15%-ним розчином лимонної кислоти за її витрати 50 г/м<sup>2</sup> зменшується до 38,5 %, порівняно з водопоглинання фанери з немодифікованого шпону склеєного плівкою ПЕНГ (46,9 %) та КФ-МТ клеєм (41,07 %), що є позитивним. Це можна пояснити тим, що під час модифікування шпону розчином лимонної кислоти, утворені гідрофобні етерні групи заміняють деякі функціональні групи деревини, зменшуючи тим самим поглинання води структурою деревини.

Також встановлено, що модифікування шпону розчином лимонної кислоти дещо зменшує показники набрякання фанери за товщиною, порівняно із зразками фанери із немодифікованого шпону склеєного плівкою ПЕНГ. Це пояснюється тим, що процес модифікування шпону збільшує зшивання клітинних стінок деревини, що, в свою чергу, покращує проникнення в'язкотекучого полімеру у зшиті стінки деревини. Крім того, показники набрякання зразків фанери з модифікованого та немодифікованого шпону склеєних плівкою ПЕНГ – найменші, порівняно із показниками набрякання зразків фанери склеєної КФ-МТ клеєм.

**Висновки.** З'ясовано, що для фанери з шпону модифікованого 15 %-ним розчином лимонної кислоти і склеєного термопластичною плівкою ПЕНГ характерною була найнижча адсорбція води (38,5 – 39,24 %). Модифікування поверхні березового шпону у виробництві фанери з використанням як клею термопластичної плівки покращує показники водостійкості фанери. Врахуючи вартість, доступність та екологічність лимонної кислоти, запропонований спосіб поверхневої обробки шпону є доцільним і перспективним, що в кінцевому розширить сфери застосування фанери.

#### Список посилань

1. Bekhta, P.; Pizzi, A.; Kusniak, I.; Bekhta, N.; Chernetskyi, O.; Nuryawan, A. A Comparative Study of Several Properties of Plywood Bonded with Virgin and Recycled LDPE Films. *Materials*, 2022, 15, 4942, 1-15. <https://doi.org/10.3390/ma15144942>.
2. Кусняк І.І. Ефективність виробництва фанери склеєної термопластичною плівкою. / І.І.Кусняк // Науковий вісник НЛТУ України. Львів, 2020. – Т. 30. – № 2. – С. 88–92. <https://doi.org/10.36930/40300216>.
- 3 Чернецький О.М. Вплив породи деревини і товщини термопластичної плівки первинного поліетилену низької густини на фізичні властивості фанери. / Чернецький О.М., Кусняк І.І., Бехта Н.С. // Науковий вісник НЛТУ України, 2022. – т. 32. – № 1. – 73-78. <https://doi.org/10.36930/40320111>.

УДК 674.093.26

Ортинська Г.Є., канд. техн. наук, доцент

Лютий П.В., канд. техн. наук

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, [ortynska\\_g@nltu.edu.ua](mailto:ortynska_g@nltu.edu.ua)

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ СОЄВО-ПРОТЕЇНІВ КЛЕЇВ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ФАНЕРИ

Лідерську позицію серед клеїв для виготовлення фанери, займають синтетичні термореактивні клеї на основі фенолформальдегідної (ФФС), карбамідформальдегідної (КФС) смоли тощо. Вони забезпечують високі показники міцності та водостійкості готової продукції. Але для їх виготовлення застосовуються нафтопродукти, природний і попутний газ, що є вартісною та вичерпною сировиною сьогодні. Крім того дані смоли містять значну кількість вільного формальдегіду, який може виділятися та негативно впливати на організм людини та навколишнє середовище. Таким чином, одним із шляхів вирішення даних питань є застосування клеїв природного походження, зокрема на основі соєвого протеїну.

Соевий протеїн отримується із сої, яка є легкодоступною, недорогою сировиною та широко культивується у всьому світі. Це дає змогу розглядати його як альтернативну основу для клеїв для виготовлення фанери.

Однак клеї на основі соєвого протеїну мають такі недоліки, як високу в'язкість, низький вміст твердих частинок і низьку водостійкість клейових з'єднань. Низька водостійкість обмежує використання таких клеїв для виготовлення деревинних композитних матеріалів, зокрема фанери. Рекомендується їх модифікувати за допомогою фізичного, хімічного та ензимного методів. Дані методи рекомендовані для клеїв на основі соєвого протеїну, що застосовуються для склеювання масивної деревини та для виробництва стружкових плит, фанери [1].

Найчастіше для виготовлення фанери застосовують хімічне модифікування соєвого протеїну. Хімічні речовини, які зазвичай використовуються для денатурації соєвих протеїнів - це кислоти, луги, солі або високомолекулярні сполуки, наприклад ФФС. Основою модифікування є зміна структури протеїнів, за рахунок денатурації [1, 2]. Так, додавання хімічних речовин (карбаміду, трипсину, гідроксиду натрію) дає змогу отримати клеї з широким діапазоном властивостей, а найголовніше, що можна отримати клейове з'єднання, підвищеної водостійкості. Це пояснюється тим, що додавання даних речовин, зокрема гідроксиду натрію, збільшує ступінь розкриття протеїнових молекул, а це призводить до збільшення контакту із склеюваною поверхнею лушеного шпону [3-5].

Солями, які можуть бути використані для денатурації протеїнів сої та підвищення їх міцності склеювання, а особливо водостійкості, є  $\text{NaHSO}_3$  та  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ . Модифікування соєвих протеїнів  $\text{NaHSO}_3$  також має інші переваги, зокрема збільшення терміну зберігання клейової композиції [6].

Отже, на сьогоднішній день, було зроблено чимало спроб модифікувати соєвий протеїн для того, щоб отримати клейові композиції із підвищеною міцністю склеювання, а також підвищити їх водостійкість, щоб вони могли конкурувати із синтетичними клеями для виготовлення фанери.

Для проведення експериментальних досліджень приготування клеїв на основі соєвого протеїну відбувалося наступним чином: до соєвого протеїну додавали виміряну кількість дистильованої води, яку попередньо нагрівали до  $50^\circ\text{C}$ . Далі перемішували до 15 хв, щоб утворилася однорідна суспензія. Співвідношення між соєвим протеїном ізолятом 92% та водою становило 1:5.

Для модифікування соєвої протеїнової суспензії вводили модифікувальні речовини (лимонну кислоту, гідроксид натрію, фенолоформальдегідну смолу) в кількості 1, 3, 5 мас.ч.

на 100 мас.ч. соєво-протеїнової суспензії та досліджували основні властивості відносну густину, рН, сухий залишок клею та міцність фанери на зріз.

Для виконання досліджень використовували лущений березовий шпон (розміром 300×300×1,5 мм, вологістю 8±2%) та виготовляли тришарову фанеру за таких режимних параметрів склеювання: тиск – 1,8 МПа, температура – 150°C, тривалість – 6 хв, витрата клею – 150 г/м<sup>2</sup>. Для оцінювання якості склеювання фанери визначали міцність її на зріз згідно ДСТУ EN 314-2.

Отримані клеї мали світло жовте (бежеве) забарвлення, однорідної композиції, але не мали текучості. Тому одним із показників важливим є густина клею, оскільки вона характеризує ідентичність, чистоту та однорідність клейових матеріалів. Густина вихідної суспензії становить 1,02 г/см<sup>3</sup>. Із збільшенням вмісту модифікувальних речовин від 1 до 5 мас.ч. густина клею зростає. І коливається в межах 1,08 -1,14 г/см<sup>3</sup>. Найбільший вплив на відносну густину має гідроксид натрію.

Аналогічне спостереження було із значеннями сухого залишку клеїв із збільшенням вмісту модифікувальних речовин, даний показник зростає і коливається в межах від 14,80 до 19,51%.

Додавання цитратної кислоти, рН якої становить 2,1, буде призводити до зміни рН середовища дисперсії соєвого протеїну ізоляту в кислотний бік, значення рН становитимуть 5,68-3,85. Із збільшенням вмісту речовин (гідроксиду натрію та фенолоформальдегідної смоли), що мають лужне середовище, рН клейової композиції також зміщується в лужну сторону та значення коливатимуться в межах 8,85-11,85. Адже саме зміна рН середовища дає змогу денатурувати та розкриватися соєвому протеїну, звільняючи реакційноздатні групи до утворення міцних зв'язків із гідроксильними групами деревини.

Всі значення міцності фанери на зріз, які випробовувалися у сухому стані) відповідають вимогам стандарту. Із збільшенням вмісту від 1 до 5 мас.ч. цитратної кислоти спостерігається рівномірне підняття міцності фанери на зріз. Її значення становлять 1,21; 1,65; та 1,85 МПа. Введення до соєво-протеїнової суспензії лужних реагентів (гідроксиду натрію та фенолоформальдегідної смоли) призводить до збільшення міцності фанери на зріз. Найбільше значення міцності фанери на зріз спостерігається при додаванні гідроксиду натрію 3 мас.ч., та становить 2,52, а із збільшенням до 5 мас. ч. міцність дещо зменшується. Значення міцності фанери, яка склеєна модифікованою фенолоформальдегідною смолою соєво-протеїновою суспензією, на зріз становлять від 1,97 до 2,16 МПа, що 1,45 рази більше, порівняно із зразками контрольними зразками фанери, які склеювалися соєво-протеїновою суспензією.

Модифікувальні речовини підвищують водостійкість клейових композицій, про це свідчать випробування зразків після вимочування їх у холодній воді впродовж 24 годин. Вищі показники міцності клейового з'єднання спостерігалися у клеїв на основі суспензії соєвого протеїну ізоляту, що модифікувалися лужними речовинами (гідроксидом натрію, фенолоформальдегідною смолою) і вони відповідають вимогам стандарту.

#### Список посилань

1. Kumar R. Adhesives and plastics based on soy protein products [Текст] / R. Kumar, V. Choudhary, S. Mishra, I. Varma, B. Mattiason // Industrial Crops and Products, 2002. – №16. – P. 155-172.
2. Wang W. A soy-based adhesive from basic modification [Текст] / W. Wang, X. Li, X Zhang // Pigment and Resin Technology, 2008. – 37/2 – P.93-95.
3. Shukla R. The industrial protein from corn [Текст] / R. Shukla, M. Cheryan // Industrial Crops and Products, 2001. – №13. – P. 171-192.
4. Richard P. W. Bio-based polymers and composites [Текст] / P. Richard, Xiuzhi Susan Sun – Science & Technology Books, 2005.
5. Zhong Z. Thermal and mechanical properties and water absorption of soy protein [Текст] / Z. Zhong, X. Sun // Polycaprolactone Blends, Polymer, 2001. – № 42. – P. 6961-6969.
6. Sun X. Shear strength and water resistance of modified soy protein adhesives [Текст] / X. Sun, K. Bian // JAOCS, 1999. – vol.76, №8 – P. 977-980.

УДК 674.415

Маєвський В.О., докт. техн. наук, професор

Ференц О.Б., канд. техн. наук, доцент

Копинець З.П., канд. техн. наук

Сторожук В.М., канд. техн. наук, доцент

Гончар І.М., канд. техн. наук, доцент

Кобринович М.С., канд. фіз-мат. наук

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, tlsdbv@nltu.edu.ua

## ВИХІД ТА НОРМУВАННЯ СТРУГАНОГО ШПОНУ

Потреба у струганому шпоні, як натуральному личкувальному матеріалі постійно зростає, оскільки збільшується попит на столярні та меблеві вироби. Однак, Україна відчуває постійний дефіцит у деревині для виготовлення струганого шпону, що зумовлює потребу у пошуку шляхів ефективного її використання.

Розроблені нормативи витрат сировини для виготовлення струганого шпону на час дії вже відмінених державних стандартів, які регламентують їхню якість [1, 2], стали вже не актуальними. Тому виникла потреба в дослідженні витрат сировини на виробництво струганого шпону з урахуванням чинних вимог до їхньої якості [3, 4] та правил обмірювання [5].

Встановлення науково обґрунтованих нормативів витрати сировини для виготовлення струганого шпону доцільно проводити на найбільш прогресивних і технічно оснащених підприємствах галузі.

Нормативи витрати сировини для виготовлення струганого шпону визначають шляхом дослідних розпилювань лісоматеріалів і стругання на шпон. Визначення нормативів витрати сировини на струганий шпон в умовах конкретного підприємства передбачає встановлення розмірно-якісних характеристик сировини, яку використовує це підприємство, з розділенням її за сортами (класами якості) та групами діаметрів відповідно з чинними нормативними документами, враховуючи використання різних типів стругального обладнання.

Вплив на вихід струганого шпону з лісоматеріалів мають такі основні чинники: порода деревини, клас якості, схема розпилювання на ванчеси, діаметр, збіжність, довжина, кривизна, розмірні і якісні параметри струганого шпону. Істотний вплив на витрату сировини під час виготовлення струганого шпону має також кваліфікація робітників, технічний стан обладнання, організація праці з дотриманням технологічної дисципліни на всіх виробничих ділянках.

Враховуючи результати діяльності підприємств з випуску струганого шпону за останні роки, встановлено, що найбільше струганого шпону виготовляють з таких порід деревини: дуб звичайний, дуб червоний, ясен, бук. Для стругання шпону найбільше використовують лісоматеріали класів якості А та В, допускається використання класу якості С. У цьому дослідженні розглянуто вихід струганого шпону товщиною – 0,55 мм.

Результати експериментальних вимірювань аналізували за розробленою методикою. Сировину групували за породою, діаметрами та якістю. Проведено статистичну обробку отриманих даних витрат сировини в м<sup>3</sup> на 1000 м<sup>2</sup>.

Норму витрати сировини на 1000 м<sup>2</sup> струганого шпону визначали за формулою

$$H = \frac{V_c \cdot 1000}{S_{\text{шп}}}, \text{ м}^3/1000 \text{ м}^2, \quad (1)$$

де  $V_c$  – об'єм розпиленої сировини, м<sup>3</sup>;

$S_{\text{шп}}$  – площа отриманого шпону з відповідного об'єму сировини, м<sup>2</sup>.



Результати обробки експериментальних даних виходу струганого шпону із сировини твердих листяних порід діаметрами від 30 до 69 см наведено на рис. 1.

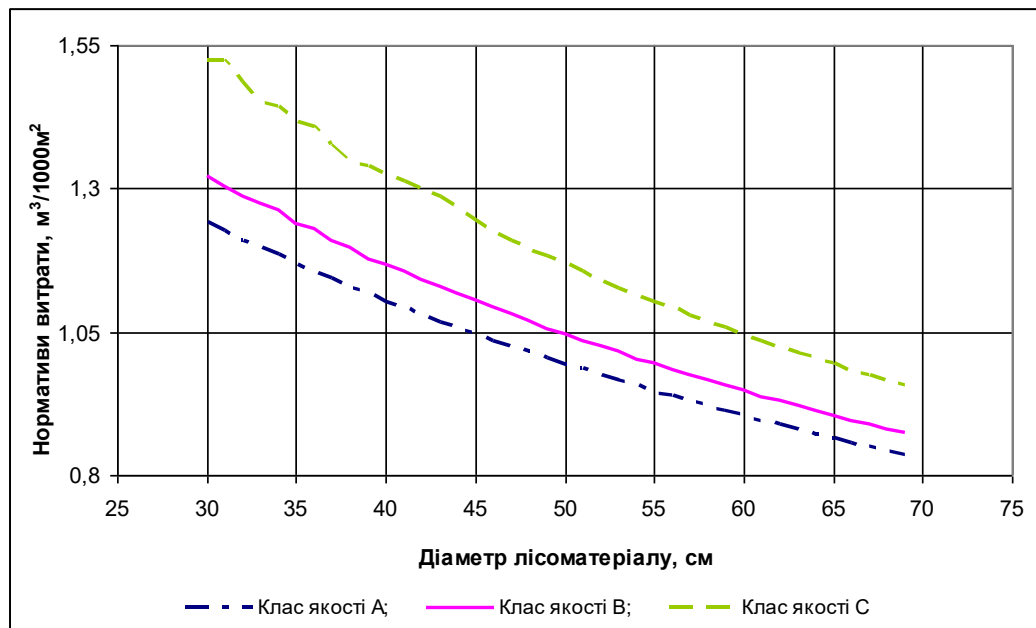


Рис.1. – Нормативи витрати сировини твердих листяних порід деревини на 1000 м<sup>2</sup> струганого шпону товщиною 0,55 мм

Встановлена певна закономірність між діаметром сировини, що переробляється та кількістю отриманого шпону. Результати аналізу отриманих експериментальних даних засвідчили, що зі збільшенням діаметра лісоматеріалів, збільшується вихід з них струганого шпону. Це зумовлено, також тим, що величина відстругу незалежно від діаметра колоди однакова. Також вагомий вплив має клас якості сировини. З покращенням якості сировини вихід шпону збільшується.

**Висновок.** Встановлення науково обґрунтованих нормативів витрати сировини на виготовлення струганого шпону потребує ґрунтовних експериментальних та теоретичних досліджень. Впровадження науково обґрунтованих нормативів витрати сировини дасть змогу раціонально та ефективно використовувати деревину для виготовлення струганого шпону, вести облік її використання.

#### Список посилань

1. Ференц О.Б. Нормування витрат сировини для виготовлення струганого шпону / О.Б. Ференц, С.О. Манзій, Л.Н. Горбачова, В.О. Маєвський, В.М. Сторожук, А.Я. Терлецький, А.О. Ференц // Науковий вісник УкрДЛТУ : зб. наук.-техн. праць. – Львів : УкрДЛТУ. – 2002 – Вип. 12.8. – С. 179-182.
2. Ференц О. Деревина на шпон, або Як розрахувати нормативи витрат сировини для виготовлення струганого шпону / О. Ференц, С. Манзій, Л. Горбачова, В. Маєвський, В. Сторожук // Деревообробник. Всеукраїнська галузева газета. №4 (70), 2003 р. – С. 11.
3. Лісоматеріали круглі листяні. Класифікація за якістю. Частина 1. Дуб та бук (EN 1316-1:2012, IDT) : ДСТУ EN 1316-1:2019. – [Чинний від 01.01.2021]. – К.: Держстандарт України, 2019. – 10 с. – (Державний стандарт України).
4. Лісоматеріали круглі листяні. Класифікація за якістю. Частина 3. Ясен, клен та явір (EN 1316-3:1996, IDT) : ДСТУ EN 1316-3:2005. – [Чинний від 01.01.2008]. – К.: Держстандарт України, 2007. – 9 с. – (Національний стандарт України).
5. Лісоматеріали круглі та пиляні. Методи обмірювання та визначення об'ємів. Частина 2. Лісоматеріали круглі (pr EN 1309-2:1998) – ДСТУ 4020-2:2001. – [Чинний від 01.07.2001]. – К.: Держстандарт України, 2001. – 76 с. – (Державний стандарт України).



20×800×1800 мм – 7 шт.; 20×750×1800 мм – 3 шт.; не зрощених щитів по 2 шт. 20×600×1200 мм та 20×700×1400 мм і по 1 шт. – 20×900×1600 мм, 20×500×2000 мм.

**Висновок.** Експериментально встановлено, що вихід зрощених і не зрощених клеєних щитів з досліджуваних пиломатеріалів становить 33,15 %.

УДК 674.213:69.025.351.3:678.073

Кшивецький Б.Я., докт. техн. наук, професор

Кіндзера А.Р., аспірант

Сомар Г.В., канд. техн. наук, доцент

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, kindzera74@ukr.net

## ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ПОВЕРХНІ ТЕРМІЧНО МОДИФІКОВАНОЇ ДЕРЕВИНИ ЯСЕНА ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ПОЛІВІНІЛАЦЕТАТНИХ КЛЕЙОВИХ З'ЄДНАНЬ

На даний час, спостерігається стійка тенденція до нарощування потужностей виробництва термічно модифікованої деревини. Це зумовлено зростаючим попитом на інтер'єрні та екстер'єрні вироби з термодревини, які стали сучасним світовим трендом, оскільки характеризуються підвищеною стійкістю до біологічних чинників та меншою гідрофільністю, що дозволяє її використання в середовищах з підвищеною вологістю. Зважаючи на покращену стійкість термодревини щодо експлуатації у змінних температурно-вологісних умовах, доцільність її застосування у складні конструкції за допомогою склеювання є обґрунтованою. Збільшення розміростабільності термічно модифікованої деревини покращує ефективність склеювання, однак, зміни в хімічному складі, анатомічній структурі, фізико-механічних властивостях деревини після термічної модифікації дещо погіршують здатність поверхонь до склеювання [1]. Це зумовлює проблеми, які пов'язані із забезпеченням міцності та довговічності клейових з'єднань.

Незважаючи на те, що деревини породи ясен (*Fraxinus excelsior*) в Україні є достатні запаси, її використання в деревообробній та меблевій промисловості є обмеженим, що зумовлено деякими особливостями сушіння та механічної обробки. Одним із варіантів збільшення використання деревини ясеня для виготовлення виробів, є покращення фізико-хімічних характеристик шляхом термічного модифікування. Це розширить сферу її застосування та дозволить конкурувати з деревиною вищої якості.

Клеї на основі полівінілацетату (ПВА), які характеризуються високою швидкістю затвердіння, технологічністю, екологічністю, проявляють хороші адгезійні властивості до деревини та деревних матеріалів, утворюють лінійну або розгалужену структуру клейового шва, забезпечуючи цим належну вологостійкість, термостійкість та міцність клейового з'єднання [2], можуть бути рекомендованими для склеювання термічно модифікованої деревини ясеня. Відомо, що якість і довговічність клейових з'єднань визначаються, в значній мірі, властивостями поверхонь, що піддаються склеюванню. За однакових умов термічної модифікації, у різних порід деревини ступінь хімічних перетворень у їх структурі та викликані цим зміни у фізичних властивостях є дещо різними. Це впливає на стан поверхні деревини, а у разі склеювання – на взаємодію між деревиною та клеєм. Тому, для розширення застосування з'єднань термомодифікованої деревини ясеня полівінілацетатними клеями, необхідними є відомості стосовно структурних змін у деревині та її характеристиках.

Для досліджень стану поверхонь, використовували зразки з немодифікованої деревини ясеня (ДЯ) та термічно модифікованої деревини ясеня (ТМДЯ), розмірами 50x20x20 мм. Зразки ДЯ вирізали з деревини ясеня, витриманої протягом трьох місяців в камері акліматизації (за температури  $293 \pm 2$  К та за відносної вологості середовища  $65 \pm 3\%$ ) для досягнення постійної маси та, відповідно, вологості. Середня вологість зразків становила  $10 \pm 1\%$ , шорсткість – близько 63 мкм, щільність –  $690 \text{ кг/м}^3$ .

Для зразків ТМДЯ, використовували деревину ясеня термічно модифіковану у виробничих умовах протягом 12 годин в автоклаві у середовищі насиченої водяної пари за температури 195°C та абсолютному тиску 20 кПа. Зразки з модифікованої деревини охолоджували та витримували протягом 14 днів в камері акліматизації. Середня вологість зразків становила  $5,5 \pm 1\%$ , щільність – 600 кг/м<sup>3</sup>.

Під час термічного модифікування, за вищевказаних параметрів процесу, в структурі деревини ясеня на молекулярному рівні відбуваються незворотні зміни, які є наслідком розкладу геміцелюлози, целюлози, полімеризації лігніну та виділенням екстрактивних речовин [3]. На початковому етапі термічного модифікування випаровуються екстрактивні речовини, які не є структуроутворюючими – терпени, віск, фенол, жири. Результати, представлені в Табл. 1, показують зменшення вмісту геміцелюлози (як найменш термостабільної сполуки, розкладання якої починається за температур близько 150°C) та незначне зменшення вмісту целюлози в зразках ТМДЯ. Збільшення вмісту лігніну відбувається внаслідок його переполімеризації («зшивання») [4].

Таблиця 1 – Зміна вмісту геміцелюлози, целюлози та лігніну в деревині ясеня після термічного модифікування

| Зразок | Геміцелюлоза, мас. % | Целюлоза, мас. % | Лігнін, мас. % |
|--------|----------------------|------------------|----------------|
| ДЯ     | 19.10                | 48.49            | 28.80          |
| ТМДЯ   | 12.12                | 44.57            | 36.39          |

Таким чином, зміну фізичних властивостей деревини ясеня, в обумовлених температурних режимах термічної модифікації, викликає термодеструкція геміцелюлози, часткова термодеструкція целюлози та переполімеризація лігніну. Процес розкладу геміцелюлози супроводжується реакціями дегідратації, що спричиняє зменшення вмісту води в деревині та гігроскопічності. Зміни, що відбуваються в термічно модифікованій деревині відображаються на стані її поверхні.

Зважаючи на вищесказане, нами проведена оцінка адгезійних властивостей поверхні термічно модифікованої деревини ясеня, шляхом досліджень кута змочуваності. Виходячи з досліджень, можна зробити висновок, що термічна модифікація ясеня сприяє зниженню адгезійних властивостей поверхневого шару деревини, оскільки її поверхня є більш гідрофобною, менш полярною та має зменшену кислотність.

**Висновок.** В результаті проведених досліджень виявлено, що термічна модифікація деревини ясеня спричиняє зниження адгезійних властивостей поверхневого шару деревини. Тому, наукові пошуки потрібно направити на розроблення способів підвищення адгезійних властивостей поверхні та отримання покращених рецептур термопластичних клейових композицій на основі ПВА дисперсій, що забезпечило б потрібні показники міцності та довговічності клейових з'єднань термодеревини ясеня.

#### Список посилань

1. Sernek, M., Boonstra, M., Pizzi, A., Despres, A., Gerardin, P. Bonding performance of heat treated wood with structural adhesives. *European Journal of Wood and Wood Products*, – 2008. – Vol. 66. – pp. 173-180.
2. Кшивецький, Б.Я. Встановлення розподілу нормальних і тангентальних напружень у термопластичних полівінілацетатних клейових з'єднаннях деревини. / Кшивецький, Б.Я., Кіндзера, А.Р. // Науковий вісник НЛТУ України. – 2022. – Т. 32, № 6. – С. 71–77.
3. Yalçın, M., Ibrahim, H. Changes in the chemical structure and decay resistance of heat-treated narrow-leaved ash wood. *Maderas, Ciencia y tecnologia*. – 2015. – Vol. 17(2). – pp. 435–446.
4. Barlović, N., Čavlović, A., Pervan, S., et al. Chemical changes and environmental issues of heat treatment of wood. *Drvna Industrija*. – 2022. – Vol. 73(2). – pp. 245–251.

УДК 674.06\*674.21

**Mariana Udovytska, teacher of the highest category**  
Technological College of the Ukrainian National Forestry University, Lviv,  
[udovytskam@gmail.com](mailto:udovytskam@gmail.com)

**Volodymyr Mayevskyy, Doctor in Technical Sciences, Professor**  
**Oleksandr Udovytskyi, PhD in Technical Sciences**  
Ukrainian National Forestry University, Lviv, [o.udvytskyi@nltu.edu.ua](mailto:o.udvytskyi@nltu.edu.ua)

## PREDICTION OF TRANSVERSE HOGGING OF LUMBER

Indicators of the physical and mechanical characteristics of lumber, in particular strength and form stability, are decisive in determining the quality of glued panel structures (GFS); in the case of their use for facade surfaces, aesthetics are also important [1, 2, 3].

The quality of wood products is significantly affected by the warping of structural elements due to the anisotropy of the physical and mechanical properties of wood, unequal drying in structural directions, residual stresses arising from drying and machining of workpieces, etc. To determine the amount of transverse warping, we propose to use the warping force, the value of which can be calculated depending on a number of parameters, which would allow us to adequately describe the process of transverse warping of lumber.

Changes in humidity cause changes in the shape of the surfaces (deformation) of the lumber (Fig. 1), and most often this warping is transverse in width [3, 4, 5, 6]. For glued materials, the elasticity of the adhesive can reduce the transverse warping [7, 8].

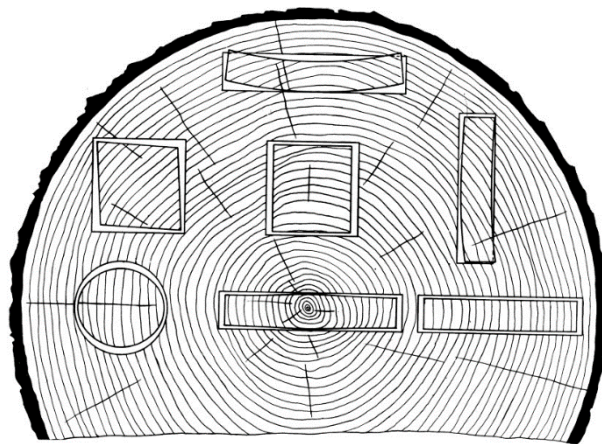


Fig. – 1. Deformation of lumber depending on where it is cut.

The results of experimental studies of the shape stability of glued panels [9] and numerical and experimental studies of the shape stability of glued columns [10] indicate that the shape stability of these elements strongly depends on the internal orientation of individual sections of the wood of these elements.

To study the shape stability of lumber during its drying and to obtain information about the adverse deformations and stresses that can develop during the drying process, work [5] modeled the drying process of lumber using known formulas and data [4]. In particular, equations were used to calculate an estimate of the expected dimensional changes as wood moisture content decreases or increases.

Scientists mostly consider warping of lumber as a consequence of residual and partially degenerated elastic-elastic deformations. The main characteristic of the magnitude of transverse warping is the maximum deflection, which is determined taking into account the force that counteracts the transverse warping of the lumber, using the methods of material resistance. To investigate the warping force that causes deformation of lumber, we conducted the following simulation studies



Figure 2 shows the sawing location (position) of five lumber pieces that make up the glued panel, as well as the predicted appearance of the panel glued together from five lumber pieces.

The graphical results of the calculation of the warping force and the graphs of the shape change of the lumber glued into the panel are now shown in the following graphs.

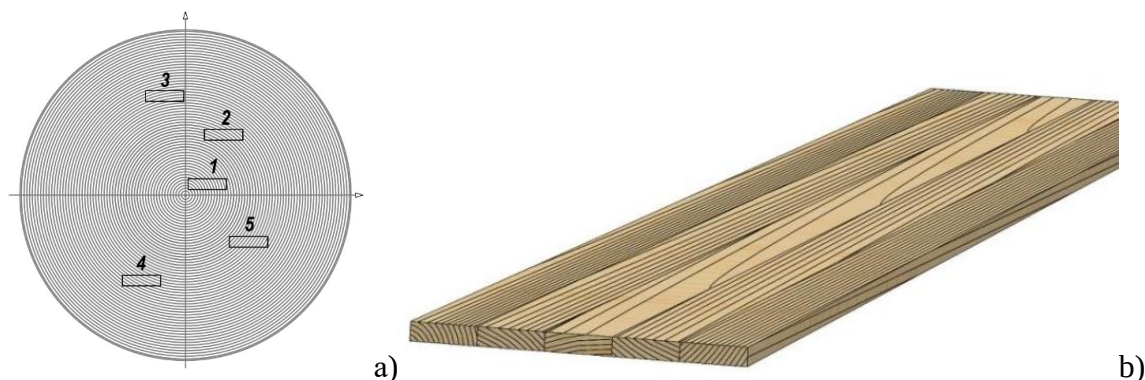


Fig. 2 – the position of the lumber in the log (a); the projected view of the board glued together sequentially from lumber No. 1-5 (b).

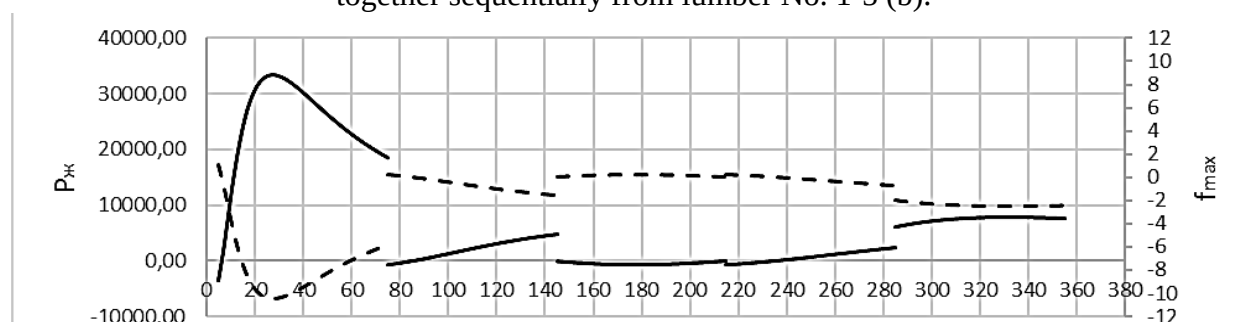


Fig. 3. – Summary graph of warping force and shape change of lumber layers No. 1-5, sequentially assembled into a board.

The results of the simulation modeling of lumber deformation show that the amount of transverse warping depends on the dimensions of the lumber section and the coordinates of its layers, as well as changes in lumber moisture content.

#### References:

1. B. Porter. Carpentry and Joinery / Porter, Brain. – 2001. – Vol. 1. – 694p. – (Third Edition).
2. M. V. Udovyt'ska, L. O. Tysovskiy, V. O. Maievskiy, O. M. Udovyt'skiy. Doslidzhennia formozminy pylomaterialiv dlia vyrobnytstva kleienykh shchytovykh konstruksii. // Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy. Zbirnyk nauko-tekhnichnykh prats. Vyp. 29.03 – Lviv, 2019. – S. 85-89.
3. Ormarsson, Sigurdur. Numerical Analysis of Moisture-Related Distortion in Sawn Timber. Doctoral thesis, monograph. Göteborg: Chalmers University of Technology, Dep. of Structural Mech, 1999, p. 230.
4. Wood Handbook, Wood as an Engineering Material. Gen. Tech. Rep. / FPL–GTR–190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. – 2010. – 508 p.
5. P. H. Mitchell. Modeling the cupping of lumber. BioResources, 2016, 11(3), p. 6416-6425.
6. O. Dahlblom, S. Ormarsson, H. Petersson. Simulation of wood deformation processes in drying and other types of environmental loading / Ann Sci For, 1996, Volume 53, Number 4, 857-866.
7. Li, Ling; Gong, Meng; Chui, Y. H.; Liu, Ying (2016). Modeling of the cupping of two-layer laminated densified wood products subjected to moisture and temperature fluctuations: model application. Wood Science and Technology, 50(1), 39–51. doi:10.1007/s00226-015-0775-z.
8. Ling Li, Meng Gong, Y.H. Chui, Marc Schneider Finite Element Analysis on the Shape Change of a TwoLayer Laminated Wood Product Subjected to Moisture Change / Proceedings of the 55th International Convention of Society of Wood Science and Technology August 27-31, SP-11, p. 1-7, 2012 - Beijing, CHINA.
9. J. Eriksson; S. Ormarsson; H. Petersson (2004). An experimental study of shape stability in glued boards / Holz als Roh- und Werkstoff, 63, 62(3), 225–232. doi:10.1007/s00107-004-0468-z.



10. J. Eriksson; S. Ormarsson; H. Petersson (2005). An experimental and numerical study of shape stability in laminated timber columns / Holz als Roh- und Werkstoff, 63(6), 423–429. doi:10.1007/s00107-005-0058-8-z.

УДК 684.4

Кушпін А.С., канд. техн. наук., доцент

Ільків М.М., асистент

Кушпін О.М., асистент

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, andriy.kushpit@nltu.edu.ua

## ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ РЕЙКОВОГО ЩИТА ЛИЧКОВАНОГО HDF ПЛИТОЮ НА СТАТИЧНИЙ ЗГИН

У меблевій промисловості особливу увагу акцентують на розробку нових прогресивних плитних матеріалів. Оскільки, це сприяє вирішенню проблем пов'язаних зі зростанням вартості сировини та енергоресурсів, високими екологічними вимогами та потребою у реалізації дизайнерських рішень. Так, підприємство Finsa SuperPan, виготовляє стружкову плиту (СП) личковану плитою високої щільності (HDF). Використання HDF, яка володіє гладкою зовнішньою поверхнею, дає змогу формувати будь-яке покриття та формувати профільну поверхню методом фрезерування. Замінивши основу з СП на натуральну деревину, можна отримати матеріалу з покращеними фізико-механічними властивостями.

Метою дослідження було визначення властивостей рейкового щита, личкованого HDF для його використання у меблевому виробництві. Основні дослідження включали розроблення конструкції рейкового щита личкованого HDF та виявлення оптимальних співвідношень товщини личківки та основи.

При експериментальних дослідженнях міцності на статичний згин [2] рейковий щит личкований HDF показав високі результати.

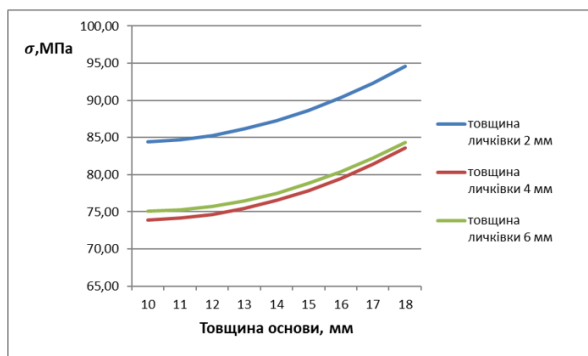


Рис. 1 – Залежність міцності рейкового щита личкованого HDF при статичному згині від товщини основи  $F$  при різних товщинах личківки (2, 4 та 6 мм), МПа

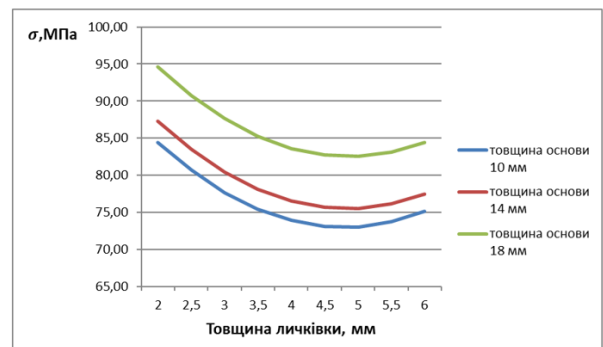


Рис. 2 – Залежність міцності рейкового щита личкованого HDF при статичному згині від товщини личківки при різних товщинах основи (10, 14 та 18), МПа

Дослідження вказують на потенціал рейкового щита личкованого HDF як перспективного матеріалу для меблевого виробництва. Він поєднує в собі властивості міцності, стійкості до ударів, низького поглинання вологи та гладкості поверхні. Крім того, використання відходів деревини або вживаної деревини для виготовлення основи рейкового щита сприятиме раціональному використанню природних ресурсів.

### Список посилань

1. SuperPan by Finsa – Режим доступу: <https://www.finsa.com/en/fg/superpan>.
2. ДСТУ EN 310:2003. Плити деревинні. визначення модуля пружності та міцності під час згинання.

УДК 674.049.2

Щупаківський Р.Б., канд. техн. наук, доцент  
 Андрашек Й.В., канд. техн. наук, доцент  
 Національний лісотехнічний університет України м. Львів,  
 roman.shcvhupakivsky@nltu.edu.ua

## ЗАКОНОМІРНОСТІ ЗМІНИ КОЛЬОРУ ШПОНУ ДЕРЕВИНИ БУКА ТА ВІЛЬХИ ПРИ ТЕРМОМЕХАНІЧНОМУ УЩІЛЬНЕННІ

Впродовж останніх десятиліть спостерігається стрімке зростання використання матеріалів на основі лущеного шпону (фанера, LVL-плити тощо), як альтернативи цільній деревині. Таку тенденцію пояснюють низкою переваг, якими володіють ці матеріали порівняно з масивом, зокрема: підвищеною формостійкістю, міцністю, естетичністю, тощо [1]. Однак, процеси виготовлення LVL-плит та фанери неодмінно передбачають використання клейових композицій, що часто призводить до перевитрат адгезивів. Одним із методів зменшення витрат клею при виготовленні фанери та LVL-плит є термомеханічне ущільнення листів шпону [2]. Проте такий вид термічного модифікування призводить до суттєвої зміни кольору поверхні деревинних матеріалів, що вимагає встановлення закономірностей зміни координат кольору лущеного шпону в процесі термомеханічного ущільнення.

В роботі проведено експериментальні дослідження зміни кольору лущеного шпону бука та вільхи при термомеханічному ущільненні. Отримано математичні залежності зміни складових координат кольору від режимних параметрів процесу термомеханічного модифікування.

**Методика проведення експериментальних досліджень.** Дослідження зміни кольору при термомеханічному ущільненні проводили для лущеного шпону деревини бука (*Fagus sylvatica* L.) та вільхи (*Alnus*).

Номинальна товщина листів шпону становила  $\approx 1.8$  мм, відносна вологість до термомеханічного ущільнення в межах 5.3-6.1%. Листи шпону без видимих дефектів поверхні розкривались на взірці розміром 350x350 мм з допустимим відхиленням  $\pm 5$  мм. Для дослідження зміни кольору використано апаратно-незалежну адитивну колірну модель у відповідності до CIE Lab [3,4]. В якості вимірювального обладнання застосовували спектрофотометр ВУК 45/0.

Методика вимірювань передбачала визначення  $L^*a^*b$  компонент до та після термомеханічного ущільнення у десяти фіксованих точках кожного взірця шпону (по 5 точок з кожної пластів в межах окремого листа). Зміну кольору оцінювали як інтегральну величину зміни кожної з компонент у відповідності до ISO 11664-6 (рівняння 1).

$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (1)$$

де  $\Delta E^*$  – загальна зміна кольору;

$\Delta L^*, \Delta a^*, \Delta b^*$  – величина зміни компоненти після ущільнення (результуюча між відповідним показником ( $L^*, a^*, b^*$ ) до та після термомеханічного модифікування).

Термомеханічне ущільнення проводили із застосуванням гідравлічного пресу (рис. 1) та здійснювали за принципом “гарячого пресування” відповідно до заданого режиму. Параметри процесу приведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Режимні параметри термомеханічного ущільнення шпону

|                     |                  |
|---------------------|------------------|
| Температура         | 160, 190, 210 °C |
| Тиск                | 2,5 МПа          |
| Тривалість витримки | 4 хв             |

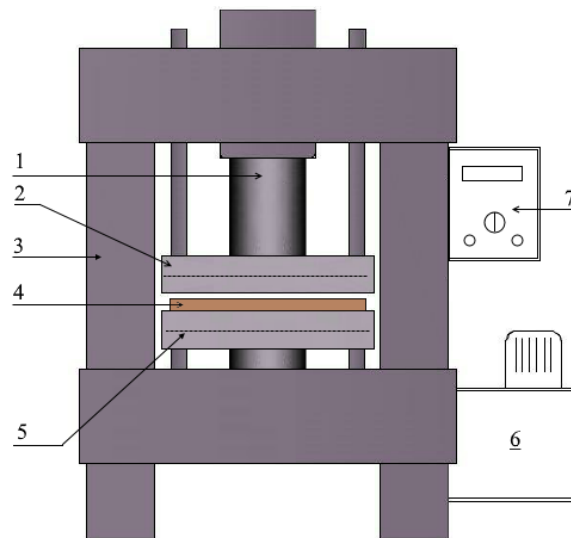


Рис. 1 – Схема експериментальної установки термомеханічного ущільнення шпону (1 – циліндр, 2 – плита пресу, 3 – напрямна стійка, 4 – експериментальний зріз (лист шпону), 5 – електродна плита пресу, 6 – гідравлічна станція, 7 – система автоматичного контролю)

**Результати експериментальних досліджень.** Після проведення термомеханічного ущільнення візуально спостерігали значну зміну кольору лущеного шпону бука та вільхи (рис. 2). За результатами статистичної обробки даних встановлено середні значення координат кольору, а також загальної зміни кольорів для термомеханічно ущільненого та не модифікованого шпону (табл. 2).

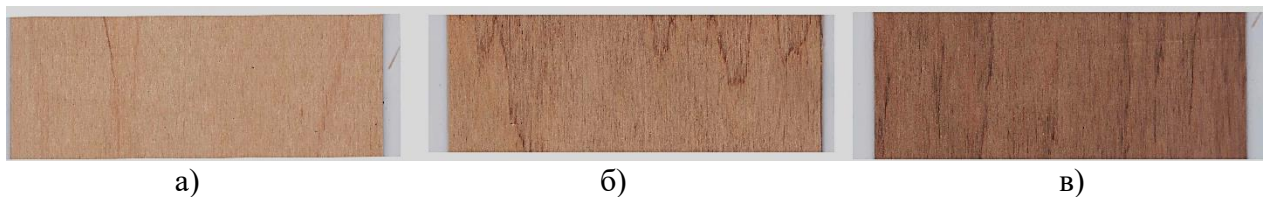


Рис. 2 – Експериментальні зрізи термомеханічно ущільненого букового шпону а) не модифікований; б) за температури 190°C; в) за температури 210°C

Таблиця 2 – Середні значення координат кольору для натурального та термомеханічно ущільненого лущеного шпону

| Порода деревини | Температура ущільнення | Координати кольору |       |       | Величина загальної зміни кольору |
|-----------------|------------------------|--------------------|-------|-------|----------------------------------|
|                 |                        | $L^*$              | $a^*$ | $b^*$ | $\Delta E^*$                     |
| Бук             | не модиф.              | 75,86              | 5,41  | 26,51 | -                                |
|                 | 150                    | 73,31              | 6,12  | 25,00 | 3,00                             |
|                 | 190                    | 74,27              | 4,82  | 22,26 | 4,61                             |
|                 | 210                    | 67,85              | 4,12  | 22,51 | 8,88                             |
| Вільха          | не модиф.              | 72,98              | 5,64  | 22,03 | -                                |
|                 | 160                    | 71,27              | 6,65  | 21,21 | 2,10                             |
|                 | 190                    | 70,16              | 5,78  | 20,55 | 3,12                             |
|                 | 210                    | 65,64              | 5,26  | 18,05 | 8,22                             |

На основі отриманих експериментальних даних побудовано залежності зміни координат кольору ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) від температури процесу термомеханічного ущільнення (рис. 3.1-3.3). Як видно з рис. 3.1. підвищення температури ущільнення призводить до зниження рівня

яскравості бука та вільхи (значення координати “ $L^*$ ”). Яскравість букового шпону до та після термомеханічного ущільнення є вищою порівняно з вільхою.

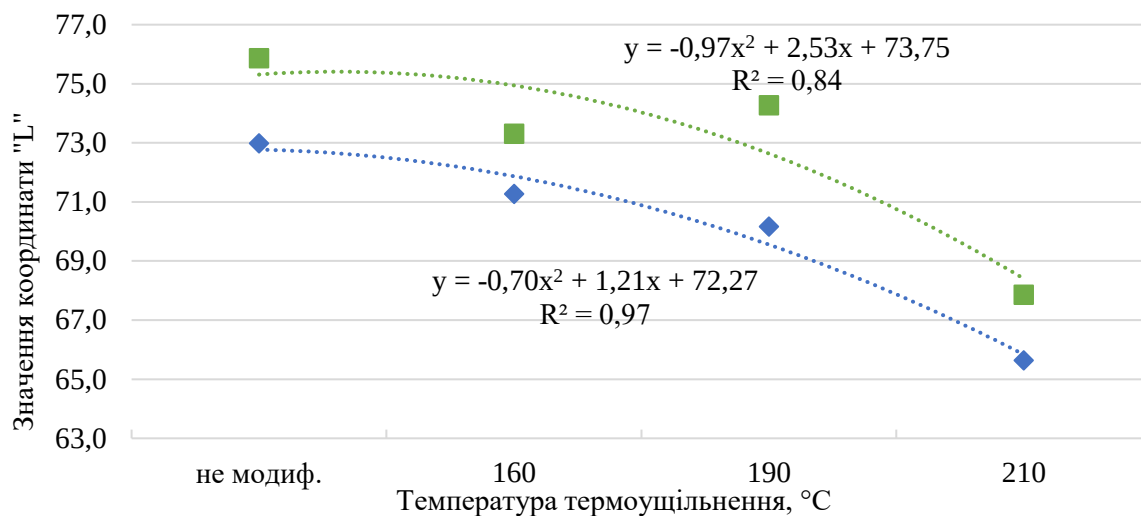


Рис. 3.1 – Залежність значення координати кольору “ $L^*$ ” від температури термомеханічного ущільнення шпону (□ – бук; ◇ - вільха)

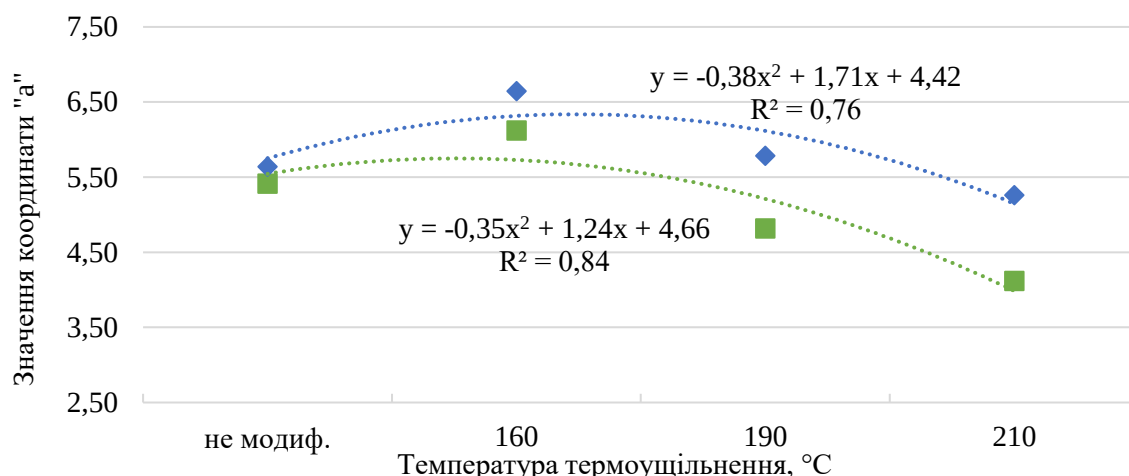


Рис. 3.2 – Залежність значення координати кольору “ $a^*$ ” від температури термомеханічного ущільнення шпону (□ – бук; ◇ - вільха)

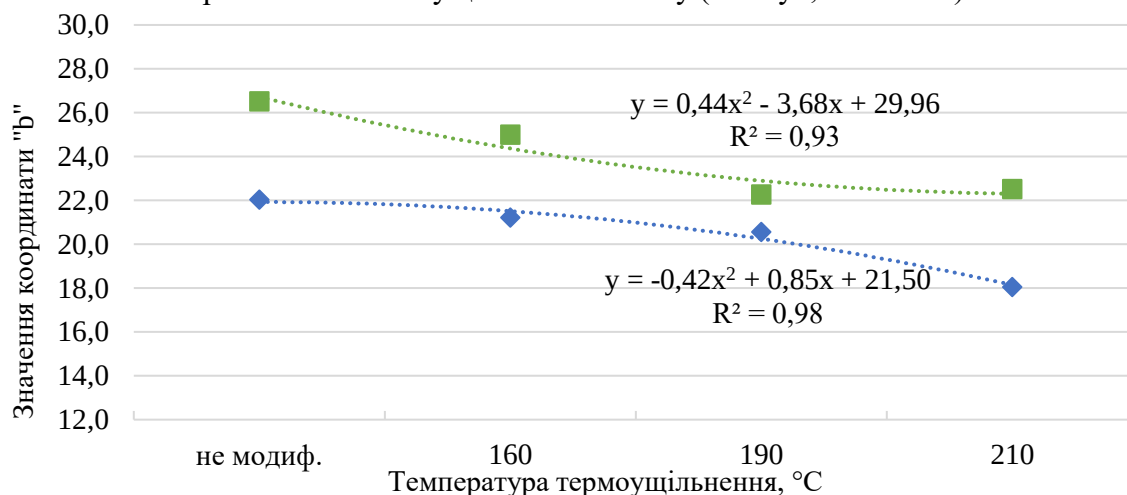


Рис. 3.2 – Залежність значення координати кольору “ $b^*$ ” від температури термомеханічного ущільнення шпону (□ – бук; ◇ - вільха)

Зміна величини координати “ $a^*$ ” в процесі оброблення для обох порід має приблизно однаковий характер (рис. 3.2). Так ущільнення при температурі 160°C призводить до збільшення показника координати “ $a^*$ ” (11-14%), однак при обробленні за більш високих температур інтегрований показник, що відповідає за “зелену” та “червону” складові кольору зменшується – в середньому на 6-9% нижче рівня показника не обробленого лущеного шпону вільхи та до 9% для бука. Зміна координати “ $b^*$ ” як для вільхи так і бука є найсуттєвішою (рис. 3.3). З підвищенням температури пресування спостерігається зниження показників координати “синьої” та “жовтої” компонент – 14-18% для бука та 19-21% для вільхи. Загальна зміна кольору шпону бука та вільхи при термомеханічному ущільненні становить: 4,4-7,1% для бука та 3,2-6,4% вільхи відповідно.

**Висновки.** Шляхом апроксимації отриманих результатів експериментальних досліджень отримано математичні залежності зміни  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  координат кольору від режимних параметрів процесу модифікування, використання яких дасть змогу здійснювати прогнозування зміни кольору лущеного шпону бука та вільхи при термомеханічному ущільненні.

### Список літератури

1. Tenorio C, Moya R, Muñoz F (2011) Comparative study on physical and mechanical properties of laminated veneer lumber and plywood panels made of wood from fast-growing *Gmelina arborea* trees. *J Wood Sci* 57:134–139.
2. Bekhta P, Sedláčik J, Jones D (2017) Effect of short-term thermomechanical densification of wood veneers on the properties of birch plywood. *Eur. J. Wood Prod.* 76:549-562 (DOI 10.1007/s00107-017-1233-4).
3. ISO 11664-2: 2007 Colorimetry - Part 2: CIE standard illuminants.
4. ISO 11664-4: 2008 Colorimetry - Part 4: CIE 1976  $L^*a^*b^*$  Colour space.

УДК 674.815

Лакида Ю.П., канд. техн. наук, доцент

Губар С.М., аспірант,

Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ,

[yuriy.lakyda@nubip.edu.ua](mailto:yuriy.lakyda@nubip.edu.ua)

## ЩОДО ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ ВЖИВАНИХ МЕБЛІВ ЯК СИРОВИНИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДСП

Постійне зростання виробництва ДСП і водночас дефіцит деревини змушує шукати нові джерела сировини. Потенційним джерелом сировини також може бути деревина після споживання, при цьому найкращою в цій галузі з точки зору «чистоти» (без хімічних забруднень) є перероблена деревина з піддонів та упаковки. Велику групу вживаної деревини також становлять матеріали на основі деревини, в тому числі МДФ та ДСП. Їх повторне використання проблематично через наявність клейких речовин та інших хімічних добавок або фінішних шарів.

В сфері поводження з відходами деревини і вживаними виробами з деревини існує чотири категорії, які можуть мати матеріальне та енергетичне призначення [1]:

- перша категорія – природна та тільки механічно оброблена деревина без або з незначними поверхневими забрудненнями натуральними зв'язками, а також деревина від стихійних катаклізмів. Наприклад, меблі з масивної деревини, столярні некондиційні вироби (рейки, бруски, дошки, бруси та інше), масивна деревина із розібраного будинку (крокви, балки, платви, лати, планки та інше);
- друга категорія – оброблена деревина та деревні матеріали без речовин захисту деревини та без галогеноорганічних зв'язків у покриттях. Наприклад, масивна погонажна деревина опоряджена лакофарбовими матеріалами: вагонка, дощата

підлога, дошки, плінтуси, лиштва та інші; композитні матеріали (ДСП, ДВП, МДФ та інші), що покриті натуральним шпоном та опоряджені лакофарбовими матеріалами;

- третя категорія – оброблена деревина та деревні матеріали без речовин захисту деревини та з галогеноорганічними зв'язками у покриттях. Наприклад, композитні матеріали (ДСП, ДВП, МДФ та інші), що покриті, полівінілхлоридними плівками та іншими синтетичними матеріалами;
- четверта категорія – деревина та деревні матеріали, які оброблені речовинами захисту. Наприклад просочені залізничні шпали, електричні, телеграфічні та виноградні стовпи та інші.

Використання ДСП безпосередньо пов'язане з їх фізико-механічними властивостями. Технічні обмеження для їх використання та застосування плит включають такі характеристики, як механічна міцність, стабільність розмірів, однорідність поверхні, оброблюваність, стійкість до утримування шурупів тощо. Вплив характеристик деревної сировини на властивості ДСП в основному пов'язаний з щільністю, рівнем кислотності та геометрією частинок, які впливають на процес склеювання та якість виготовлених плит.

Що стосується використання частинок, отриманих із відходів меблів, які можуть містити плити МДФ, ДСП і пиляну деревину, розрізняють деякі характеристики, наприклад, різницю в щільності між деревиною різних порід і між цими плитними матеріалами. Плити також виготовляються з полімеризованої смоли та парафіну і вже пройшли процес високотемпературного пресування.

З огляду на вищевказане, майбутні дослідження мають на меті оцінити доцільність використання частинок, отриманих із відходів меблів, у чистому вигляді та в різних змішаних пропорціях промислових частинок сосни звичайної, як сировини для виробництва ДСП.

#### Список посилань

1. Borysiuk P., Kurowska A., Czechowska J., Boruszewski P., Mamiński M., Kupniewski C. Waste particles from particleboards machining process as raw material for particleboards manufacturing // Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW. Forestry and Wood Technology. – 2010. – 70. – P. 31–35.

УДК 674.047

**Пінчевська О.О., докт. техн. наук, професор**  
**Спірочкін А.К., канд. техн. наук, доцент**

Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ,  
[olenapinchewska@nubip.edu.ua](mailto:olenapinchewska@nubip.edu.ua)

#### ВПЛИВ КОЕФІЦІЄНТА ВОЛОГОПРОВІДНОСТІ НА КІНЕТИКУ СУШІННЯ

У структурі заготівлі деревини в Україні частина ясена є незначною і складає 2,4 %, проте вироби з неї користуються попитом [1]. Обмеженість сировинних запасів ясена спонукає до якісної ощадливої підготовки деревини до оброблення. Особливо це стосується процесів сушіння. За своїми властивостями деревина ясена схожа на деревину дубу, тому царини їх застосування схожі, а саме: меблі, паркет, столярні вироби, струганий шпон, спортивний інвентар тощо. Таке широке застосування обумовлене властивостями деревини ясена: красивою текстурою, високою міцністю та ударною в'язкістю, довговічністю та стійкістю до загнивання.

Пилопродукцію висушують переважно у конвекційних сушарках, при цьому ясен відносять до важкосохнучих порід деревини. Складність видалення вологи пов'язана із його будовою, оскільки на відміну від дубу, судини ясена не мають перфорації, що зміцнює їх стінки. Ключовим показником, який обумовлює тривалість сушіння є коефіцієнт



вологопровідності деревини –  $a'$ ,  $\text{см}^2/\text{с}$ . Він визначається експериментальним шляхом. Для цього існує декілька методів: стаціонарного та нестаціонарного току вологи, дослідних сушінь та контактного зволоження. Більш зручним і ефективним вважають останній, оскільки він схожий на переміщення вологи у деревині протягом сушіння та зволоження [2].

Відомо, що на величину коефіцієнту вологопровідності впливають щільність деревини, температура оброблення та напрямок руху вологи. Враховуючи відсутність у джерелах інформації даних про величину коефіцієнту вологопровідності ясеня, були проведені відповідні дослідження, що дозволили визначити його залежність від вказаних факторів. Порівняння із відомими значеннями коефіцієнту вологопровідності дубу показали, що ясен має на 15% менші значення, що свідчить про складність видалення з нього вологи.

Проведені експериментальні дослідження сушіння пиломатеріалів з деревини ясеня товщиною 30 мм в камерах італійського виробництва за режимами фірми-виробника сушарок. За результатами досліджень проведено розрахунок кінетики сушіння з урахуванням отриманих значень коефіцієнту вологопровідності (рис.1).

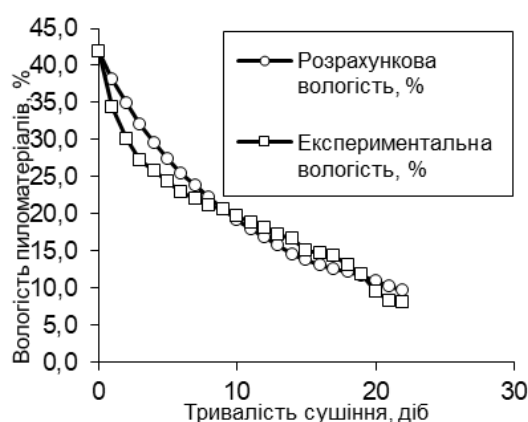


Рис. 1 – Співставлення розрахункових та експериментальних кривих кінетики сушіння пиломатеріалів товщиною 30 мм з деревини ясеня

Видно, що запропонований метод розрахунку кінетики сушіння пиломатеріалів дає точні результати, а встановлення залежності коефіцієнта вологопровідності від щільності деревини та температури дозволить уточнити режими сушіння пиломатеріалів з урахуванням умов зростання лісоматеріалів.

#### Список посилань

1. Державне агенство лісових ресурсів України [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://forest.gov.ua/agentstvo/vidkriti-dani>
2. Pinchevska O. Selection of the efficient drying schedule in conventional chambers / O. Pinchevska, A. Spirochkin, J. Sedliacik, R. Oliynyk // Acta Facultatis Xylologiae Zvolen res Publica Slovaca. – 2018. – 60 (2). – P. 125–134,

### СЕКЦІЯ 3. ГІДРАВЛІЧНІ ТА ПНЕВМАТИЧНІ СИСТЕМИ

УДК 658.512:519.876(075)

**Іскович-Лотоцький Р.Д.,** докт. техн. наук, професор  
Вінницький національний технічний університет, [islord@vntu.edu.ua](mailto:islord@vntu.edu.ua)  
**Веселовська Н.Р.,** докт. техн. наук, професор  
**Залізняк Р.О.,** аспірант  
Вінницький національний аграрний університет, [wnatalia@ukr.net](mailto:wnatalia@ukr.net)  
**Шевченко В.В.,** магістр  
Вінницький національний технічний університет

#### АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ТИПОВИХ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ГІДРОПРИВОДІВ ВІБРАЦІЙНОЇ ТА ЦИКЛІЧНОЇ ДІЇ

При розробці гідравлічних систем приводів різних технологічних машин основні параметри і характеристики гідропривода та конструктивні параметри складових деталей та вузлів гідроагрегатів вибирають, виходячи, в основному, із силових і кінематичних вимог до подолання технологічного навантаження, забезпечення величини ходу і швидкості руху робочих органів на робочому та холостому ходах. Але досвід експлуатації гідрофікованих машин свідчить, що цих вимог недостатньо. Вібрація, нестабільність швидкості руху робочих органів, які часто виникають у гідроприводах, ведуть до зниження надійності машин та погіршення якості виконуваних робіт. Саме тому дослідження динаміки гідропривода має велике значення.

У наукових роботах відомих вчених Т. М. Башти, В. М. Бермана, Ю. О. Бочарова, В. П. Бочарова, В. О. Васильченко, М. С. Гаминіна, І. З. Зайченка, В. В. Єрмакова, Б. Л. Коробочкіна, Ю. П. Майорова, К. Л. Навроцького, І. А. Немировського, Д. М. Попова, В. М. Прокоф'єва, Ю. О. Сахна, В. К. Свешнікова, В. Б. Струтинського, В. О. Федорця, О. М. Яхна та інших створені наукові основи і зроблено вагомий внесок в напрямках математичного моделювання, конструювання і розрахунку гідроприводів. У той же час специфічні особливості режимів навантаження, динамічних характеристик і кінематичних зв'язків гідроприводів, зокрема, вібраційного і циклічного переміщення робочих органів окремих технологічних машин із гідроприводом зумовили необхідність проведення подальших досліджень. Розробці математичних моделей специфічних робочих процесів в гідроприводах вібраційної та циклічної дії присвячені наукові роботи таких вчених, як: О. Д. Алімов, С. О. Басов, В. М. Баранов, М. С. Гаминін, І. Ф. Гончаревич, Д. М. Єшуткін, Ю. Є. Захаров, А. Ф. Кічігін, А. Г. Лазуткін, З. Я. Лур'є, Д. М. Попов, В. М. Прокоф'єв, В. М. Тіхенко, В. О. Федорець, І. А. Янцен та багатьох інших. Особливо інтенсивні дослідження, зокрема, у напрямку створення гідроімпульсного привода для різного технологічного устаткування, проводяться Р. Д. Ісковичем-Лотоцьким, В. О. Пішеніним, О. В. Дерібо, Р. Р. Обертюхом, І. В. Коцом. Проте, проведений аналіз свідчить про відсутність детальних досліджень динаміки робочих процесів, обґрунтування закономірностей функціональної залежності між параметрами та характеристиками гідроприводів у випадку їх застосування для різних насосних агрегатів, що вимагає проведення подальших додаткових теоретичних та експериментальних досліджень для встановлення нових методів розрахунку гідроімпульсних приводів насосних агрегатів та блоків їх автоматичного керування [1-9].

З метою встановлення основних припущень, які висувались при складанні математичних моделей, розглянемо ряд типових математичних моделей для аналізу динаміки технологічних машин із гідроприводом у різних галузях промисловості, в яких використовуються такі машини.

Основи фундаментальної теорії статичних і динамічних процесів об'ємного гідропривода були викладені в ряді робіт проф. В. М. Прокоф'єва і М. С. Гаминіна, Д. М. Попова та В. О. Федорця. Окрім загальних питань об'ємного гідропривода, автори детально розглянули питання побудови динамічних моделей гідроприводів з об'ємним і дросельним управлінням.

В результаті проведеного аналізу математичних моделей можна зробити наступні висновки. Для розрахунку пристроїв гідравлічної автоматики традиційно використовуються методи, засновані на представленні фізичних параметрів пристроїв зосередженими. Такий підхід достатньо обґрунтований, оскільки найбільші частоти роботи гідравлічних пристроїв складають десятки герц, а розміри агрегатів рідко перевищують один метр. Лише наявність в гідравлічних системах довгих трубопроводів і вимушує розглядати питання про розподіленість пружно-інерційних параметрів.

Розробка теоретичних основ дослідження гідравлічних вузлів вібраційної та циклічної дії, керованих реверсивними пристроями клапанного чи золотникового типу, що аналогічні досліджуванам в даній роботі, пройшла ряд етапів свого розвитку. Розрахунки, які проводилися на першому етапі, ґрунтувалися на простих математичних залежностях гідравліки і механіки. В подальших дослідженнях у цьому напрямку для опису робочого процесу проводилося розбиття його на окремі фази, для яких складалися диференціальні рівняння руху і балансу витрат робочої рідини з припущеннями про релейність спрацьовування АГР – клапана-пульсатора, тобто без врахування його динаміки. Наступний етап досліджень аналогічних гідроприсроїв, керованих клапанами-пульсаторами, почався з робіт Р. Д. Ісковича-Лотоцького, Р. Р. Обертюха, І. В. Коца та інших науковців, які надали можливість на основі спрощеної математичної моделі гідросистеми з дво- чи триходовими АГР – клапанами-пульсаторами створити науково обґрунтовану методику інженерних розрахунків цих пристроїв з урахуванням їх конструктивних параметрів, яка забезпечувала достатню для практики точність результату.

На даний час при моделюванні досить складних робочих процесів динаміки гідравлічних приводів вібраційної та циклічної дії набув метод використання одиничних функцій, що дозволило перейти від поетапного складання рівнянь та їх поетапного розв'язку чисельними методами для окремих послідовних фаз робочого циклу до розв'язування однієї системи з обмеженою кількістю рівнянь, що надає можливість скоротити тривалість розв'язування подібних систем із використанням сучасних програмних продуктів (MATLAB, Mathcad, Maple та інших).

Узагальнені математичні моделі динаміки робочих процесів гідроприводних насосних агрегатів та дослідження особливостей режимів їх роботи при перекачуванні будівельних та бурових розчинів тощо, розглянуті окремими дослідниками. В переважній більшості зазначених робіт гідропривод розглядається без врахування стисливості робочої рідини або її зміни із зростанням тиску, а також у використаних математичних моделях обмежено розглядаються закономірності функціонування блоків керування гідроприводами досліджуваних насосних агрегатів. Інших теоретичних досліджень гідравлічних приводів вібраційної та циклічної дії, використовуваних для привода виконавчих органів насосних агрегатів в різних галузях промисловості, нами не виявлено.

Проведений аналіз свідчить про необхідність подальших детальних досліджень динаміки робочих процесів, обґрунтування закономірностей функціональної залежності між параметрами та характеристиками гідроприводів у випадку їх застосування для різних насосних агрегатів.

#### Список посилань

1. Веселовська Н.Р. Теорія різання та інструмент: навчальний посібник. / Н.Р. Веселовська, Р.Д. Іскович-Лотоцький, І.М. Ковальова. – Вінниця: ВНАУ, 2019. – 297 с.

2. Вірник М. М. Вібраційні та віброударні процеси і машини у ливарному виробництві: монографія / М. М. Вірник, Р. Д. Іскович-Лотоцький, Н. Р. Веселовська. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2007. – 198 с.
3. Гідроімпульсні приводи технологічних вібромашин із захистом гідронасоса від дії пульсуючого тиску / [Обертюх Р. Р., Іскович-Лотоцький Р. Д., Архипчук М. Р., Мовчанюк М. А.] // Промислова гідравліка і пневматика. – 2007. – № 1 (15). – С. 52 – 57.
4. Гідроприводи та гідропневмоавтоматика / [Федорець В. О., Педченко М. Н., Струтинський В. Б. та ін.]; за ред. В. О. Федорця. – К.: Вища шк., 1995. – 463 с.
5. Дерібо О. В. Вибір параметрів дросельного гідродвигуна електрогідравлічного стежного вібропривода / О. В. Дерібо // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2007. – № 3. – с. 83 – 88.
6. Іскович-Лотоцький Р. Д. Генератори імпульсів тиску для керування гідроімпульсними приводами вібраційних та віброударних технологічних машин: монографія / Р. Д. Іскович-Лотоцький, Р. Р. Обертюх, М. Р. Архипчук. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2008. – 171 с.
7. Shatokhin V., Ivanchuk Y., Dvirna O., Veselovskaya N., Jurczak W. Dynamic Processes Modeling in a Peristaltic Pump with a Hydraulic Drive for the Bingham Fluid. *Advances in Science and Technology Research Journal*. 2022. № 16 (4), P. 256–269.
8. Veselovska N. R., Shargorodsky S.A., Larysa E. Nykyforova L.E, Zbigniew Omiotek, Imanbek Baglan, and Mergui Kozhamberdiyeva. Efficiency assessment functioning of vibration machines for biomass processing, *Biomass as Raw Material for Production of Biofuels and Chemicals: monograph*. Routledge Taylor & Francis Group. London, UK.2022. P. 53-60.
9. Веселовська Н.Р. Загальні принципи побудови і дослідження детермінованих моделей вібраційних та віброударних машин з гідроімпульсним приводом. / Веселовська Н.Р., Зелінська О.В., Іванчук Я.В. // Вібрації в техніці та технологіях. 2018. – № 4 (91). – с. 20–27.

УДК 658.512:519.876(075)

**Веселовська Н.Р., докт. техн. наук, професор**

**Романов В.В., аспірант**

**Пастушенко О.І., бакалавр**

Вінницький національний аграрний університет, [wnatalia@ukr.net](mailto:wnatalia@ukr.net)

## ВІДОМІ КОНСТРУКЦІЇ НАСОСІВ З ГІДРАВЛІЧНИМ ПРИВОДОМ

Класичним підходом до класифікації насосних агрегатів є їх поділ за принципом дії на об'ємні, динамічні та спеціальні (струменеві, газліфти, електромагнітні). Практично, при виборі типу насосного агрегату необхідно врахувати вид перекачуваного середовища, а також такі фактори як температура і в'язкість цього середовища. Від фізичних та хімічних властивостей перекачуваного середовища залежить конструкція насоса, принцип його роботи, а також вибір матеріалу.

Насоси, що розглядаються за їх функціональним призначенням, можна віднести до галузевих. Особливості конструкції і принцип дії різних насосів визначають діапазони подачі і напору, в межах яких доцільно використовувати насоси того або іншого типу, та галузі їх застосування. Не зважаючи на досить велику кількість конструкцій насосів, є ряд середовищ, перекачування яких традиційними засобами в ряді випадків неефективне, пов'язане з додатковими витратами або різного роду складнощами [3-6].

Насоси з гідравлічним приводом ще досить обмежено представлені на вітчизняному ринку, тоді як в багатьох країнах світу, зокрема, в Німеччині, США, Італії, Норвегії та інших країнах завдяки своїм перевагам вони знайшли широке застосування в багатьох галузях промисловості. Сьогодні в багатьох розвинених країнах насоси з гідроприводом випускаються рядом фірм: Feluwa Pumpen GmbH (Німеччина), Milton Roy (США), Alemite (США), Maritime Hydraulics (Норвегія), Wagner, Dellmeco, FlowMaster, Graco, Tapflo, Wilden Pump & Engineering, Grundfos, Махроу (США) та ін. Ці насоси широко застосовуються в різних галузях промисловості, і, зокрема, для відкачування в'язких, корозійно-активних і забруднених середовищ з

резервуарів і відстійників, для збору розлитих нафтопродуктів, для перекачування бурового розчину і будівельних цементних сумішей, а також як насоси-дозатори в різних технологічних процесах хімічної, харчової та інших галузях промисловості.

В таблиці 1 наведені порівняльні дані деяких насосних агрегатів з гідравлічним і механічним приводом, які призначені для перекачування різних середовищ.

Таблиця 1 – Показники питомої енергоємності та якості конструкції для насосних агрегатів з механічним і гідравлічним приводом

| Тип насоса                                                                       | Продуктивність, м <sup>3</sup> /год | Тиск, $p$ , МПа | Маса $G$ , кг | Частота робочих циклів $n$ , хв <sup>-1</sup> | $K_1$ | $K_2$ |
|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------|---------------|-----------------------------------------------|-------|-------|
| Поршневий діафрагмовий насос Feluwa з механічним приводом                        | 75                                  | 25              | 6000          | 70                                            | 0,29  | 0,087 |
| Машина з механічним приводом двопоршневого розчинонасоса Р 13 SEDMR              | 7,2                                 | 1               | 1020          | 20                                            |       |       |
| Поршневий насос EstrichBoy KP 715 D3 з механічним приводом                       | 18                                  | 6,8             | 1540          | 30                                            |       |       |
| Агрегат дозувальний плунжерний НД 2500/10 з механічним приводом                  | 2,48                                | 1               | 214           | 90                                            |       |       |
| Гідроприводний діафрагмовий насос ГНП 160/25 (без привода)                       | 160                                 | 25              | 5500          | 30                                            | 1,61  | 0,212 |
| Гідроприводний діафрагмовий насос ГНП 160/25 з приводом від відцентрового насоса | 160                                 | 25              | 8100          | 30                                            | 1,09  | 0,138 |
| Поршневий гідроприводний насос НПП-16                                            | 1,2                                 | 25              | 165           | 20                                            |       |       |
| Розчинонасос РНГ-4 з гідравлічним приводом                                       | 4                                   | 6               | 260           | 30                                            |       |       |
| Дозувальний насос Grundfos DMH 288 з гідравлічним приводом мембрани              | 0,021                               | 20              | 138           | 153                                           |       |       |

Коефіцієнт  $K_1$  – показник якості конструкції, який визначався за формулою, кг/кг:

$$K_1 = \frac{m_p}{G} 100, \quad (1)$$

де  $m_p$  – маса рідини, що перекачується за один робочий цикл, кг;  
 $G$  – маса насосного агрегату, кг.

Коефіцієнт  $K_2$  – показник питомої енергоємності, кВт/кг:

$$K_2 = \frac{pQ}{G} 100, \quad (2)$$

де  $pQ$  – корисна потужність насосного агрегату, кВт.

Розглянемо відцентровий глибинний насос з гідравлічним приводом АНП “Гидро” 50 (рис. 1). Дані насоси застосовуються як навісне устаткування на тракторах МТ-380, також на причіпних візках, на яких встановлені двигуни Д-120, гідронасоси НШ-32 і гідравлічні ємності.

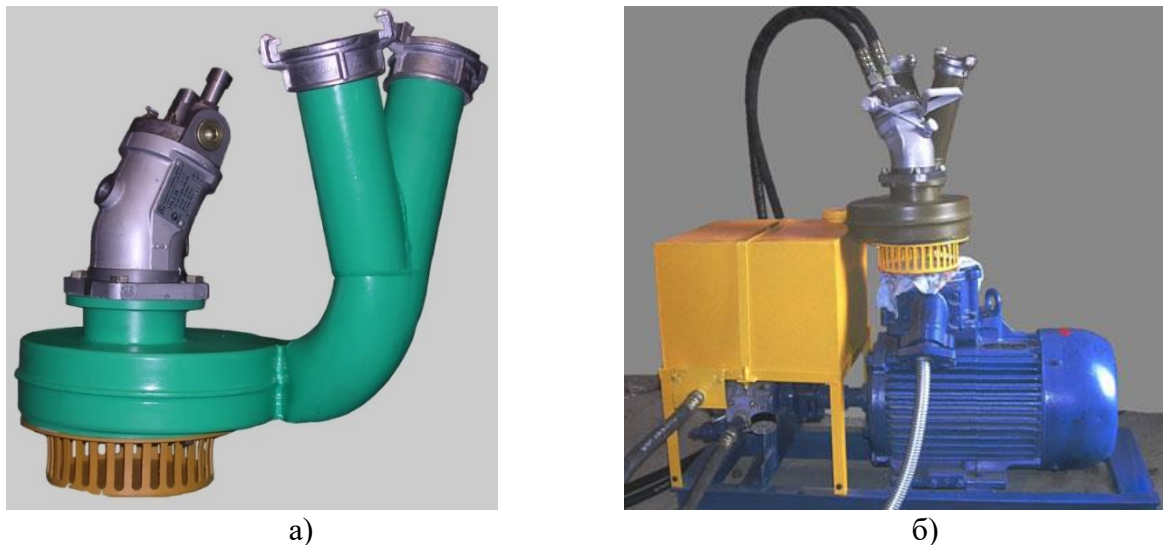


Рис. 1 – Глибинний відцентровий насос з гідроприводом АНП “Гидро” 50: а – загальний вигляд; б – варіант роботи в стаціонарному режимі

Продуктивність таких насосів складає 50 – 60 м<sup>3</sup>/год при напорі 15 м. Ці насоси мають ряд переваг в порівнянні, наприклад, з глибинними насосами з електроприводом. Відцентрові насоси з гідроприводом є вибухо- та пожежобезпечними, мають малу вагу, що в поєднанні з великою продуктивністю (при  $Q = 50$  м<sup>3</sup>/год – маса 8 кг) значно збільшує діапазон і зручність застосування даних насосів. Для порівняння, глибинний насос з електроприводом “Гном” при продуктивності 53 м<sup>3</sup>/год має вагу 54 кг, глибинний насос з електроприводом фірми “Фліт” при продуктивності 36 м<sup>3</sup>/год має масу 140 кг [1-6].

Крім зазначених, іншими обмеженнями використання насосів динамічної дії, зокрема згаданих відцентрових насосів, є те, що оптимальна зона їх застосування з найвищими значеннями ККД характеризується швидкохідністю від 50 до 1200 хв<sup>-1</sup>. Загальний характер залежності коефіцієнта швидкохідності і ККД насоса показують криві. З іншого боку, конструкції багатоступінчатих відцентрових насосів дозволяють забезпечити високий тиск при невеликій подачі. Проте, зростання числа ступенів приводить до того, що графік ККД на витратно-напірній характеристиці насоса стає більш загостреним. Можливості ефективної роботи в широкому діапазоні продуктивності для таких насосів істотно обмежені.

**Висновки.** Використання традиційних конструкцій насосних агрегатів та приводів для їх насосних вузлів зворотно-поступальної дії не дозволяє забезпечити достатню ефективність та економічно обгрунтовану доцільність їх застосування, встановлена тенденція удосконалення конструкцій приводів насосних агрегатів для підвищення їх ефективності.

#### Список посилань

1. Веселовська Н.Р. Теорія різання та інструмент: навчальний посібник. / Н.Р. Веселовська, Р.Д. Іскович-Лотоцький, І.М. Ковальова. – Вінниця: ВНАУ, 2019. – 297 с.
2. Деклараційний патент України на корисну модель № 34895 U. МПК 7 F04B 43/06. Мембранний насос із гідравлічним приводом. Коц І. В., Петрусь В.В. Реєстраційний номер заявки u200804112. Заявлено 01.04.08. Опубліковано 26.08.2008. Бюл. № 16.
3. Петрусь В.В. Дослідження робочого процесу насоса мембранного типу з гідроприводом. / В.В. Петрусь // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві: Науково-технічний збірник. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця. – 2007. – № 4. – с. 169-175.



УДК 62.822

Гнатюк О.Ф., викладач

Житомирський агротехнічний фаховий коледж, alenagnatyuk1@gmail.com

### ГІДРОІМПУЛЬСНИЙ ПРИВІД ВІБРОУДАРНОГО ПРИСТРОЮ ЗАВАНТАЖУВАЛЬНО-РОЗВАНТАЖУВАЛЬНОГО КУЗОВА ОДНОСКАДНОГО КЛАПАНА-ПУЛЬСАТОРА

Для розвантаження кузова тракторного причепа-самоскида для його очищення від примерзлих вантажів використана ідея застосування додаткових корисних віброударних збуджень. Для її реалізації до кузова 16 (рис. 1, а) приєднується спеціальний гідравлічний віброударний пристрій 1, який живиться від гідросистеми підйому кузова, який при цьому суттєво не змінюється (рис. 1, б) [2].

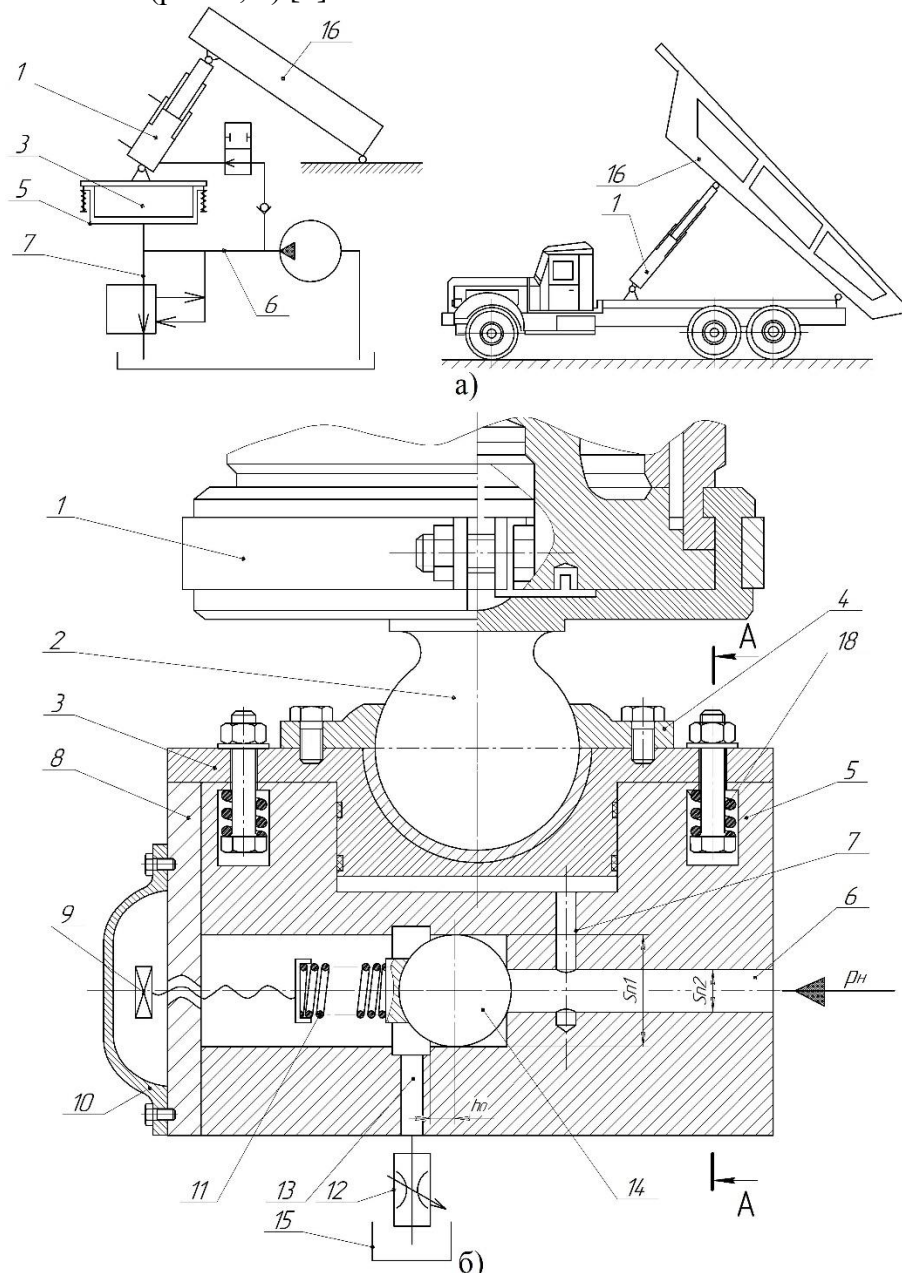


Рис. 1 – Гідроімпульсний привід віброударного пристрою автомобіля-самоскида: а) – схематичне розташування вузлів привода; б) – конструктивна схема вбудованого клапана-пульсатора

Конструктивна схема пристрою гідроімпульсного приводу цього віброударного пристрою наведена на рис. 2. Основний корпус 1 пристрою, враховуючи його конструкцію та тип вантажу, об'єднаний зовнішніми частинами основного корпусу. Бойок 5 пристрій притиснутої пружиною 4 до буртика ствола корпусу 1 і одночасно виконує функцію робочого гідроциліндра [2].

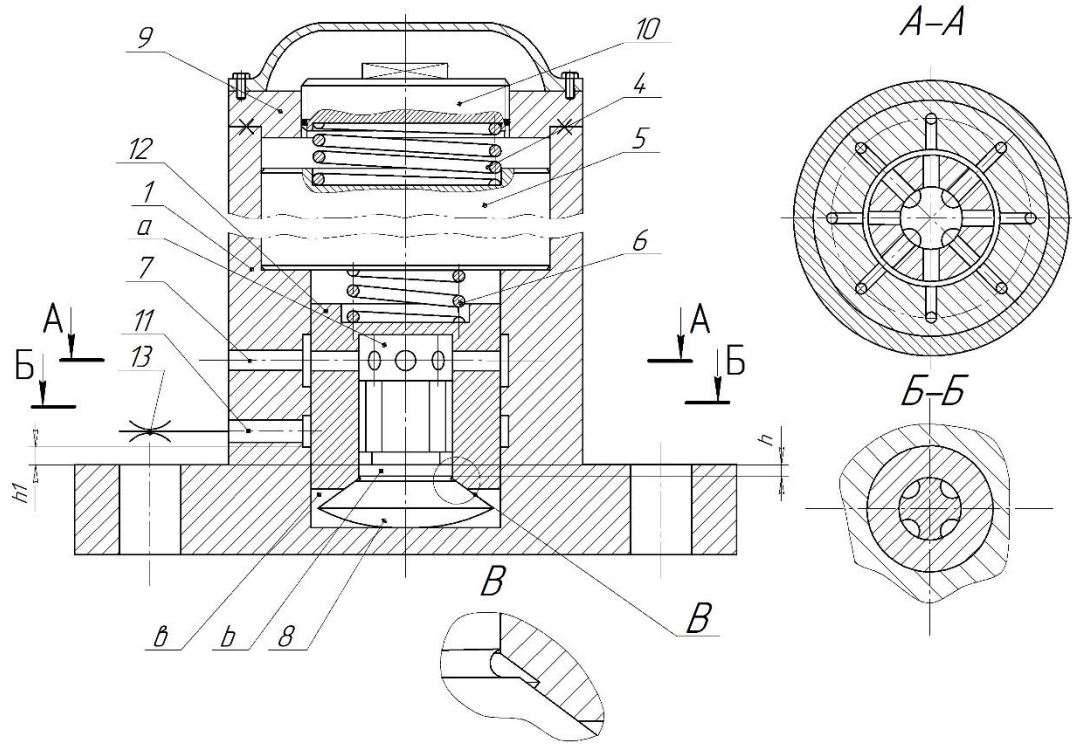


Рис. 2 – Схема конструкції гідроімпульсного приводу віброударного пристрою розвантажувача причепа-самоскида

Принцип роботи пристрою в наступному. По напірному гідропроводу через отвір 7 робоча рідина під тиском надходить у підпоршневу камеру *a* золотника поршня 12, в якому у свій час з перекриттям *h* розташоване саморегулююче сідло 8. Під дією тиску рідини на робочій площі  $S_1$  золотника 12 поршня створює силу  $pS_1$ , яка змушує золотник 12 поршня рухатися вгору, стискає контактну пружину 6 з жорсткістю до змикання її витків і саморегулююче сідло 8 залишається на місці.

При цьому жорсткість контактної пружини 6 визначається з умови  $k < \frac{pS_1}{h}$ , де *p* – заданий тиск спрацювання клапана.

Далі поршень-золотник 12 переміщується разом з ударним бойком 5 відносно самовстановлювального сідла 8 до моменту перекриття  $h_1$  і сполучення порожнини *a* і *b* із зливними гідролініями 11.

Після з'єднання порожнини *a* і *b* імпульс тиску в останній збільшується і підтримується за рахунок перепаду тиску на дросельній заслінці 13. Під дією імпульсу тиску бойок 5 і поршень-золотник 12 стискаються разом з підйомною пружиною 4, при цьому камера *b* сполучається з масловідвідним трубопроводом 11, і робоча рідина витікає з камери *b* і камери *a* гідроциліндра 1, в результаті чого при падінні тиску за рахунок накопиченої енергії активується силова пружина 4.

Одночасно ударник 5 вдарається об корпус 1 гідроциліндра 1, і таким чином гідроциліндр отримує удар. Крім того, поршневий золотник 12 повертається у вихідне положення і запобігає надходженню рідини в камеру *b* з камери *a*, що від'єднує гідролінію

11 від напірної гідролінії 7, і залишок рідини в підпоршневій камері *b* зменшує удар поршня-золотника 12 в місті контакту фасок за рахунок демпфування. Далі йде повернення системи у вихідне положення для наступного повторення робочого циклу [2].

#### Список посилань

1. Веселовська Н. Р. Моделювання робочих режимів вібраційних та віброударних машин. / Веселовська Н. Р., Зелінська О. В., Іванчук Я. В., Гнатюк О. Ф. // Техніка, енергетика, транспорт АПК. – 2019. – No1 (104). – С. 56-63 URL: <http://tetapkv.vsau.org/storage/articles/February2020/tv42BJNVkOcSGww4jd0d.pdf>
2. Веселовська Н. Р. Перспективний віброударний пристрій для розвантаження транспортних засобів. / Веселовська Н. Р., Іскович-Лотоцький Р. Д., Гнатюк О. Ф. // Вібрації в техніці та технологіях. – 2021. – No 3 (102). – С. 43-51. URL: <http://vibrojournal.vsau.org/storage/articles/October2021/fGsLQpa1bZ5Y9SLFQz Db.pdf>
3. Веселовська Н. Р. Сучасні технології у вантажно-розвантажувальних роботах на мобільному автомобільному транспорті. / Веселовська Н. Р., Іскович-Лотоцький Р. Д., Іванчук Я. В., Гнатюк О. Ф. // Вібрації в техніці та технологіях. – 2020. – No 4 (99). – С.59-66.

УДК 66.021

**Яхно О.М., докт. техн. наук, професор**  
**Гнатів Р.М., докт. техн. наук, професор**  
**Ночніченко І.В., канд. техн. наук, доцент**

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,  
nochnichenko.ihor@lil.kpi.ua

#### ЯВИЩА ПЕРЕНОСУ В НАВКОЛИШНЬОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Великий внесок у дослідження явищ переносу зробили такі вітчизняні та закордонні вчені: Байрон Берд Р., Кутателадзе С., Левіч В.Г., Петухов Б., Стьюарт В., Лайтфут Е., Фермі Є., Керзон Хуанг, Шорін С.Н., Тагер А. А., Капіца П.Л. [1-6].

Питання пов'язані з особливостями явища переносу в екологічних середовищах останнім часом все більш стають актуальними проблемами наукового та прикладного значення. Близько 71% поверхні землі займає вода, також слід зазначити, що тіло людини складається в залежності від віку від 55...75% з води та маси тіла. Вона відіграє велику роль в більшості процесів та явищ, які виникають на планеті та за її межами. Збільшення кількості населення, за умов урбанізації території їх проживання, спричиняє активізацію антропогенних впливів на водні об'єкти. Ці закономірності визначають зростання об'ємів забруднень, а також необхідності для їх санітарного та екологічного контролю. Необхідно аналізувати особливості динаміки річкових течій та руслових процесів масопереносу разом з екологічними показниками на карпатських територіях для оцінювання впливу вказаних чинників на становище прилеглої мережі річок [1-2].

Процеси переносу становлять значний клас явищ, які відбуваються при русі рідини і широко використовуються у розрахунках інженерних систем. До яких відноситься і перенос кількості руху, домішок і теплоти. В усіх трьох випадках речовиною транспортування є вода. Відповідно закони, які описують рух цієї рідини, таким чином описують і закономірності переносу різних субстанцій у ній. Дуже чіткою, є аналогія між розглядуваними процесами простежується при турбулентному русі, коли перенос субстанції відбувається окремими молями речовини.

Враховуючи, що такі коефіцієнти - в'язкості, теплопровідності, дифузії є розмірними і пропорційними величинами тому їх вибір пов'язаний з реальними процесами інтенсифікації згідно з даними фізичних явищ. Ключовою позицією в процесах переносу є вхідні дані та градієнтні рівняння разом із коефіцієнтами переносу. Особливості визначення для фізичної хімії можна охарактеризувати енергію активації та довжину вільного пробігу молекул.

Спираючись на фізико-хімічні дані переносу, формуються базові процеси та рівняння та будується відповідна математична модель.

Рівняння, що описують явища переносу наведено нижче.  
Перенос руху, закон в'язкості Ньютона [3]:

$$\tau = -\mu \operatorname{grad} \dot{\gamma}, \quad (1)$$

де  $\dot{\gamma}$  – швидкість середовища в просторі.

Перенос маси, закон дифузії Фіка [3]:

$$q_t = -D \operatorname{grad} C, \quad (2)$$

де  $D$  – коефіцієнт дифузії – величина, що визначає швидкість перенесення молекул,

$C$  – концентрація молекул в речовині.

Перенос тепла (теплопровідність закон Фур'є) [3]:

$$q_e = -Q_\lambda \operatorname{grad} T. \quad (3)$$

де  $Q_\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності.

Перехід від макроскопічного до мікроскопічного рівня можна в першому приближенні представити через середню довжину вільного пробігу та довжиною шляху перемішування яка згідно з гіпотезою Нікурадзе-Прандтля пропорційна відстані від стінки каналу (поперечне змішування)  $x=0,4$  для труби. Постійна Кармана визначається тільки експериментально у – поперечна координата  $l=xu$ .

Турбулентне дотичне напруження за Прандтлем:

$$\tau_0 = \rho l^2 \left( \frac{dv_x}{dy} \right)^2 \quad (4)$$

Важливим елементом при вирішенні таких задач є дослідження та розрахунок ефективних дифузійних процесів при інтенсифікації в системах тепло- і масообміну.

Таблиця 1 – Значення коефіцієнтів дифузії (рідина, л)

| Пара видів        | T, C° | D, cm <sup>2</sup> /c |
|-------------------|-------|-----------------------|
| Повітря - вода    | 25    | $2,00 \times 10^{-5}$ |
| Водень - вода     | 25    | $4,50 \times 10^{-5}$ |
| Кисень - вода     | 25    | $2,1 \times 10^{-5}$  |
| Колоїдні частинки | 25    | $1 \times 10^{-10}$   |

У турбулентному потоці, наявність пульсацій швидкостей створює умови для хаотичного переміщення кінцевих об'ємів середовища (молів). Оскільки останні мають інерцію, моль, який рухається з більшою швидкістю, потрапивши у повільніший шар середовища, буде його прискорювати, і навпаки. Разом з передачею кінетичної енергії, відбувається передача розчинених або завислих часток, які знаходяться у молях часток що рухаються. Інтенсивність масопередачі у цьому випадку характеризується коефіцієнтом турбулентної дифузії  $D_T$ , який не є фізичною константою, а залежить від гідродинамічної картини руху.

Коли масопередача відбувається одночасно за рахунок молекулярної і турбулентної дифузії, визначається із залежності:

$$D_{ef} \approx D_M + D_T \quad (5)$$

#### Список посилань

1. Кафаров В. В. Основы массопередачи: системы газ - жидкость, пар - жидкость, жидкость – жидкость/ В. В. Кафаров. – М.: Высшая школа, 1979. – 440 с
2. Шорин С.Н. Теплопередача. / С.Н.Шорин. – М: Высшая школа, 1964. – 491 с.

3. Ночніченко І.В. Інформаційно-енергетичний підхід до вирішення задач гідродинаміки та механотроніки в процесах переносу енергії. / Ночніченко І.В., Яхно О.М. // *Mechanics and Advanced Technologies* – №3 (87). – 2019. – с.38-48. doi: 10.20535/2521-1943.2020.88.195505.
4. Великанов М.А. Динамика русловых потоков. Т.2. Наносы и русло. / Великанов М.А. – М.: Гос. изд-во технико-теоретической литературы, 1955. – 323 с.
5. Restoring riverine landscapes: successes and deficits in the context of ecological integrity./ [Muhar S., Jungwirth M., Unfer G., Wiesner C., Poppe M., Schmutz S., Habersack H.] // 6th Intern. Gravel Bed Rivers Workshop, Lienz, Austria, 5-9 September 2005. – p. 779-803.
6. Analysis of interaction between a configurable stone and a water flow. / [Strutinskiy V., Yakhno O., Machuga O., Hnativ I., Hnativ R.] // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2018. – Vol 6, No 10 (96): Ecology. – p. 14-20.

УДК 62-253.58

**Куліков О. А., аспірант**  
**Ратушний О. В., канд. техн. наук, доцент**  
Сумський державний університет, [kulikov.aleksandr322@gmail.com](mailto:kulikov.aleksandr322@gmail.com)

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ НАПІРНИХ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВІД КІЛЬКОСТІ ЛОПАТЕЙ В КОНТРОТОРНОМУ СТУПЕНІ**

Напір робочого колеса залежить від багатьох факторів, одним з них є кількість лопатей. Як відомо, у відцентровому насосі передача енергії рідині відбувається за рахунок взаємодії рідини з лопатями. Чим більша кількість лопатей та чим вони довше, тим більше часу рідина буде з ними взаємодіяти, а отже й кількість переданої енергії рідині буде більшою. Але занадто багато лопатей також погано впливає на к.к.д. насоса в цілому. Так як при збільшенні кількості лопатей відбувається зменшення міжлопатєвого каналу, що призводить до стиснення рідини на вході в робоче колесо. Також збільшена кількість лопатей призводить до більшого тертя рідини [1].

Умови руху частинок рідини в міжлопатєвих каналах робочого колеса відцентрового насоса відрізняються високою складністю і великою невизначеністю через неусталений рух, дію багатьох сил, тощо. Дотепер стосовно відцентрових машин користуються одномірною або струминною теорією, запропонованою в 1754 р. Л. Ейлером [2].

За ідеєю Л. Ейлера стосовно відцентрового насоса, необхідно розглянути робоче колесо, що складається з нескінченно великого числа нескінченно тонких лопатей. В цьому випадку лінії течії частинок рідини конгруентні (сумісні), траєкторії їх співпадають з контуром профілю лопаті, а відносна швидкість для кожної точки області буде дотична до поверхні лопаті в даній точці. При такій схемі руху потік в області робочого колеса буде вісесиметричним. Дана схема дозволяє без знання процесів, що відбуваються всередині каналів робочого колеса, отримати необхідні співвідношення параметрів потоку на вході і виході з останнього [2].

Але величина крутного моменту не залежить від кількості лопатей колеса при постійному коефіцієнті співвідношення між кутом, утворюваним гранями лопаті і кутом, утворюваним гранями каналу. Проте з огляду на допущення, зроблене нами при розрахунку крутного моменту про те, що в розрахунковій моделі колесо складається із нескінченного числа нескінченно тонких лопатей, чим більшим буде реальне число лопатей, тим ближчим буде реальне значення крутного моменту до розрахункового значення. Тому тут умовою раціоналізації є наявність такого максимального числа лопатей, при якому товщина лопаті буде мати достатню міцність на згин при експлуатації [3].

Теоретична характеристика, що визначена методом Ейлера відрізняється від індивідуальної дійсної характеристики внаслідок припущення про нескінченну кількість нескінченно тонких лопатей, неврахування втрат напору на тертя рідини об поверхню



проточної частини турбомашини, через втрати напору на удар, раптової зміни швидкості потоку, на вихроутворення. Тому згущення лопатевої решітки може призвести й до негативних наслідків [3].

Об'єктом дослідження є контрроторна ступінь з базовим робочим колесом насоса ЦНС-180/1900. Для дослідження було створено чотири лопатеві диски, що мають відповідно 5, 6, 7 та 8 лопатей. Робоче колесо в своєму складі в усіх розрахунках має 8 лопатей.

Дослідження проводилось за допомогою програмного продукту ANSYS CFX, в якому закладено метод чисельного вирішення фундаментальних законів гідромеханіки [4, 5]: рівнянь руху в'язкої рідини спільно з рівнянням нерозривності. Це є достатньою умовою обґрунтованості застосування результатів чисельного дослідження. Слід зазначити, що ANSYS CFX неодноразово випробувався при вирішенні задач насособудування, розбіжність результатів чисельного і фізичного моделювання не перевищує 5%, тому даний програмний продукт придатний для вирішення поставленого завдання дослідження.

В результаті досліджень було отримано характеристику течії в контрроторному ступені (рис. 1). Результати досліджень занесені до таблиці 1.

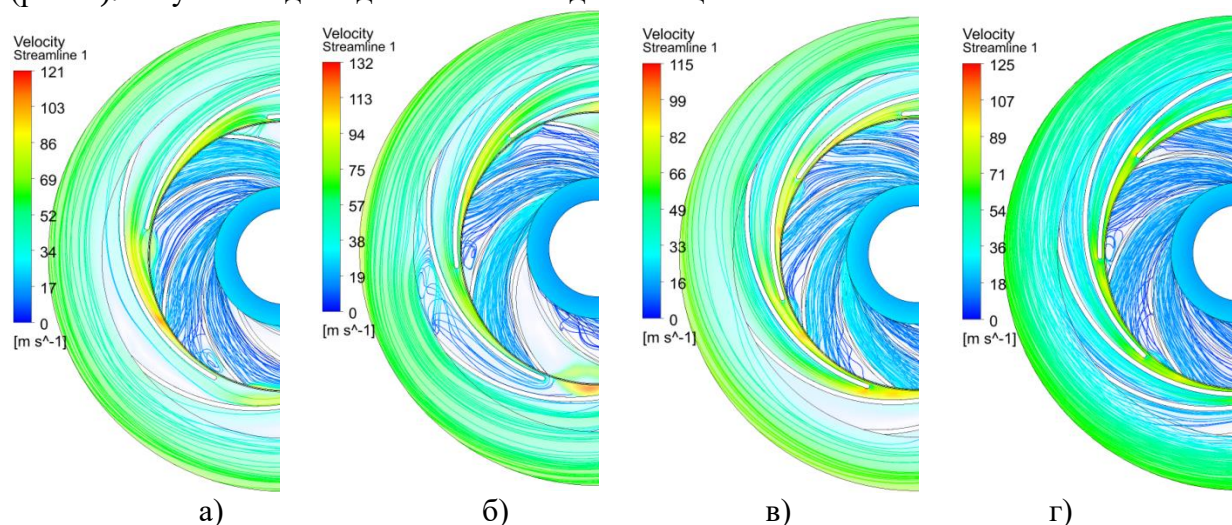


Рис. 1 – Контрроторні ступені з різною кількістю лопатей: а) 5, б) 6, в) 7, г) 8

Таблиця 1 – Характеристики контрроторних ступенів

| Кількість лопатей | Напір (Н), м | Потужність(N), КВт | ККД (η), % |
|-------------------|--------------|--------------------|------------|
| 5                 | 304          | 280                | 57         |
| 6                 | 342          | 292                | 57         |
| 7                 | 377          | 285                | 65         |
| 8                 | 417          | 269                | 73         |

Як можемо побачити, контрроторна ступінь, що має вісім лопатей на диску показала найкращі результати (рис. 1, г). Це можна пояснити тим, що в цій ступені через велику кількість лопатей створюється малий міжлопатевий канал, що запобігає вихроутворенню, а також збільшена кількість лопатей передає більшу кількість енергії рідині. В інших ступенях (рис 1, а-в) міжлопатеві канали більші, через це на виході з робочого колеса та на вході в лопатевий диск створюється вихор, що знижує ККД та напір ступеню. На вході в лопатевий диск (рис. 1, г) може відбуватися стиснення потоку, але порівнюючи отримані характеристики ступенів, можемо сказати, що стиснення потоку не сильно на них впливає.

#### Список посилань

1. Ржебаєва Н.К. Розрахунок та конструювання відцентрових насосів: навчальний посібник / Ржебаєва Н.К., Ржебаєв Е.Є. – Суми: Видавництво СумДУ, 2009. – 220 с
2. Ковальов І. О. Гідравліка, гідро та пневмоприводи (частина І): навч. посіб. [Текст]/ І. О. Ковальов, О. В. Ратушний. – Суми : Сумський державний університет, 2015. – 250 с.



3. Ратушний О. В. VI технологічний уклад: перспективи розвитку систем, які передають енергію рідині: монографія / О. В. Ратушний. – Суми: Сумський державний університет, 2020. – 212 с.

4. Loitsianskyi L.G. Mechanics of liquid and gas [Mehanika zhidkosti i gaza]: Study guide/ L.G. Loitsianskyi. – 7th edition. – М.: Drofa, 2003. – 840 p.

5. ANSYS CFX 13.0 Solver Theory. Release 13.0, 2010. 261 p. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ansys.com>.

УДК 62-253.5

Куліков О. А., аспірант

Ратушний О. В., канд. техн. наук, доцент

Сумський державний університет, [kulikov.aleksandr322@gmail.com](mailto:kulikov.aleksandr322@gmail.com)

### ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ НАПІРНИХ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНТРРОТОРНОГО СТУПЕНЯ ВІД ЗБІЛЬШЕННЯ ДІАМЕТРА ЛОПАТЕВОГО ДИСКУ

При проектуванні робочого колеса важливу роль відіграє його зовнішній діаметр на виході D2. Чим більше зовнішній діаметр, тим більше буде напір робочого колеса, через більшу взаємодію рідини з лопатями в результаті чого передається більша кількість енергії. Характеристики насоса можна змінювати наступним чином. Найперше й найпростіше це перекриття напірної або всмоктуючої магістралі. Наступним кроком йде регулювання частоти обертання валу електродвигуна, але цей спосіб використовують не широко через те, що потрібне додаткове обладнання. Ще одним кроком для регулювання параметрів насоса є підрізання робочого колеса для зменшення напірної характеристики. Цей спосіб використовують найчастіше, коли регулювання засувками на трубопроводах виявляється недостатнім [1].

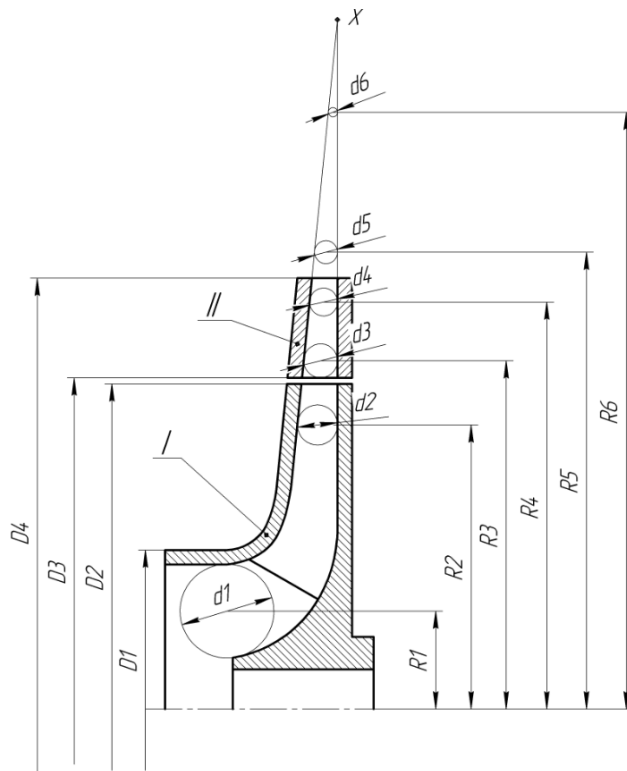


Рис.1 – Меридіональний переріз контр роторного ступеню.

На рисунку 1 можемо побачити меридіональний переріз контр роторного ступеню. Ця ступінь складається з робочого колеса (I) та лопатевого диска (II), що обертаються в протилежні сторони.

Отже, виходячи з вищенаведеного, можемо зазначити, що при збільшенні зовнішнього діаметру виходу лопатевого диска D4 ми збільшуємо його напірність. Але так як при проектуванні нам потрібно дотримуватися правил побудови меридіонального перерізу, то при збільшенні зовнішнього діаметру D4 будемо спостерігати зменшення ширини виходу b4. При достатньому збільшенні D4, ширина виходу b4 буде зменшуватись, наближаючись до нуля. Це призведе до того, що в певній точці (X) вихід з контрроторного ступеня буде відсутнім. Також слід зазначити, що мала відстань між покривним та основним диском призводить до труднощів з виготовленням та обробкою деталей.

Для дослідження характеристик контрроторних ступенів зі збільшенням зовнішнього діаметру лопатевого диску D4 було спроектовано 4 моделі. Об'єктом дослідження стала контрроторна ступінь з базовим робочим колесом насоса ЦНС-180/1900. Для дослідження були створено чотири лопатеві диски, що мають зовнішній діаметр лопатевого диску D4 - 410мм, 440мм, 470мм та 500мм. Дослідження проводилось за допомогою програмного продукту ANSYS CFX, в якому закладено метод чисельного вирішення фундаментальних законів гідромеханіки [2, 3]: рівнянь руху в'язкої рідини спільно з рівнянням нерозривності.

В результаті досліджень було отримано характеристику течії в контрроторному ступені (рис. 2). Результати досліджень занесені до таблиці 1.

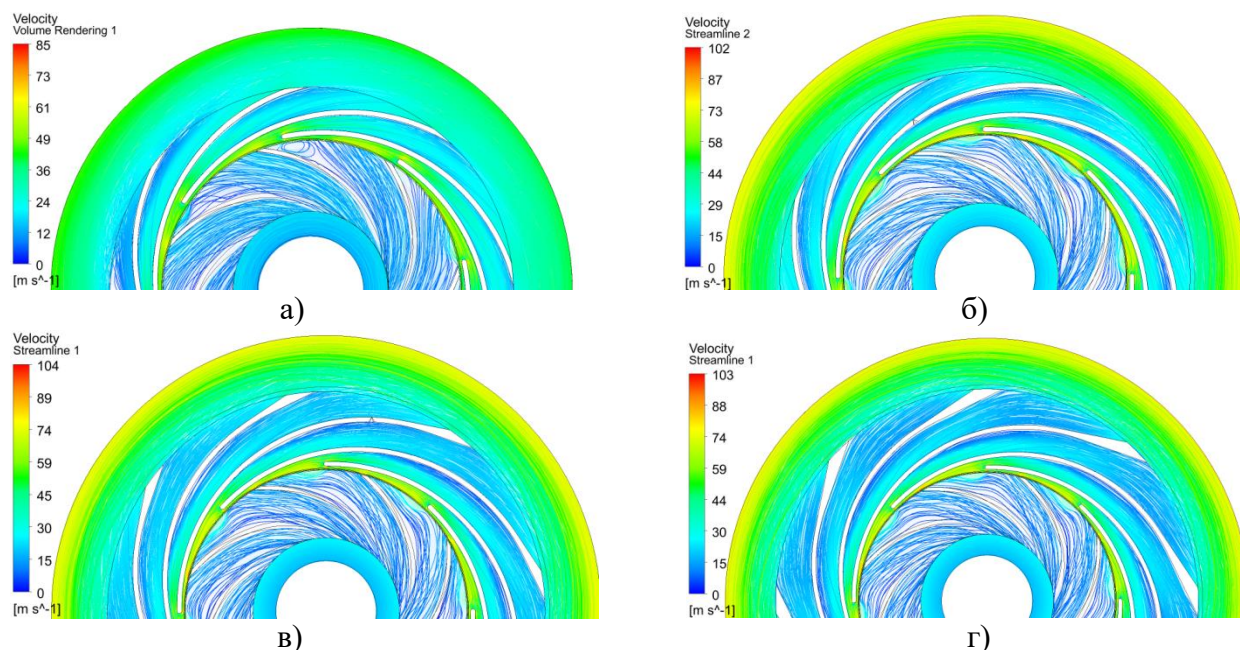


Рис. 2 – Контрроторні ступені з різним діаметром виходу:  
а) 410мм, б) 440мм, в) 470мм, г) 500мм.

Таблиця 1 – Характеристики контр роторних ступенів

| Зовнішній діаметр на виході з лопатевого лиску (D4), мм. | Напір (H), м | Потужність (N), КВт | ККД ( $\eta$ ), % | Ширина виходу b4, мм |
|----------------------------------------------------------|--------------|---------------------|-------------------|----------------------|
| 410                                                      | 417          | 269                 | 73                | 11,2                 |
| 440                                                      | 457          | 286                 | 78                | 10                   |
| 470                                                      | 516          | 322                 | 78                | 9                    |
| 500                                                      | 577          | 361                 | 78                | 7,9                  |

Виходячи з отриманих даних можна сказати, що завдяки малому міжлопатевому каналу потік рідини близький до ламінарного та без вихроутворень. Збільшення зовнішнього діаметру лопатевого лиску D4 збільшує довжину лопатей, що в свою чергу збільшує час взаємодії рідини з лопатями та впливає на кількість енергії, що отримує рідина. Недоліки збільшення D2 окрім зменшення ширини виходу b4 це також виникнення великих значень відцентрових сил, що виникають на периферії лопатевого диску. Збільшення цих сил можуть вплинути на робочий орган та зруйнувати його. Щоб цьому запобігти потрібно збільшити товщину стінок, а це призводить до збільшення масогабаритних параметрів.

#### Список посилань

1. Ржебаєва Н.К. Розрахунок та конструювання відцентрових насосів: навчальний посібник / Ржебаєва Н.К., Ржебаєв Е.Є. – Суми: Видавництво СумДУ, 2009. – 220 с.

2. Loitsianskyi L.G. Mechanics of liquid and gas [Mehanika zhidkosti i gaza]: Study guide/ L.G. Loitsianskyi. – 7th edition. – М.: Drofa, 2003. – 840 p.

3. ANSYS CFX 13.0 Solver Theory. Release 13.0, 2010. 261 p. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ansys.com>.

УДК 621.225

Аврунін Г.А., канд. техн. наук, доцент

Мороз І.І., ст. викладач

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, [griavrunin@ukr.net](mailto:griavrunin@ukr.net)

## МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ РАДІАЛЬНО-ПОРШНЕВИХ ГІДРОМОТОРІВ В ЯКОСТІ МОТОР-КОЛІС ДЛЯ ГІДРОПРИВОДІВ МОБІЛЬНИХ МАШИН

В сучасних будівельно-дорожніх, сільськогосподарських та комунальних машинах застосовують для переміщень об'ємний гідропривод (ОГП). В цих мобільних машинах при використанні бортового ОГП встановлюють мотор-колеса зі швидкісними аксіально-поршневими гідромоторами і планетарними редукторами або з високомоментними гідромоторами. Сучасні вимоги до підвищення швидкості мобільних машин вирішуються використанням машинного регулювання насосів і гідромоторів, а також за допомогою планетарних редукторів з декількома змінними ступенями [1, 2]. Як вітчизняний приклад використання бортового ОГП є гусеничний трактор ТС-10ХТЗ з бульдозерним і розпушувальним обладнанням [3]. Трактор має найсучасніші на сьогоднішній день закордонні аксіально-поршневі насоси і гідромотор-колеса з бортовими редукторами, які в поєднанні з електронною системою керування забезпечують безступеневе регулювання швидкості трактора з енергозбереженням в ОГП і ДВЗ. В той же час огляд технічних характеристик високомоментних радіально-поршневих гідромоторів показує на суттєві досягнення в підвищенні тиску і крутного моменту, частоти обертання і регулювальних можливостей, а також агрегування засобами автоматизації, надійності і безпеки експлуатації. У зв'язку з цим аналіз сучасних ОГП з гідромотор-колесами видається важливим з точки зору застосування цього досвіду в вітчизняних розробках для підвищення технічного рівня мобільних машин. Також важливим є уточнення методик статичного та динамічного розрахунку ОГП з урахуванням зовнішніх навантажень і завдань алгоритмів регулювання насосів та гідромоторів.

Метою дослідження є аналіз гідравлічних принципових схем застосування в ОГП гідромотор-колес з точки зору вирішення проблем забезпечення надійного руху, уточнення методик статичного та динамічного розрахунку ОГП, порівняння технічних характеристик гідромотор-колес на базі аксіально-поршневих гідромоторів з планетарними редукторами та високомоментних радіально-поршневих гідромоторів багатоциклової дії. Розглянуті гідравлічні принципи ОГП бортового ходу на прикладі гусеничного трактора ТС-10, ОГП чотириколісної мобільної машини з гідромотор-колесами і антибукувальним пристроєм [4].

Проведено порівняння технічних характеристик аксіально-поршневого гідромотор-редуктора A6VE160+GFT65N2 [5] та декількох типів радіально-поршневих гідромоторів багатоциклової дії: MCR, MS і MHP, CA фірм Rexroth Bosch Group, Poclain Hydraulics і Hagglunds, відповідно. Основним критерієм обрано відношення маси гідродвигуна до його крутного моменту. При цьому виявлено суттєве підвищення вихідних параметрів високомоментних радіально-поршневих гідромоторів багатоциклової дії щодо тиску, частоти обертання та відношення маси до крутного моменту. Рішення по вибору типу гідромотора або гідромотора-редуктора приймається на основі функціонально-вартісного аналізу з урахуванням вимог до довговічності, монтажу і технічного обслуговування. Запропоновано при статичних та динамічних розрахунках ОГП мобільної машини задавати

цикли навантаження на режимах зрушування, розгону транспортної швидкості і зупинки при обліку змінних параметрів подачі насоса і ККД гідромотора з використанням блоку тар пакета VisSim.

Особливо треба відмітити суттєвий прогрес досягнутий в регулюванні робочого об'єму гідромоторів. Якщо в аксіально-поршневому гідромоторі A6VE160, який входить до складу редуктора GFT65N2, відношення максимального та мінімального робочих об'ємів дорівнює 2,6 (максимального 160 см<sup>3</sup> до мінімального 61 см<sup>3</sup>), то в найсучасніших конструкціях високомоментних гідромоторів MHP27 дорівнює 4,0. До появи на ринку гідромоторів MHP27 кількість ступенів регулювання зазвичай не перевищувала двох зі співвідношенням також два. Недолік радіально-поршневих гідромоторів в тому, що характер регулювання робочого об'єму ступінчастий, але значною мірою компенсується безступеневим регулюванням робочого об'єму насоса.

На рис. 1 приведений гідророзподільник Р системи Anti-Slipping/Twin Lock Valve VDPH10 «POCLAIN HYDRAULICS», який забезпечує у ручному режимі антибуксувальні властивості ОГП мобільної машини з гідромотор-колесами [6]. Принцип дії такого гідравлічного пристрою полягає в тому, що робоча рідина від насоса подається до каналу  $p_n$  гідророзподільника Р, який формально має три робочих позиції: стартова, коли за допомогою пружини підвід  $p_n$  та канали до гідромоторів А і В не поєднуються між собою. Середня позиція, коли робоча рідина потрапляє до гідромоторів А і В через дросельні отвори. Робоча рідина (РР) потрапляє до гідромоторів від насоса без супротиву. Таким чином, оператор мобільної машини може самостійно налаштовувати режими роботи гідромотор-колес.

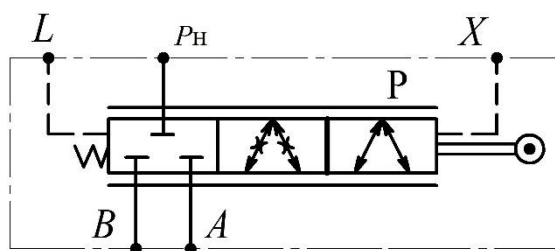


Рис. 1 – Гідророзподільник системи Anti-Slipping/Twin Lock Valve для ОГП з гідромотор-колесами

Розглянуті матеріали можуть бути корисними при проектуванні трансмісій для відчизняних будівельно-дорожніх та підйомно-транспортних машин, а також студентам механічного факультету при виконанні дипломних робіт освітнього рівня бакавра та магістра.

#### Список посилань

1. Іванов М.І. Сучасні тенденції застосування гідротрансмісій в приводах самохідних сільськогосподарських машин / М. І. Іванов Ю. О. Мороз // Збірник наукових праць Вінницького національного університету. – Серія: Технічні науки – 2011. – № 9. – С. 46-52.
2. Мітрофанов О.П. Тягово-швидкісні характеристики трансмісій ходових систем самохідних сільгоспмашин / О. П. Мітрофанов // Промислова гідравліка і пневматика. – № 3(17). – 2007. – С. 104–106.
3. Промисловий трактор-бульдозер TC-10. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://xtz.ua/ua/technical-doc.html>
4. POCLAIN HYDRAULICS. SELECTION GUIDE 2011. – 03.2011. – 45 p.
5. Hydrostatic drives HYDROTRAC GFT for mobile applications. Sise GFT 9 to GFT 450. Output torques from 9000 to 450000 Nm / RE 7710 Edition: 02/16. Replaces:10.07. – 20 p.
6. Power Transmission Valves. Technical Catalog / POCLAIN HYDRAULICS. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: – [www.poclainhydraulics.com](http://www.poclainhydraulics.com). – B33971Z. – 05/10/21 – 88 p.

УДК 621.941-229.3:531.133

Шалапай В. В., аспірант

Мачуга О. С., докт. техн. наук, професор

Національний лісотехнічний університет України, oleg\_mach@ukr.net

## ВТРАТИ ПОТУЖНОСТІ У ГІДРОЦИЛІНДРІ ВНАСЛІДОК ПРОТІКАННЯ ГІДРАВЛІЧНОЇ РІДИНИ ЧЕРЕЗ НЕЩІЛЬНІСТЬ

Знос елементів ущільнювачів в гідравлічних системах призводить до поступового потрапляння гідравлічної рідини в неробочі порожнини гідромашин. Хоча цей процес візуально не виявляється, він спричиняє непродуктивні втрати потужності гідроприводу, що, в свою чергу, призводить до надмірних витрат палива та мастила та втрат потужності на робочих органах.

Завдання дослідження: - уточнення механізмів витікання рідини через ущільнення гідроциліндрів; встановлення залежності величини "просідання" поршня та визначення залежності ККД (об'ємних втрат) від величини нещільності.

Гідроциліндр вибирають таким чином, щоб його номінальні характеристики відповідали параметрам помпи. Втрати потужності в елементах системи внаслідок стирання ущільнюючих елементів можуть призвести до неоптимальних режимів роботи гідродвигуна, що зумовлює зниження ефективності гідроприводу в цілому. В даному дослідженні розроблено математичну модель, яка дає змогу аналітично пов'язати розмір нещільності з втратою робочої рідини. Ця модель сформована із позицій ексергійного підходу [1,2].

Розглянуто механічну систему «гідравлічний циліндр – ущільнений поршень – стиснена гідравлічна рідина». На поршень з одного боку діє тиск  $p$ , а з іншого – діє зовнішня сила  $F$ , що прикладена до штоку поршня (рисунок 1). У напірний патрубок подається рідина з подачею  $Q$ , що спричиняє рух поршня вправо. Окрім того, внаслідок існування нещільності між гумовим чи полімерним ущільнювачем та корпусом гідроциліндра, рідина під дією тиску  $p$  може перетікати з робочої порожнини  $WC$  в штокову порожнину  $RC$ .

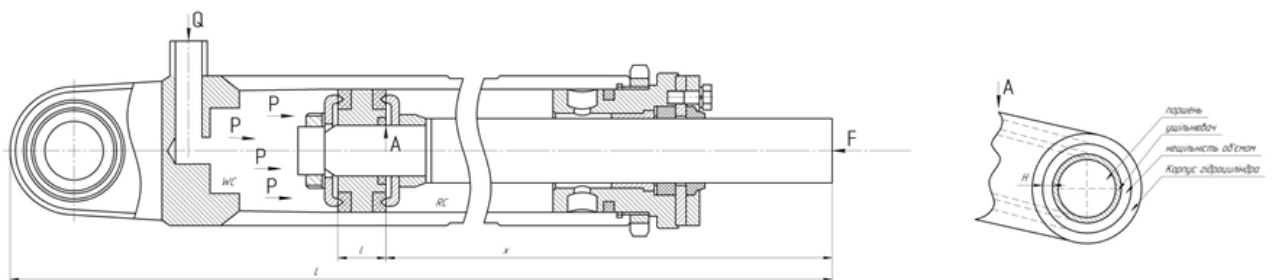


Рис. 1 – Схема навантаження гідроциліндра зовнішньою силою

Застосування ексергійного підходу уможливили оцінити величину «просідання» поршня наступним чином [3]:

$$\Delta x \geq \frac{F}{\frac{3}{4} \pi \frac{D^3}{H^3} \mu l} \Delta t \quad (1)$$

За даними [4] вибрано технічні характеристики для трьох гідравлічних олив, для яких виконано розрахунки: 1. ВМГЗ; 2. МГЕ-46В; 3. МГЕ-10А.

Із (1) отримано вираз втрат рідини в залежності від робочого тиску:

$$\Delta Q = \frac{4}{3} \frac{H^3}{D^3} \frac{p}{\pi \mu l} \quad (2)$$

Співставляючи вираз (2) із загальноприйнятою оцінкою втрат рідини [5]:

$$\Delta Q = p k_{em} \quad k_{em} = (0,5 \dots 1,5) 10^{-6} \frac{m^3}{MPa} \quad (3)$$

де  $k_{em}$  – коефіцієнт втрат, уточнюється у залежності від розміру нещільності:

$$k_{em} = \frac{4}{3} \frac{H^3}{D^3} \frac{p}{\pi \mu l} \quad (4)$$

Отриманий результат доцільно використовувати в практичних розрахунках гідроприводу. Можливе й зворотнє застосування таких результатів – за величиною просідання визначати розмір нещільності.

Припускаючи, що швидкість робочого органу 5 м/с, тоді робочі витрати:

$$\Delta Q_{роб} = v \cdot \frac{\pi D^2}{4} = 0,039 \frac{m^3}{c} \quad (5)$$

Відносно цієї величин витрат рідини, знайдено коефіцієнт корисної дії і побудовано відповідні графіки. Загальний характер залежності  $\eta = \eta(H)$  є низхідним (див. рис. 2 а).

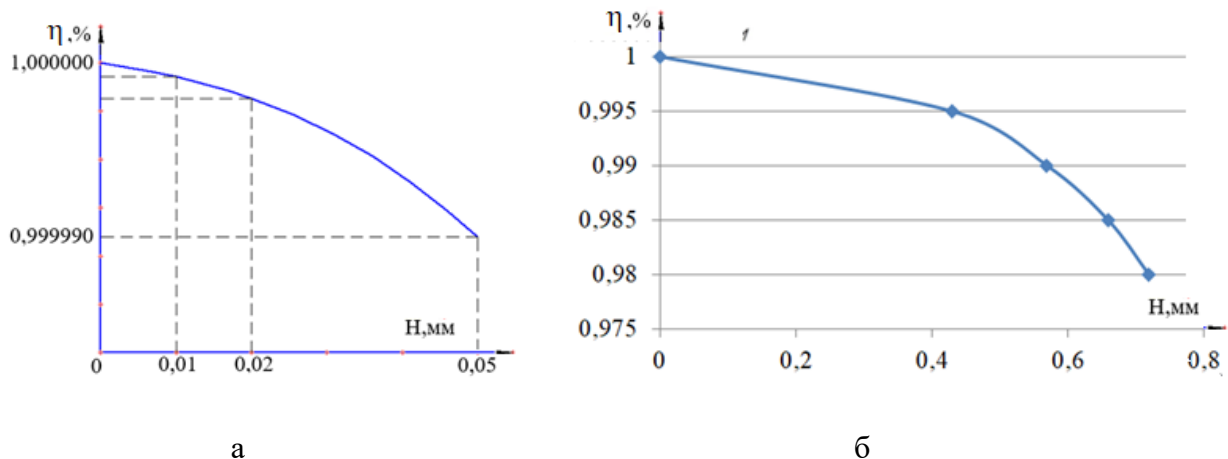


Рис. 2 – Графік залежності ККД  $\eta$  від розміру нещільності (а), та нещільності більшого розміру (б)

Із залежності  $\eta = \eta(H)$  (рисунок 2 а) констатуємо, що вказані розміри нещільності є допустимими ( $\eta \approx 1,0$ ). Важливим є оцінка величини втрат  $\Delta Q$ , яка істотно знижує ККД, зокрема – на 1%, що вважається граничним рівнем втрати потужності через протікання рідини [6].

$$\eta = 0,99\%; \quad \Delta Q = 3,749 \cdot 10^{-4} \frac{m^3}{c} \quad (6)$$

Товщина нещільності, за якої гідропривід не задовольняє експлуатаційні вимоги:  $H_{гран} = 0,57$  мм; результат доцільно використовувати для встановлення часу заміни ущільнень.

Висновки: встановлено залежність  $\eta$  від  $\Delta H$ ; визначено результати просідання поршня для оливи ВМГЗ; визначено механізм протікання рідини через ущільнення гідроциліндра.

#### Список посилань



1. Мачуга О. С. Розвиток наукових основ енергетичного підходу в лісівничій Науковий вісник НЛТУ України. том. 29, – № 10. – С. 104–108. DOI:10.36930/40291021.
2. Baer G. 1968. Енергія, ексергія, анергія./ В. М. Бродянский (Ред.). Енергія та ексергія (с. 12-27). Москва, Мир. [російською]
3. Machuga O., Shalapaj V. Hydraulic cylinder efficiency reduction depending on the seal undensity size. Kolokvium ku grantovej úlohe č. 1/0609/20: Vedecký recenzovaný zborník. Zvolen, November 2022. P. 88 – 97.
4. Гідравлічні масла [онлайн]. [цит. 2010-2019]. Електронні дані. Київ, ГО. Режим доступу: www.btr.net.ua (дата звернення 15.05.2019). Назва з екрана.
5. Стиранівський О. А. Розрахунок об'ємного гідроприводу: Навчальний посібник. – М.: Лісова промисловість, 2002. – 34 с.
6. Буренников Ю. А., Немировський І. А. & Козлов Л. Г. (2013). Гідравліка, гідравлічні та пневматичні приводи. Вінниця: ВНТУ.

УДК 621.664

**Кириченко А.М., докт. техн. наук, професор**  
**Щербина К.К., канд. техн. наук, доцент**  
**Годорожа В.А., аспірант**

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький,  
 kir2912s@ukr.net

## ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ ПОРТРЕТ ШЕСТЕРЕННОГО ГІДРАВЛІЧНОГО НАСОСУ

Для визначення оптимальних показників функціонування шестеренного гідравлічного насосу необхідно дати визначення об'єктів, що розглядаються. Саме основні показники технічної системи [1] або технологічного процесу можуть бути застосовані для встановлення регламентуючих і функціональних параметрів, в тому числі вхідні (затратні) та вихідні (ефективні).

Головною оцінкою шестеренного гідравлічного насосу є коефіцієнт корисної дії, а сам відношення ефективною  $P_e$  і затратною потужністю  $P_z$ .

$$\eta = \frac{P_e}{P_z} \quad (1)$$

Технічна система перетворює затратну потужність  $P_z$  в ефективну  $P_e$ . При цьому можуть відбуватися зміни параметрів, котрі в входять в рівняння потужності у зв'язку тим, що змінюється система при переході від затратної потужності до ефективної.

$$\eta = \frac{Q\rho}{M\omega} \quad (2)$$

Кореляційні залежності між параметрами, котрі утворюють потужність може говорити про ефективне функціонування технічної системи. В кінцевому етапі для вибору параметрів оптимізації і варіативних факторів необхідно створити функціональний портрет технічної системи [1]. На підставі побудуємо функційний портрет шестеренного гідравлічного насосу (рис.1).

Отримані на рис. 1 залежності 1,2,3 від  $P=f(Q)$ , визначені в таблиці 1, залежності 4,5,6 від  $Q=f(P)$  наведені в таблиці 2 та залежності 7,8,9 від  $P=f(P)$  в таблиці 3.

Таблиця 1 – Кореляційні залежності від  $P=f(Q)$ .

| Поз. Рис.1 | n, с <sup>-1</sup> | Q, дм <sup>3</sup> /хв | P, МПа |
|------------|--------------------|------------------------|--------|
| 1          | 8.5                | 7...3                  | 10,0   |
| 2          | 40                 | 40...20                | 17,0   |
| 3          | 60                 | 50...35                | 20,0   |

Таблиця 2 – Нормативні функціональні залежності  $Q=f(P)$ .

| Поз. Рис.1. | $n, c^{-1}$ | $P, MPa$ |
|-------------|-------------|----------|
| 4           | 60          | 0...20   |
| 5           | 40          | 0...17   |
| 6           | 8,5         | 0...10   |

Таблиця 3 – нормативні функціональні залежності  $P=f(P)$ .

| Поз. Рис.1 | $n, c^{-1}$ | $P, MPa$ | $P, KBT$ |
|------------|-------------|----------|----------|
| 7          | 8,5         | 0...10   | 0...3,0  |
| 8          | 40          | 0...17   | 0...12,5 |
| 9          | 60          | 0...20   | 0...20,0 |

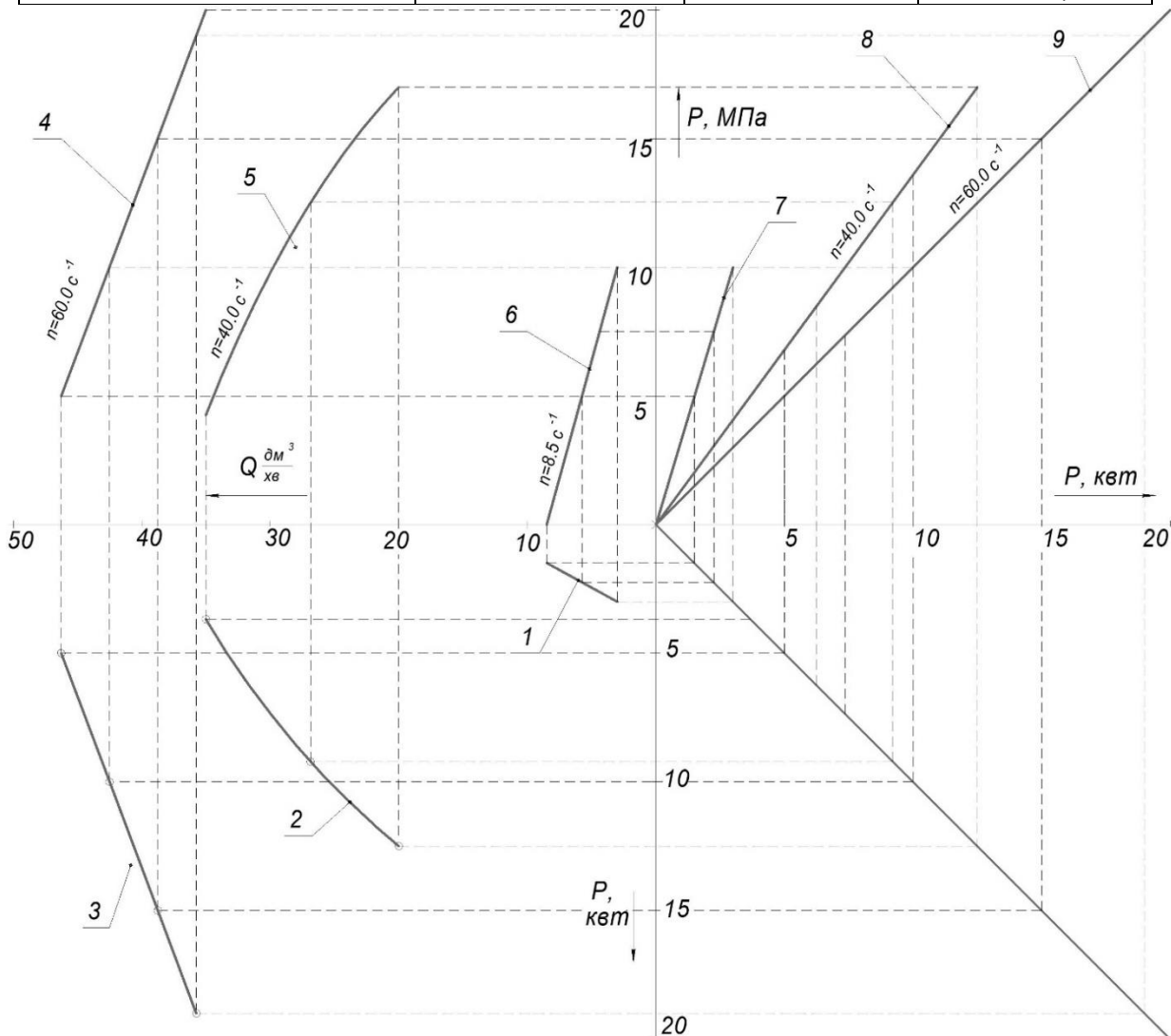


Рис. 1 – Функціональний портрет шестеренного гідралічного насосу (об'єм камери  $q=16.0 \text{ cm}^3$ )

На підставі отриманого функціонального портрету можливо припустити, що вірогідною причиною відмовлення шестеренного насосу при проведенні приймально-здавальних випробувань, може бути недостатнє дослідження їх функціональних кореляцій на стадії розробки конструкторської документації.

#### Список посилань

1. Кузнецов Ю. М. Теорія технічних систем: підручник / Ю. М. Кузнецов, Ю. К. Новосьолов, І. В. Луців. – Севастополь : СевНТУ, 2011. – 246 с

УДК 629.021

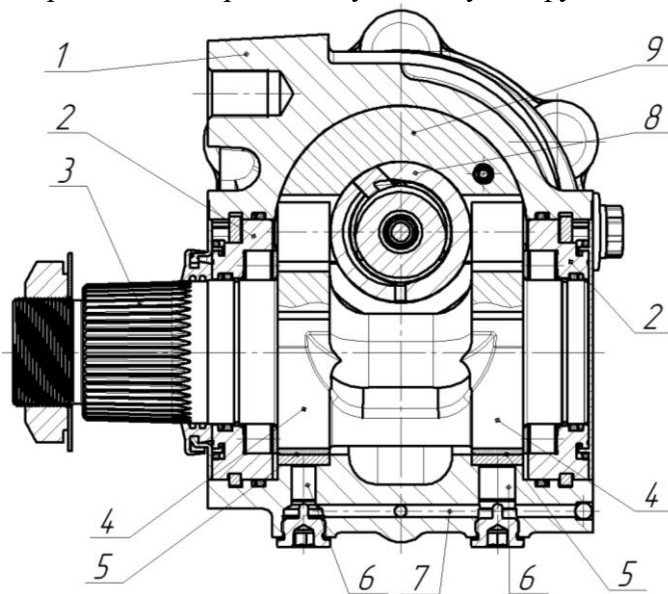
Апаракін А.Р., канд. техн. наук, ст. викладач

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький,  
anton.aparakin@gmail.com**РЕАЛІЗАЦІЯ ГІДРОСТАТИЧНИХ ПІДШИПНИКОВИХ ОПОР ЦАПФ ВАЛА-СЕКТОРА КУЛЬКО-ГВИНТОВОГО ГІДРОПІДСИЛЮВАЧА РУЛЯ**

Найбільш навантаженими елементами відомої конструкції кулько-гвинтових гідропідсилювачів (КГГП) являються опори кочення вала-сектора, котрі несуть основне навантаження від сил в рейковому зачепленні. В свою чергу, ці опори укомплектовані елементами ущільнення для забезпечення герметичності агрегату, тому їх пружна деформація при експлуатації може сприяти розгерметизації спряження.

Конструкція гідростатичних підшипникових опор цапф вала-сектора КГГП розроблена з метою підвищення несучої спроможності та забезпечення герметичності шляхом утворення активного розвантаження опор кочення вал-сектора. Поставлена мета досягається виконанням вала-сектора з додатковими цапфами, які розміщені протилежно зубцям рейкової передачі, та які взаємодіють обумовленими цапфами з активними гідростатичними опорами, що розміщені в опорній для вала-сектора частині картера.

При цьому активні гідростатичні опори виконані у вигляді двох циліндричних плунжерів (поз. 6, рис. 1), з'єднаних каналами між собою і напірною лінією гідророзподільника та які взаємодіють одним із своїх торців із обумовленими каналами, а іншим – з додатковими цапфами вала-сектора. Поміж додатковими цапфами вал-сектора та протилежними торцями опорних плунжерів розташовані опори з антифрикційного матеріалу, які охоплюють своєю циліндричною поверхнею обумовлену цапфу.



- 1 – картер; 2 – опори кочення; 3 – вал-сектор; 4 – додаткові цапфи вала-сектора;  
5 – додаткові опори; 6 – плунжери; 7 – канал живлення активних гідростатичних опор;  
8 – кулько-гвинтова передача з елементами гідророзподільника; 9 – рейка-поршень

Рис. 1 – поперечний переріз КГГП по вал-сектору.

**Список посилань**

1. Гинцбург, Л.Л. Гидравлические усилители рулевого управления автомобилей [Текст] / Л. Л. Гинцбург – М.: Машиностроение, 1972. – 121 с.
2. Чайковский, И.П. Рулевые управления автомобилей [Текст] / И. П. Чайковский, П. А. Саломатин – М.: Машиностроение, 1987. – 176с.

УДК 621.941-229.3:531.133

Сіра Н.М., канд. техн. наук  
Кологойда А.В., канд. техн. наук  
Кужельний Я.В., канд. техн. наук

Національний університет «Чернігівська політехніка», [nnseraya@gmail.com](mailto:nnseraya@gmail.com)

## РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ РУХУ ВИХІДНОЇ ЛАНКИ ГІДРОПРИВОДУ

Гідропривод широко застосовується для автоматизації технологічних процесів в різних галузях промисловості [1], зокрема машинобудуванні. Так, з метою регулювання швидкості руху робочого органу під час виконання циклу: «швидке підведення-робоча подача-швидке відведення» у гідроприводах використовуються дроселі та регулятори витрат.

Проведені експериментальні дослідження гідроприводу із дросельним регулюванням швидкості руху робочого органу (дросель Г77-1) та із регулюванням за допомогою регулятора витрат (МПГ55-22).



Рис. 1 – Експериментальний стенд

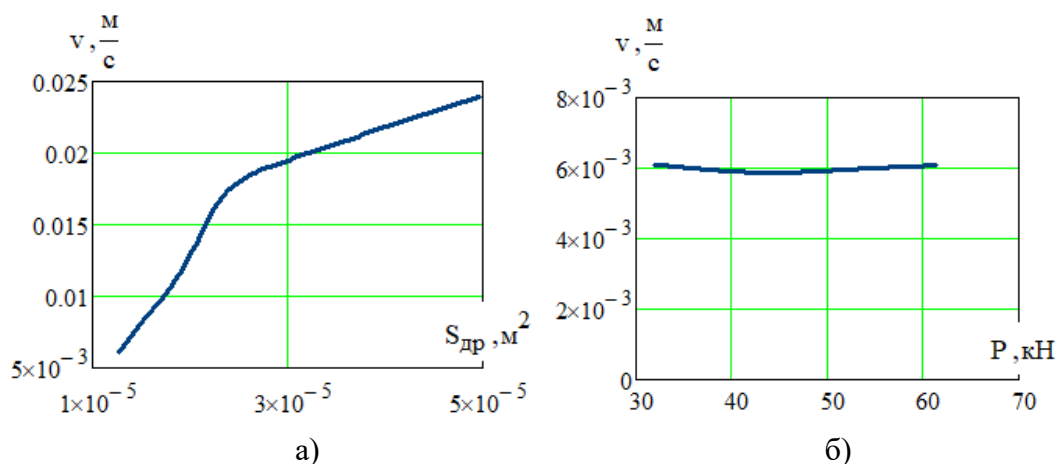


Рис. 2 – Регульовальна (а) та механічна (б) характеристики гідроприводу

Визначені залежності швидкості руху вихідного органу гідроприводу при різних значеннях площі поперечного перерізу дроселя та навантаженнях.

### Список посилань

1. Turdiyev Sardorjon Abdumuminovich, & Akhmedov Sahib Tojiboyevich. (2023). ANALYSIS OF EFFICIENCY OF CONTROL METHODS OF HYDRAULIC DRIVE MOTORS. RESEARCH AND EDUCATION, 2(2), 109–115.
2. Nicolin, Bogdan Adrian, Nicolin, Ilie. Experimental Research of Hydraulic Cylinder with the Built-in Throttle for Steering the front Landing Gear Wheel. INCAS Bulletin; Bucharest Vol. 14, Iss. 4, (2022): 225-230.

3. Prodan Dan, Bucuresteanu Anca, Balan Emilia. HYDRAULIC INSTALLATIONS FOR HEAVY MACHINE-TOOLS. Journal of Engineering Studies and Research – Volume 18 (2012) No. 2.

УДК 543.8 + 541.13

Кривошеєв В.Є., аспірант

Ночніченко І.В., канд. техн. наук, доцент

Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», igornoch@gmail.com

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ГІДРОДИНАМІЧНУ КАВІТАЦІЮ З ЕФЕКТОМ ЛЮМІНЕСЦЕНЦІЇ

Внаслідок проведених експериментальних досліджень гідродинамічної кавітації, що супроводжується явищем люмінесценції, вдалося зробити припущення, що феномен гідролюмінесценції має електричний характер при певних умовах [1].

Для того щоб дослідити фізичні процеси, які відбуваються всередині кавітатора було вирішено модернізувати існуючий насадок шляхом доукомплектування неодимовим магнітом та мідним лудженим дротом до якого можливо під'єднати осцилограф та цифровий мультиметр рис. 1. Існуючий стенд та обладнання було заземлено з метою уникнення шумів. Дріт був «зачищений» біля гвинта в зоні виникнення явища гідродинамічної люмінесценції.

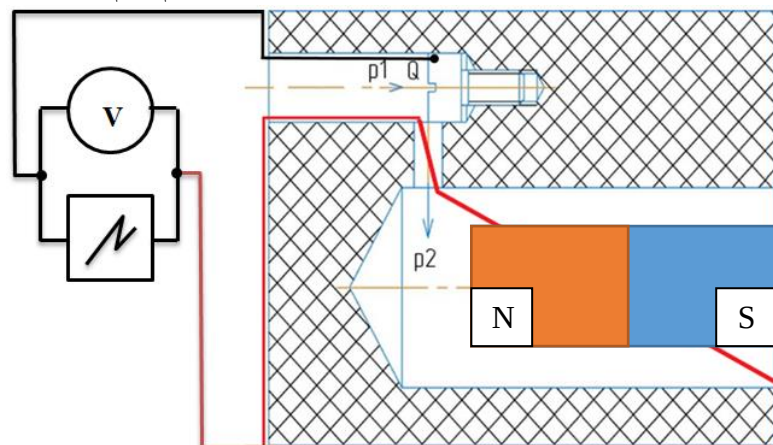


Рис. 1. – Досліджуваний насадок гідродинамічного кавітатора

Експеримент проводився при перепаді тиску до 5 МПа і витраті до  $10^{-5}$  м<sup>3</sup>/с. Додаткові вхідні параметри наведено у таблиці 1

Таблиця 1 - Початкові параметри проведення експерименту

| Параметри                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\Delta p = 5$ МПа, $t_m = 33^\circ\text{C}$ , $Q = 0.0000004$ м <sup>3</sup> /с, $v = 100$ м/с |

1. При пропущенні через кавітатор потоку масла під тиском до 1 МПа ніяких видимих змін не відбувається і рідина залишається прозорою.

2. При підвищенні тиску перед кавітатором до 1,5 МПа безпосередньо біля входу в прохідний отвір утворюється досить тонкий шар мікробульбашок, локалізованих на внутрішній поверхні прохідного перетину (приєднана кавітація).

3. При підвищенні тиску перед кавітатором до 2 МПа безпосередньо біля входу всередині прохідного отвору відзначені короткочасні (тривалістю 1–2 с) спалахи синьо-фіолетового світіння гідролюмінесценції. На виході з отвору розвивається факел кавітаційних бульбашок, поступово заповнюючий всю вихідну камеру, але ця частина кавітаційних бульбашок ніколи не ініціювала гідролюмінесценцію. Було помічено початок відхилень

кривої на осцилограмі рис 2. Показники цифрового мультиметра залишаються на позначці 0В.

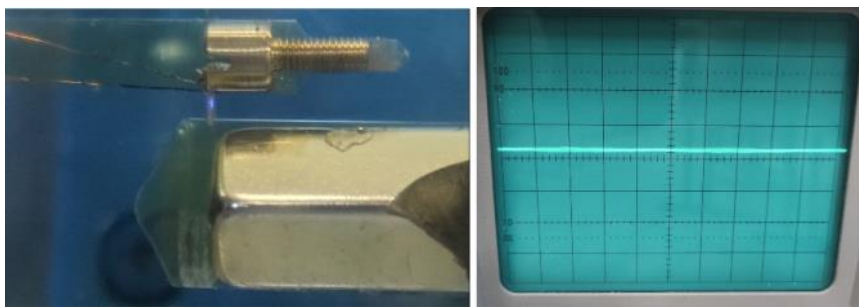


Рис. 2. – Осцилограма початкової кавітації з короткочасними спалахами гідролюмінісценції

4. Після досягнення тиску 3 МПа спостерігається поступове зближення приєднаної кавітації (в звуженні) з факелом кавітаційних бульбашок у вихідній частині кавітатора (розвиток суперкавітації), причому приєднана кавітація і факел бульбашок просторово розділені. При встановленні режиму суперкавітації, коли факел кавітаційних бульбашок заповнює всю випускную область дроселюючого пристрою і зникається з областю приєднаної кавітації, було помічено аномальні «шуми» на осцилограмі та зафіксовано показники мультиметра в 2.767В (рис. 3).

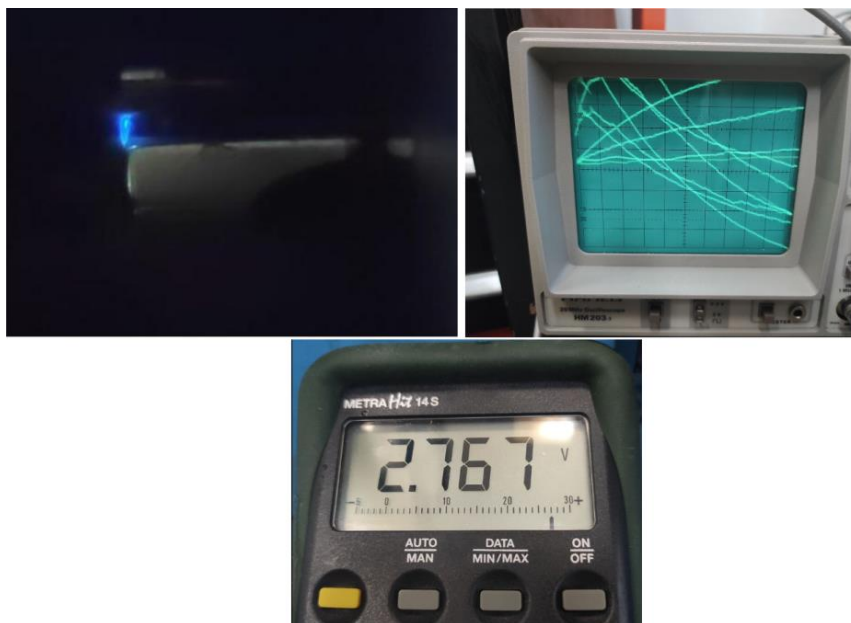


Рис. 3. – Осцилограма розвиненої кавітації зі стабільним світінням гідролюмінісценції

Отримані експериментальні дані були апроксимовані на можливість використання математичної моделі гідродинамічного кавітаційного генератора і дозволили врахувати властивості робочого тіла.

На підставі виконаної роботи можна зробити висновок про те, що причиною виникнення гідродинамічної люмінесценції є тертя рідини об стінки каналу і світловипромінювання подвійних електричних шарів. Отже, причиною виникнення гідродинамічної люмінесценції є локальне підвищення напруженості електричного поля, що виникає при порушенні електронейтральності всередині каверни.

#### Список посилань

1. Nochnichenko I., Kryvosheiev V. Study of hydrodynamic cavitation accompanied by luminescence. Science and society: trends of interaction. 2023. URL: <https://doi.org/10.51587/9798-9866-95945-2023-012-188-204> (date of access: 22.05.2023).



УДК 62-762.6

Начовний І.І., канд. техн. наук, доцент,  
ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет, [dekan.udhtu@gmail.com](mailto:dekan.udhtu@gmail.com)

Павленко А.А., асистент  
Дніпровський державний аграрно-економічний університет, [aavsa@ukr.net](mailto:aavsa@ukr.net)

Осташко І.О., канд. техн. наук, доцент,  
ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет, [ostigoralex@gmail.com](mailto:ostigoralex@gmail.com)

## ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ДРОСЕЛЬНОЇ ВТУЛКИ ЩІЛИННОГО УЩІЛЬНЕННЯ ПОРШНЕВИХ ТА ПЛУНЖЕРНИХ НАСОСІВ ВИСОКОГО ТИСКУ

У різних галузях промисловості (хімічній, нафтодобувній, гірничій тощо) та сільському господарстві знаходять застосування поршневі і плунжерні насоси високого тиску. Одним з вузлів, який визначає надійність роботи цих насосів є контактні ущільнення плунжерів або штоків. Проблема підвищення надійності контактних ущільнень насосів, які стискають будь-які рідини (забруднені та в'язкі) до високих тисків завжди була та є актуальною [1]. У більшості вона зводиться до вибору матеріалів ущільнень з високою зносостійкістю та стійкістю до агресивних рідин.

Одним з ефективних методів підвищення надійності контактних ущільнень штоків (плунжерів) поршневих насосів є установа дросельної втулки перед ущільненням. Дросельна втулка внаслідок малого проміжку між її внутрішнім діаметром і штоком (плунжером) забезпечує зниження тиску робочої рідини перед контактним ущільненням у декілька разів. Величина зниження залежить від кількості рідини, яка відбирається після втулки і подається знову в насос, і розмірів проміжку, який регулюється шляхом подачі рідини на зовнішню поверхню з точки відбору по довжині втулки. При цьому дросельна втулка піддається певній деформації. З метою визначення характеру деформації і напруженого стану дросельної втулки проведені теоретичні дослідження з використанням програми SolidWorks. На рисунку 1 наведено приклад епюр напружень та переміщень для втулки з бронзи.

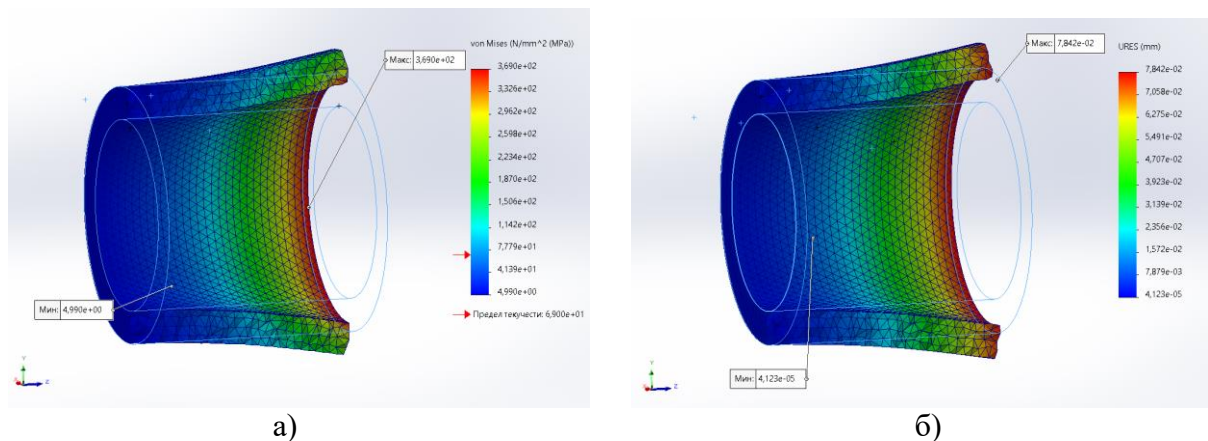


Рис. 1 – Епюри напружень а) та переміщень б)

Отримані результати надають кількісне уявлення відносно характеру деформації та напруженого стану втулки. При цьому розглянуті варіанти виконання втулок з полімерів і бронзи.

### Список посилань

1. Парайко, Ю.І. Шляхи підвищення довговічності швидкозношуваних ущільнюючих пристроїв поршневих та плунжерних насосів, що працюють при зворотно-поступальному русі / Ю.І. Парайко, С.І. Гладкий, Н.П. Михайлів // Problems of friction and wear – 2014, № 1 (62). – С. 95-99.

## СЕКЦІЯ 4. ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ТА СИСТЕМИ ХІМІЧНОЇ, ЛЕГКОЇ, ПЕРЕРОБНОЇ ТА ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 678.054

Орловський Б.В., докт. техн. наук, професор

Київський національний університет технологій та дизайну, [mlp-knutd@ukr.net](mailto:mlp-knutd@ukr.net)

### ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ПРЕСУ ВОЛОГО-ТЕПЛОВОЇ ОБРОБКИ ВИРОБІВ З ТЕКСТИЛЮ ЗА УЗАГАЛЬНЕНИМ ПОКАЗНИКОМ ЯКОСТІ

В основу дослідження механізму робочого процесу на пресах волого-теплової обробки (ВТО) [1] трьома робочими середовищами покладені термомеханічні властивості текстильних матеріалів, які змінюються на трьох стадіях запрограмованого циклу процесу ВТО. На кожній стадії циклу ВТО послідовно діють робочі середовища з різної температурою і вологістю.

На першій стадії циклу ВТО робоче середовище - суха насичена пара пластифікує аморфний полімер текстильного матеріалу. На другій стадії циклу робоче середовище - перегріта пара виводить введену на першій стадії вологу при закритих і стиснутих подушках преса. Досягнуте упресовування матеріалу на першій і другій стадіях циклу закріплюється на третій стадії при автоматичному включенні вакуум турбіні і охолодження матеріалу при розімкненому положенні подушок преса (рис.1).



Рис. 1 – Схема стадійності процесу волого-теплової обробки трьома робочими середовищами:  $T_1, T_2, T_3$  – значення температури робочих середовищ на I, II і III стадіях циклу;  $w_1, w_2$  – вологовміст пластифікуючого та для сушіння робочих середовищ;  $w_0, T_0$  – вологовміст і температура матеріалу після ВТО;  $G$  – величина механічного зусилля пресування

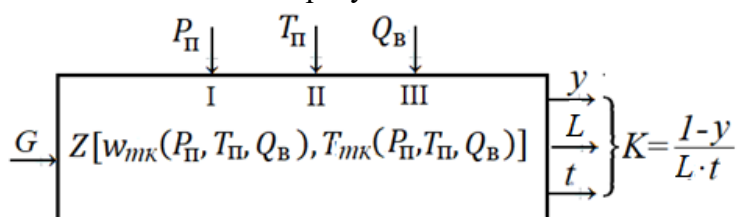


Рис. 2 – Фізична модель 3х-стадійної ВТО виробів з текстилю на пресі з паровим обігрівом

Для фізичної моделі на рис.2 прийнято наступні умовні позначення:

$G$  – сила пресування (вхідний параметр);

$P_{\text{п}}, T_{\text{п}}, Q_{\text{в}}$  – аргументи функцій  $w_{\text{тк}}(P_{\text{п}}, T_{\text{п}}, Q_{\text{в}})$  і  $T_{\text{тк}}(P_{\text{п}}, T_{\text{п}}, Q_{\text{в}})$ ;

$P_{\text{п}}, T_{\text{п}}$  – тиск і температура перегріву технологічного пару для пропарювання виробу з текстилю;

$Q_{\text{в}}$  – продуктивність вакуум-турбіни для охолодження виробу на заключної III стадії ВТО;

$w_{\text{тк}}$  і  $T_{\text{тк}}$  – вологість тканини і температура тканини;

$y = \left(\frac{h_0}{h} - 1\right) \cdot 100$  – відносна товщина пакету тканини;

$L = \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1\right) \cdot 100$  – ступінь ласоутворення, тут  $\rho_0$  і  $\rho$  – коефіцієнт відбиття поверхні

тканин до і після ВТО;

$t$  – час циклу ВТО;

$K$  – узагальнений показник якості процесу ВТО);

I, II, III – стадії циклу ВТО;

$Z[w_{\text{тк}}(P_{\text{п}}, T_{\text{п}}, Q_{\text{в}}), T_{\text{тк}}(P_{\text{п}}, T_{\text{п}}, Q_{\text{в}})]$  – математичний оператор циклу ВТО.

З урахуванням прийнятих умовних позначень у фізичній моделі оброблюваний пакет тканини швейного виробу розглядається, як об'єкт управління з вихідними параметрами  $y$ ,  $l$ ,  $t$ , які залежать від значення вхідного параметра  $G$  і режимних параметрів  $P_{\text{п}}$ ,  $T_{\text{п}}$ ,  $Q_{\text{в}}$ , що змінюють вологість тканини  $w_{\text{тк}}$  і температуру  $T_{\text{тк}}$  тканини на різних стадіях циклу ВТО.

Для експериментів була обрана типова напіввовняна тканина артикулу 46138 темно-зеленого кольору, що містить 40% мідно-аміачних і 10% капронових волокон. Випробування проводилися на експериментальній установці з 3-шаровими пакетами текстилю, які імітують край борту виробу з суцільно кроєними підботами: 2 шари верху і бортова прокладка як третій шар. Перед експериментом зразки витримувалися в ексікаторі протягом 24-х годин при температурі 20 С і відносній вологості 65%.

Відносна товщина  $y$  пакету тканини, ступінь ласоутворення  $l$  і час  $t$  циклу ВТО вимірювалися відповідно за допомогою текстильного товщино вимірювача, ласо вимірювача та електро секундоміра.

За результатами центрального рототабельного плану експерименту (ЦРКПЕ-2) для прийнятого узагальненого показника якості  $K = \frac{1-y}{l \cdot t}$  у відповідності до розробленої фізичної моделі (див. рис. 2) отримані наступні адекватні робочому процесу ВТО експериментально-статистичні моделі у кодованих та в пойменованих величинах регульованих параметрів робочого процесу:

$$K = 0.045 + 0.008x_3 + 0.003x_1^2 - 0.004x_2^2 - 0.004x_3^2 - 0.006x_1x_2 + 0.0062x_2x_3 \quad (1)$$

$$K = -0.023 - 0.014P_{\text{п}} + 0.001T_{\text{п}} + 0.008Q_{\text{в}} + 0.003P_{\text{п}}^2 - 0.4 \cdot 10^{-5}T_{\text{п}}^2 - \\ - 0.25 \cdot 10^{-3}Q_{\text{в}}^2 - 0.2 \cdot 10^{-3}P_{\text{п}}T_{\text{п}} + 0.17 \cdot 10^{-4}T_{\text{п}}Q_{\text{в}} \quad (2)$$

Методом невизначених множників Лагранжа для отриманої нелінійної функції (2) визначені оптимальні значення параметра робочого процесу  $P_{\text{п}} = 4.4$  бар,  $T_{\text{п}} = 50^{\circ}\text{C}$ ,  $Q_{\text{в}} = 18 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$  для  $K=0.054$  при  $y = 0.81$ ,  $L = 0.25$  і  $t = 14$  с.

#### Список посилань

1. Орловський Б. В. Технологічне обладнання галузі: навчальний посібник / Б. В. Орловський, Н. С. Абрінова. – К.: КНУТД, 2013. – 285 с.

УДК 67/68.05:621.865.8]:004.9 (075.8)

**Орловський Б. В., докт. техн. наук, професор**

**Місяць М.В. аспірант**

Київський національний університет технологій та дизайну, [mlp-knutd@ukr.net](mailto:mlp-knutd@ukr.net)

#### **АЕРОДИНАМІЧНИЙ ЗАХВАТ МАНІПУЛЯТОРА ДЕТАЛЕЙ КРОЮ З ТЕКСТИЛЮ**

Технічна проблема автоматизованого завантаження швейних машин деталями крою з текстилю залишається невирішеною до теперішнього часу. Пояснюється це специфічними фізико-механічними властивостями текстилю та особливостями структури текстильних матеріалів, які суттєво відрізняються від аналогічних характеристик матеріалів для машинобудування. Геометрія повітря проникливої ворсисті поверхні тканин формується

нитками основи і нитками утка, які виробляються з текстильних волокон натурального або штучного походження. Для поштучного відокремлення деталей крою з текстилю зі стосу пропонується для аеродинамічного безконтактного захвату маніпулятора використання додаткових засобів зменшення зусилля зчеплення деталей у стосі [1].

Введення засобів зменшення зусилля зчеплення деталей крою з текстилю в стосі та засобів керування забезпечує підвищення надійності поштучного відокремлення деталей крою з текстилю у стосі шляхом зменшення сили зчеплення деталей крою з текстилю у стосі між собою у час їх поштучного відокремлення та підвищення якості роботи маніпулятора при автоматизованому завантаженні швейних машин.

На рис.1 наведена комбінована схема загального виду захвату маніпулятора деталей крою з текстилю, вигляд знизу аеродинамічної пластини з колектором та соплами, з пневмоциліндром двосторонньої дії та безконтактним засобом зменшення зусилля зчеплення деталей крою в стосі у вигляді низькочастотного генератора акустичних хвиль.

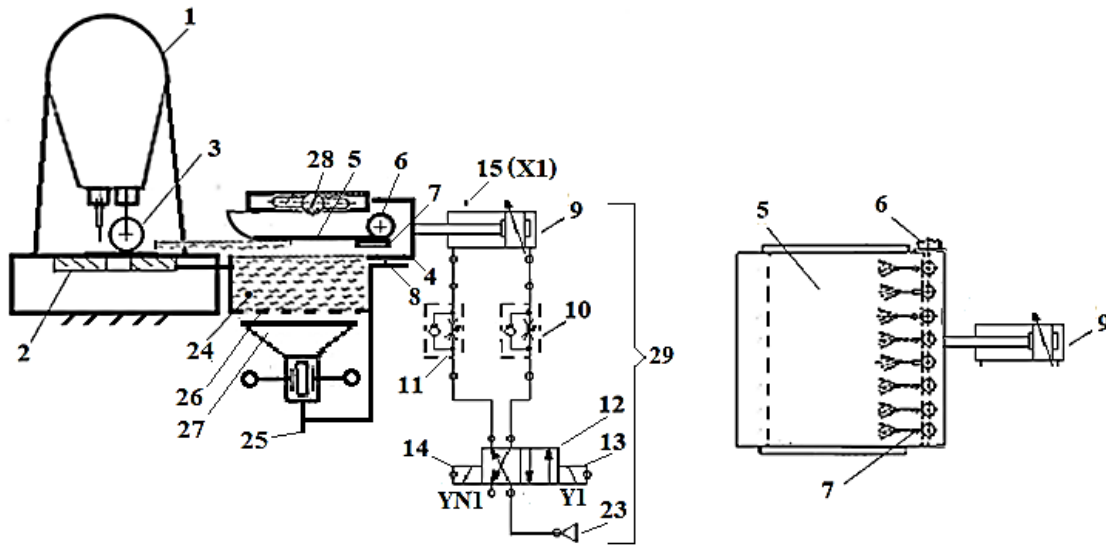


Рис. 1 – Комбінована схема поштучного відокремлення деталей крою з текстилю зі стосу аеродинамічним захватом маніпулятора

На рис.2 наведена електрична і пневматична схема засобів керування при увімкненому компресорі до моменту натискання кнопки “Пуск” для початку циклу відокремлення деталі зі стосу та переміщення аеродинамічної пластини.

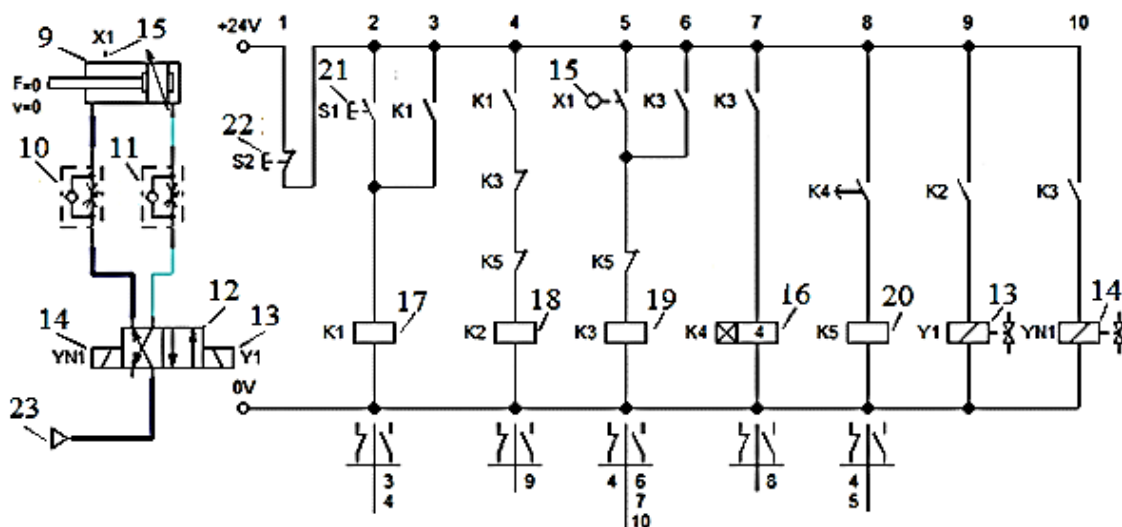


Рис. 2 – Комбінована схема керування циклом

Захват маніпулятора деталей крою швейних виробів містить корпус 1 головки швейної машини, голкову пластину 2, притискної елемент 3, закріплені у корпусі 1, засіб 4 для відокремлення, який містить захватну аеродинамічну пластину 5 з колектором 6 та соплами 7, які з'єднані з компресором 23, стос 24 деталей крою з текстилю. Засоби 25 зменшення зусилля зчеплення деталей крою з текстилю в стосі 24 містять засоби зменшення зусилля зчеплення деталей крою з текстилю в стосі, які містять динамік 27 низькочастотних акустичних хвиль, повітропроникну поверхню 26, з одного боку з'єднану з голковою пластиною 2, а з другого боку утворює зворотно-поступову кінематичну пару 8 із захватною аеродинамічною пластиною 5 з колектором 6 та соплами 7, яка розташована паралельно голкової пластині 2 над стосом 24 деталей крою з текстилю із зазором і містить регулювальний гвинт 28 та має площу, що перекриває площу деталей крою з текстилю, динамік 27 низькочастотних акустичних хвиль закріплений знизу на повітропроникній поверхні 26, стос 24 деталей крою з текстилю розташований зверху повітропроникній поверхні 26.

Аеродинамічна пластина 5 з колектором 6 та соплами 7 містить засоби керування 29, які містять пневмоциліндр 9 двосторонній дії, кінематичне з'єднаний із захватною аеродинамічною пластиною 5 з колектором 6 та соплами 7, два дроселя 10 та 11, пневморозподільник 12, які з'єднані з компресором 23, джерело живлення постійним струмом 24V, кнопку «Пуск» 21, кнопку «Стоп» 22, кінцевий вимикач 15(X1), два дроселя 10 та 11, два електромагнітних соленоїда 13(Y1) та 14(YN1) пневморозподільника 12, реле часу 16(K4) та чотири електромагнітних реле 17(K1), 18(K2), 19(K3), 20(K5), які електрично з'єднані між собою.

Захват маніпулятора деталей крою швейних виробів працює наступним чином. Стос 24 деталей крою з текстилю встановлюється на повітропроникну поверхню 26, на відстані верхньої деталі крою в стосі, яка співпадає з голковою пластиною 2 у корпусі 1 швейної машини. Притискної елемент 3 знаходиться в нижньому положення. Регулювальним гвинтом 28 встановлюється положення засобу 4 для відокремлення відносно стосу 24 деталей крою з текстилю. Вмикаються в роботу засоби 25 зменшення зусилля зчеплення деталей крою з текстилю в стосі і динамік 27 створює низькочастотні коливання повітря частотою від 40 Гц до 500 Гц під стосом через повітропроникною поверхнею 26. Відбувається періодичний тиск цих акустичних коливань на стос знизу і всі деталі з текстилю в стосі також отримують коливний рух по вертикалі з частотою низькочастотних коливань повітря від динаміку. Тому відбувається механічне розрихлене та послаблення зв'язку та контакту між прошарками деталей в стосі і створення умов для наступного покращення поштучного відокремлення верхньої деталі від стосу за допомогою захватної аеродинамічної пластини 5 з колектором 6 та соплами 7, які з'єднані з компресором 23.

Вмикається в роботу компресор 23. Струменя повітря виходять з сопел 7 і створюють на прямолінійних ділянках під захватною аеродинамічної пластиною 5 в зазорі розряджене повітря по всій площі над верхній деталлю в стосі 24. На криволінійній ділянці захватної аеродинамічної пластиною 5 створюються завихрення повітря над краєм верхньої деталі. В результаті спочатку край верхньої деталі втрачає контакт з нижче розташованою деталлю в стосі, а потім вся верхня деталь спливає та спливає і прилипає до захватної аеродинамічної пластини 5.

#### Список посилань

1. Патент України на винахід № 126711 (UA) Швейна машина із захватом маніпулятора деталей крою швейних виробів / Б.В. Орловський, М.В. Місяць. – Номер заявки: а 2020 07683. – Опубліковано 11.01.2023, Бюлетень № 2.

УДК 677.017

Березненко С.М., докт. техн. наук, професор

Жданова О.А, канд. техн. наук, доцент

Білоцька Л.Б., канд. техн. наук, доцент

Київський національний університет технологій та дизайну, bersenik@ukr.net

## СПЕЦИФІКА ФОРМОУТВОРЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ШВЕЙНИХ ВИРОБІВ

Основною задачею легкої промисловості є задоволення попиту населення промисловими товарами високої якості. В структурі легкої промисловості України на швейне виробництво припадає вагома частка від загального обсягу продукції, що випускається, а одним із основних і найбільш складних напрямків є виготовлення чоловічого костюму. Асортимент класичних чоловічих костюмів відрізняється достатньою стабільністю, пов'язаною з низькою варіабельністю їх зовнішньої форми та запитом споживача на забезпечення професійної та ділової ідентичності. Тим не менш, необхідність задоволення попиту на одяг, який враховує різну типологію фігур, вікову та географічну диференцію споживачів вимагає від вітчизняних виробників пошуку нових конструктивних та технологічних рішень швейних виробів, які відрізняються підвищеною комфортністю, функціональністю, оригінальністю та індивідуальністю. Користувачі бажають, щоб одяг не тільки відповідав модним тенденціям, а був і практичним, простим у догляді. В цьому плані вибір тканин залишається значимим фактором процесу проектування, виготовлення та реалізації чоловічих костюмів. Крім того на етапі конструкторської підготовки виробництва необхідно уважно аналізувати властивості тканин для точного визначення конструкторських припусків та режимів обробки матеріалів [1, 2].

При виробництві чоловічих костюмів все більше застосовуються текстильні матеріали, які не характерні для даного асортименту виробів (фліс, поларфліс, таслан, полартек, флок та ін.), що вимагає враховувати їх особливості при розробці нових конструкцій та технології обробки. Ці тканини, з одного боку, підходять для реалізації нових дизайнерських ідей, з іншого – добре зберігають тепло, захищають від води та бруду, мають високі показники міцності. Але по причині нестабільної поведінки еластичних тканин в процесі розкрою, пошиву та волого-теплової обробки відбувається викривлення конфігурації деталей крою, порушується сполученість їх зрізів при сточуванні, розміри готових виробів не відповідають заданим параметрам еталонного зразка, що ускладнює процес проектування та виготовлення чоловічих костюмів з цієї групи матеріалів [3].

Тому виникає необхідність дослідити здатність тканин до формоутворення враховуючи механічні характеристики тканин. Світова практика і результати досліджень свідчать, що вирішення проблеми забезпечення формостійкості лежить у різних площинах: створення необхідного конструктивного устрою деталей одягу, використання на етапі формоутворення новітніх технологій з застосуванням нетрадиційних джерел енергії (електромагнітне, вібраційне, відцентроване формування) та широке застосування прокладкових клейових матеріалів, (тканини, нетканих трикотажних). Для операцій формування та формозакріплення деталей одягу, які реалізуються за рахунок використання процесів волого-теплової обробки та дублювання клейовими прокладковими матеріалами, найважливішими є показники жорсткості, зминальності, стійкості до розтягнення та усадки, міцності на розшарування клейового з'єднання [4, 5].

Дослідження текстильних матеріалів, які використовуються при виготовленні чоловічих костюмів в умовах швейної фабрики ПАТ «Володарка» дали можливість визначити показники жорсткості та динамічного модуля пружності. Результати показників жорсткості вихідного матеріалу арт. 0042 представлено в таблиці 1. Вони свідчать про відмінність цього показника формування в залежності від напряму розташування зразка: по основі, по утку, під кутом  $45^0$ .



Таблиця 1 – Результати показників жорсткості костюмної тканини арт. 0042

| Напрямок проби | Товщина проби | Вага одиниці проби, г | Жорсткість щодо згину EI, мкН·см <sup>2</sup> |
|----------------|---------------|-----------------------|-----------------------------------------------|
| кут 0°         | 0,3           | 0,8                   | 2411,28                                       |
| кут 90°        |               | 0,79                  | 1617,47                                       |
| кут 45°        |               | 0,81                  | 1658,63                                       |

Отримані результати за методом Кантілевера (на приладі ПВЖЗ) свідчать про суттєво виражений характер показника жорсткості, при цьому можливе варіативне вирішення питання формування певних полів жорсткості за рахунок повороту осей пружності матеріалу верху.

Визначення в'язкопружних властивостей матеріалів виконувалось методом динамічних досліджень (таблиця 2). Аналіз отриманих даних показав, що костюмна тканина арт. 0042 та клейовий матеріал арт. 1706/991B S9 мають суттєво виражений модуль пружності, що співпадає з попередніми дослідженнями показника жорсткості.

Таблиця 2 – Результати досліджень динамічного модуля пружності та декременту затухання

| Показник                      | Напрямок      | Костюмна тканина арт. 0042 | Клейовий матеріал арт. 1706/991B S9 |
|-------------------------------|---------------|----------------------------|-------------------------------------|
| Модуль пружності, E(МПа)      | По основі     | 52,50                      | 47,73                               |
|                               | По утоку      | 25,98                      | 3,63                                |
|                               | Під кутом 450 | 14,49                      | 4,51                                |
| Декремент затухання, $\delta$ | По основі     | 0,5676                     | 0,3545                              |
|                               | По утоку      | 0,3489                     | 0,5053                              |
|                               | Під кутом 450 | 0,4304                     | 0,3855                              |

Отже клейовий матеріал здатен змінювати рухливість структури матеріалу верху при розташуванні його під кутом 45° або у напрямку утоку. Таким чином, можна зробити висновок, що використання неруйнівних методів визначення в'язко-пружних властивостей одягових матеріалів дає можливість здійснювати селективний відбір клейових прокладкових матеріалів в пакети залежно від властивостей матеріалів верху та прогнозувати характер їх змін в процесі експлуатації одягу.

#### Список посилань

1. Яшкін П.В. Методики оцінки лояльності споживачів. Використання NPS-методу при аналізі клієнтської лояльності. / П.В. Яшкін, Е.Н. Скляр. // Маркетинг і маркетингові дослідження. – 2012. – № 1. – С. 28-40.
2. Полковниченко С. О. Оцінка сучасного стану розвитку ринку одягу в Україні. / С. О. Полковниченко, М. С. Коровінченко. // Ефективна економіка. – № 6. – 2021. DOI: 10.32702/2307-2105-2021.6.85.
3. Кінець епохи fashion: що чекає ринок одягу в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://pro-consulting.ua/ua/pressroom/konec-epohi-fashion-chto-zhdyot-rynok-odezhdy-v-ukraine>.
4. Кошевка Ю.В. Розробка засобів для фіксації стійких форм одягу. / Ю.В. Кошевка, О.І. Кулаков, М.О. Куцевський // Вісник Хмельницького національного університету. – №5. – 2009. – с. 170-174.
5. Березненко С.М. Основи технологій експериментального та підготовчо-розкрійного виробництва: навчальний посібник. / Березненко С.М., Водзінська О.І., Білоцька Л.Б., Донченко С.В. – К.: КНУТД, 2017. – 171 с.

УДК 62-529, 677.055, 687.053

Дворжак В. М., канд. техн. наук, доцент

Київський національний університет технологій та дизайну, v\_dvorjak@ukr.net

## КОМП'ЮТЕРНА СИМУЛЯЦІЯ МАНІПУЛЯТОРА

У промисловості використовують різні типи маніпуляторів, такі як пневматичні, електричні, гідравлічні або сервоприводні, які управляються за допомогою мікропроцесорних контролерів. Маніпулятори можуть бути використані в різних операціях в легкій промисловості для автоматизації процесу виробництва: розкроювання матеріалів, зшивання матеріалів, нанесення маркування на готові вироби, такі як логотипи, розміри тощо, виконання складних швів, таких як кишені, згини та інші складні деталі, упаковування готової продукції у коробки або пакети. Використання маніпуляторів дозволяє підвищити швидкість та точність процесу виробництва, що впливає на продуктивність та якість виробництва, зменшити відходи та помилки, а також знизити витрати на оплату праці.

На кафедрі механічної інженерії Київського національного університету технологій та дизайну розроблена 3D-модель маніпулятора (рис. 1, а), керованого за допомогою мікропроцесорних контролерів [1, 2]. Маніпулятор має три ступені вільності і складається з поворотної платформи (на рис. 1 не показано), яка повертається навколо вертикальної осі, та 8-ми рухомих ланок, які з'єднано між собою, утворюючи обертальні кінематичні пари  $P_i$ . До платформи приєднано дві ведучі ланки 1 і 4 та одну ведену ланку 3, які здійснюють коливальні рухи. Ланка 7 в маніпуляторі виконує функції тримача виконавчого (робочого) органу, який може рухатися разом з ланкою 7 або відносно неї залежно від конструкції, здійснюючи регіональні рухи (переміщення ланки 7 в діапазоні робочого простору) та локальні рухи (орієнтація робочого органу в зоні робочого простору).

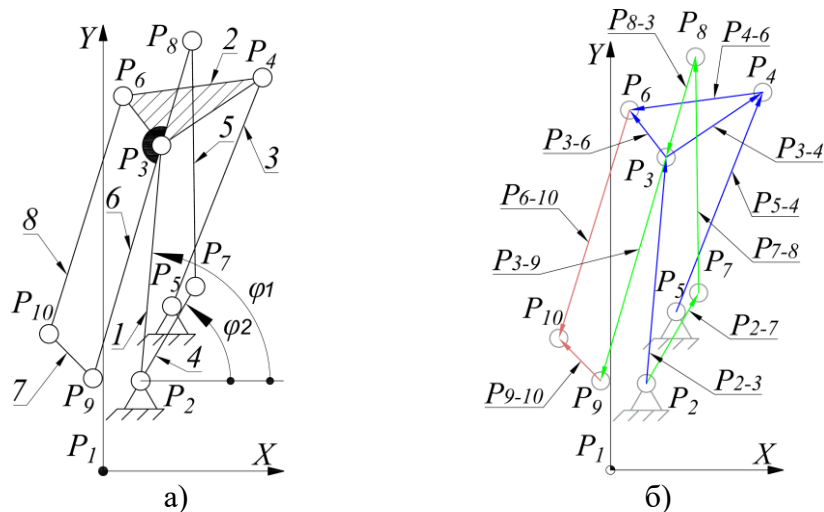


Рис. 1 – Схеми маніпулятора: а) – структурна; б) – векторна

За своєю структурою маніпулятор є плоским механізмом другого класу за класифікацією Асура з двома ведучими ланками (якщо не враховувати рух платформи). Функції положення маніпулятора визначені в роботі [1] на основі апарату векторної алгебри методом векторного перетворення координат [3]. Для цього ланки маніпулятора представлені у вигляді вільних векторів (рис. 1, б), а його характерні точки (центри кінематичних пар ланок) – у вигляді радіус векторів з початком у точці  $P_1$ . За отриманими математичними моделями маніпулятора побудовано комп'ютерну модель в Mathcad, завдяки якій досліджені різні аспекти його роботи та поведінки, зокрема і кінематичні обмеження маніпулятора, які передбачають перевірку можливості досягнення певної точки

в просторі, визначення максимальних та мінімальних значень кутів повороту ланок. На графіках візуалізації в Mathcad маніпулятора (рис. 2) позначено простір (зони простору позначено «x»), де маніпулятор може здійснювати потрібні рухи і дії та декотрі варіанти траєкторій характерних точок рухомих ланок маніпулятора залежно від кутів встановлення ведучих ланок 1 та 2, величини їхнього ходу та швидкості досягнення крайнього положення. Розрахунок зони обслуговування дозволяє забезпечити максимальну ефективність маніпулятора в заданому обсязі робіт, попередньо виявити можливі проблеми з обмеженнями руху та вжити необхідні заходи для їх вирішення.

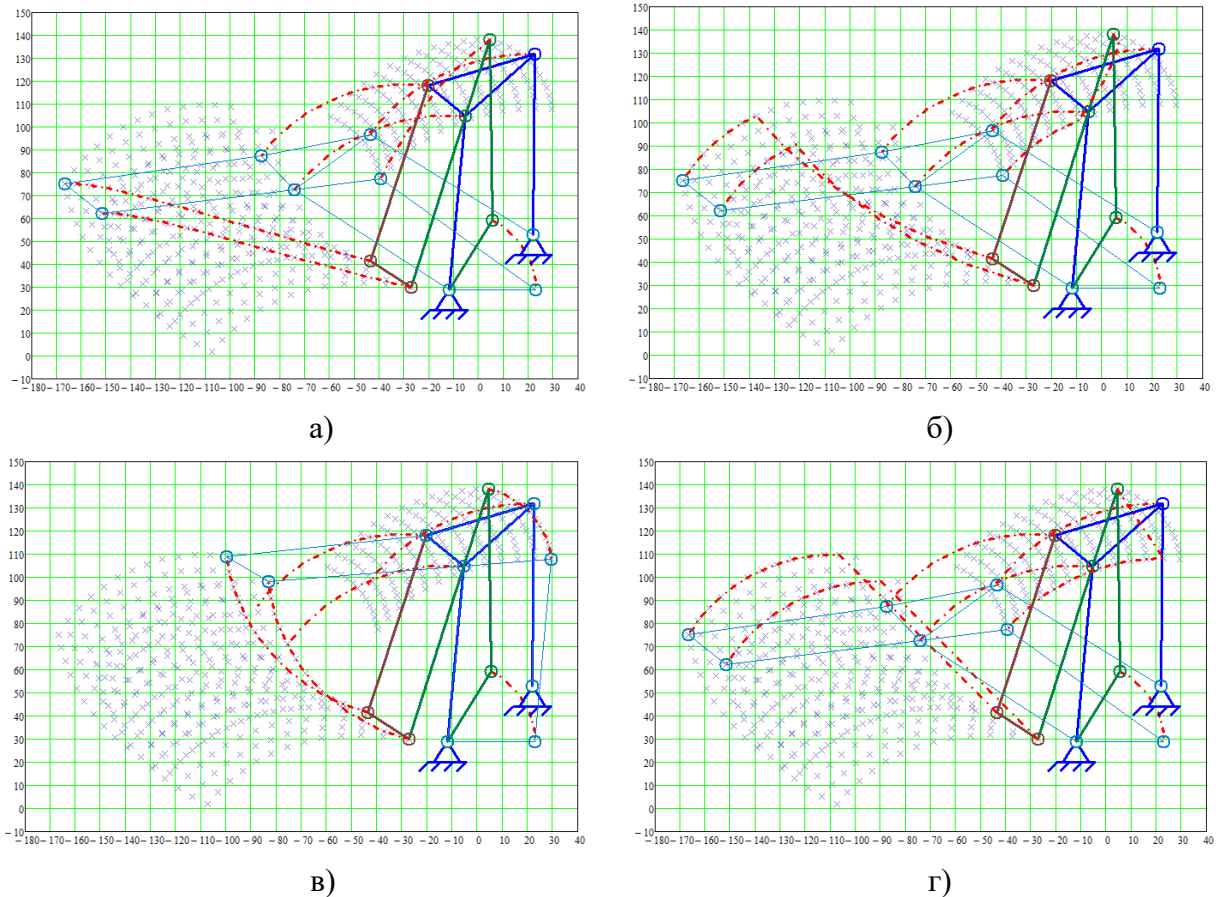


Рис. 2 – Графіки візуалізації в Mathcad маніпулятора

Таким чином, комп'ютерна модель маніпулятора в Mathcad дозволяє досліджувати різні характеристики маніпулятора, що дозволяє оптимізувати його роботу та покращити ефективність процесу взаємодії з об'єктом.

#### Список посилань

1. Дворжак В. М. Кінематика 3D маніпулятора з ручним керуванням / В. М. Дворжак, Б. В. Орловський, В. М. Попов // Мехатронні системи: інновації та інжиніринг: тези доповідей V-ої Міжнар. наук.-практ. конф. (4 листопада 2021 р., м. Київ). – Київ : КНУТД, 2021. – С. 45-46.
2. Орловський Б. В. Синтез мехатронної системи керування маніпулятором з ручним керуванням / Б. В. Орловський, В. М. Дворжак, В. М. Попов // Мехатронні системи: інновації та інжиніринг: тези доповідей V-ої Міжнар. наук.-практ. конф. (4 листопада 2021 р., м. Київ). – Київ : КНУТД, 2021. – С. 49-50.
3. Дворжак В. М. Схемотехнічне моделювання кінематичних схем маніпуляторів промислових роботів / В. М. Дворжак // Актуальні проблеми інженерної механіки : тези доповідей 5-ої Міжнар. наук.-практ. конф. (22-25 травня 2018 р., м. Одеса). – Одеса : ОДАБА, 2018. – С. 77-79.

УДК 677.074/677.025.004.2

Орловський Б.В., докт. техн. наук, професор

Манойленко О. П., канд. техн. наук, доцент

Безуглий Д. М., аспірант

Київський національний університет технологій та дизайну, [mlp-knutd@ukr.net](mailto:mlp-knutd@ukr.net)

## ОБ'ЄКТНО-ОРІЄНТОВАНИЙ АНАЛІЗ КАРКАСНИХ 3D ТЕКСТИЛЬНИХ СТРУКТУР

Каркасні 3D текстильні структури для композитних матеріалів отримують з використанням наступних поширених механічних технологій:

- з використанням робочих процесів механічної технології ткацького виробництва;
- з використанням робочих процесів механічних технологій в'язального і плетільного виробництв;
- з використанням робочих процесів механічної технології швейного виробництва.

При використанні полімерів поширений спосіб отримання структури квазі-тканин з використанням адитивних технологій на прикладі 3D-друку та інших потенційно можливих способів адитивних виробництв.

Каркасні 3D текстильні структури є основою преформ з ниткових або волоконних об'єктів, які є внутрішнім каркасом сучасних композитних матеріалів. Виготовляються преформи з армуючого матеріалу (текстильних структур, вуглецевих волокон, скловолокна або органолокна). Преформа поміщається в формоутворювальне обладнання, просочується зв'язуючим і в результаті отримують 3D-виріб з композитного матеріалу. За рахунок малої питомої ваги та значної міцності при механічних навантаженнях експлуатації широке застосування композитних матеріалів набувається у літакобудуванні, автомобілебудуванні, при виготовленні бронезилетів та захисних касок для військових та інших різних неметалевих об'єктів для людини та для машин [1, 2]. 3D композитні матеріали - це армовані волокном полімери – поширена назва FRP-композити (Fibre Reinforced Polymer). Виготовлення та застосування FRP-композитів зростає не тільки у традиційних застосуваннях, а також у нових потребах біомедичних пристроїв та будівельних конструкцій.

Об'єктно-орієнтований аналіз (ООА) та об'єктно-орієнтований синтез (ООС) є основними етапами об'єктно-орієнтованого проектування складних механіко-технологічних систем [3, 4] з використанням сучасних комп'ютерних технологій проектування. В результаті ООА отримуємо спосіб побудови 3D-моделі механіко-технологічного об'єкту проектування, а результатом ООС є написання коду та/або його реалізація у програмному середовищі цільового призначення об'єктно-орієнтованого проектування. Тому основним поняттям ООА і ООС є «об'єкт» у цільовому приладному значенні. Об'єкт це самостійний елемент проектованої механіко-технологічної системи, який отримано та обрано після декомпозиції такої системи на елементи (компоненти). Об'єкт містить сукупність інкапсульованих, тобто об'єднаних в єдине ціле вхідних даних та алгоритми, формули або методи обробки цих даних.

Схема узагальненої топології об'єктно-орієнтованого проектування механіко-технологічних систем 3D-тканин швейного, в'язального, ткацького та плетельного промислових виробництв приведена на рис. 1.

Розглянемо ООА при проектуванні **Object**=3D-тканина на прикладі використання механічної технології швейного виробництва при взаємодії діади «обов'язки – делегування (успадкування)».

Для виконання човникових стібків в машині є наступні типові робочі органи (інструменти), які взаємодіють між собою, нитками і матеріалом: голка, човник, ниткопритягувач, зубчата рейка, притискна лапка, голкова пластина, регулятор натягу голкової нитки, регулятор натягу човникової нитки і засоби регулювання довжини стібка.

Перші чотири робочих органи відносяться до стібкоутворюючих і розглядаються при побудові циклограми роботи машини, тому що їх положення залежить від кута повороту головного валу. Інші забезпечують якість утворення човникових стібків і швів і в них відсутні кінематичні зв'язки з головним валом.



Рис. 1 – Схема узагальненої топології об'єктно-орієнтованого проектування механіко-технологічних систем 3D-тканин швейного, в'язального, ткацького та плетельного промислових виробництв

В узагальненому вигляді при ООА на вході механічної технології маємо від чотирьох до 22 «інгредієнтів» – швейну машину, голкові нитки (до 15-ти голок при використанні вишивального автомату), одну човникову нитку та, наприклад, 5 прошарків текстильного матеріалу. На виході механічної технології утворення 3D-тканини отримуємо результат реалізації механічної технології. З кожним виконанням машинним стібком зменшується різниця між «інгредієнтами» і результатом механічної технології. І коли ця різниця дорівнює одиниці, тоді отримується один новий 3D-об'єкт, з новими фізико-механічними властивостями, новим призначенням і новими експлуатаційними властивостями.

3D мікро-модель за принципом поліморфізму ООП має властивості споріднених об'єктів тобто об'єктів, які мають один спільний об'єкт-батька, до яких можна застосовувати різні методи ООА.

Відповідно до принципу успадкування при ООП (рис.2) object=3D мікро-модель елемента матеріалу з текстилю успадковує свої фізико-механічні властивості від об'єкту верхнього рівня ієрархії базового класу об'єктів, а саме від ниток основи та ниток утка 2D-тканини 3D міні-моделі з текстилю. При цьому object=2D міні-модель успадковує від object=3D-мікро-модель всі дані (поля) та методи (алгоритми чи кроки розрахунку аналітичних функцій). Об'єкт-нащадок може доповнювати в програмному коді споріднені об'єкти новими даними та замінювати (перекривати) методи об'єкта-батька або доповнювати їх. У програмних продуктах 3D геометричного моделювання програмний код даних ООП “захований” за іконками меню цільового призначення, що викликає користувач



при роботі з object-ескізами, object-деталлями, object-збірками і object-кресленнями. При побудові сітки 3D деталі чи 3D середовища, при дослідженнях деформацій (переміщень) та напружень програмний код методів ООП також захований за іконками меню цільового призначення.

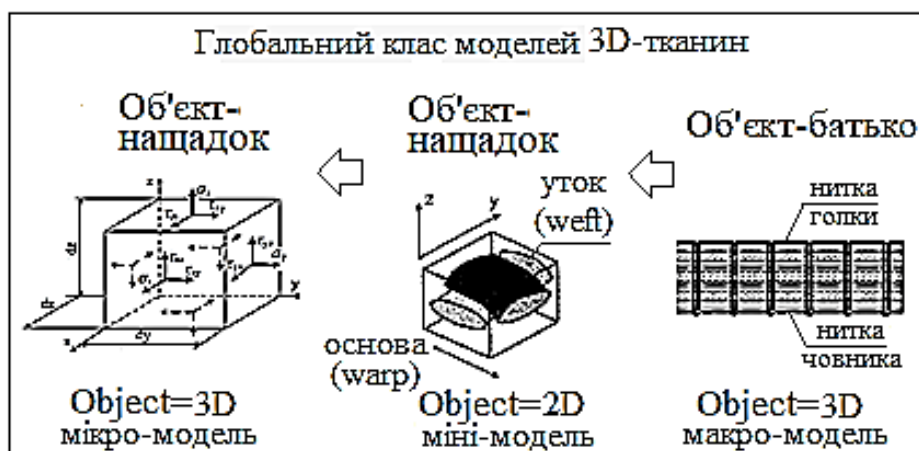


Рис. 2 – Схема принципу успадкування глобального класу об'єктів при об'єктно-орієнтованому аналізі механіко-технологічної структури 3D-тканин з використанням механічної технології швейного виробництва

Для тривимірного геометричного моделювання і дослідження 3D текстильного каркасу доцільно використання сучасних програмних продуктів, наприклад SolidWorks або інших.

#### Список посилань

1. Орловський Б. В. Аналіз застосування машинних стібків для створення 3D-конструкцій з полімерних композитних матеріалів інтер'єру у літакобудуванні / Б. В. Орловський // Проблеми тертя та зношування. – №4(85). – 2019. – С.117 – 122.
2. Безуглий Д. М. 3D каркасні текстильні вироби та область їх застосування / Д. М. Безуглий, О. П. Манойленко // Тези V Міжнародної науково-практичної конференції «Мехатронні системи: інновації та інжиніринг». – К.: КНУТД. – 2022. – с.113-114.
3. Дзюба В. І. Наукові основи автоматизованого проектування робочих процесів трикотажних машин. Об'єктно-орієнтований підхід / В. І. Дзюба. – К.: КДУТД. – 2000. –185 с.
4. Орловський Б. В. Основні принципи об'єктно-орієнтованого проектування робочих процесів та машин легкої промисловості / Б. В Орловський, Д. А. Тропша. // Вісник ДАЛПУ. – №2. – 2000. – с. 44–51.

УДК 664.663

Гуменюк О.Л., канд. хім. наук, доцент  
Сахута Л.А., магістрантка  
Коленченко А.Ю., студентка

Національний університет «Чернігівська політехніка», gum\_ok@ukr.net

#### КОМПОЗИЦІЙНА СУМІШ ГОРОХОВОГО БОРОШНА І СОЛОДУ ЖИТНЬОГО ЯК ПОЛІПШУВАЧ ДЛЯ ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ З БОРОШНА ПШЕНИЧНОГО ВИЩОГО СОРТУ

У раціоні сучасної людини часто зустрічаються рафіновані продукти, які майже не несуть користі, в результаті чого організм людини не отримує необхідної кількості вітамінів, макро- та мікроелементів. Результатом цього є проблеми зі здоров'ям. Для вирішення цього питання розглядається можливість підвищення харчової цінності продукту, що споживається кожний день – хліба шляхом використання в якості



поліпшувача добавок, що містять есенційні нутрієнти і одночасно з поліпшенням реологічних властивостей хліба будуть підвищувати його харчову цінність. З цією метою було вирішено обрати в якості добавки горохове борошно, яке, крім того, що підвищує харчову цінність виробу, полегшить тістоведення, так як є добрим поліпшувачем борошна, а також житній солод, який покращить органолептичні властивості готових виробів [1, 2].

Борошно з гороху містить велику кількість амінокислот та вітамінів (РР, Е, біотин, Н, холін, бета-каротин, всі вітаміни групи В), мінеральні речовини (приблизно 30 мінералів, наприклад, такі рідкісні: Se, Cr, I, F, Co та Mn). Завдяки багатому мінеральному складу, із 100 г горохового борошна можна отримати 90% добової дози Mn, 40% Fe, 30% Zn та 30% Mg [2].

Гороховий білок використовують у випічці у різному вигляді: ізолятів, концентратів та борошна. Перевагами добавки білків гороху до хлібобулочних виробів із дріжджового тіста є утримання води, гелеутворення та посилення підрум'янення випічки [3].

Житній солод відноситься до складних вуглеводів та містить багато поживних речовин, які надають організму почуття ситості та наповнюють енергією. До його складу входять вітаміни С, Е, РР, К, А, В та мікроелементи R, Se, P, Mn, Mg, Ca, Na та інші [4]. У складі солоду майже немає жирів, проте велика кількість клітковини.

Метою роботи є підвищення харчової цінності хлібобулочних виробів за рахунок введення до рецептури батону «Особливий» горохового борошна та солоду.

Якість хлібобулочних виробів оцінювали шляхом проведення лабораторних пробних випічок батону, виготовлених з борошна пшеничного вищого сорту, дріжджів, солі, цукру та добавкою борошна гороху і солоду житнього ферментованого. Добавки використовували у складі композиційної суміші борошна пшеничного, житнього солоду і горохового борошна у таких пропорціях: 92:5:3 (зразок 1), 90:5:5 (зразок 2), 87:5:8 (зразок 3).

Для оцінки впливу вибраних добавок на показники якості готових виробів визначили вологість і кислотність. Встановили, що зі збільшенням вмісту горохового борошна у батоні його вологість і кислотність зростає (рис. 1) відповідно на 0,8...4,87 і на 2,1...2,4. Це призводить до швидшого підйому тіста і скорочення часу його вистоювання. За результатами сенсорного аналізу встановлено, що вироби з гороховим борошном і житнім солодом у складі композиційної суміші краще тримають форму під час вистоювання і випіканні.

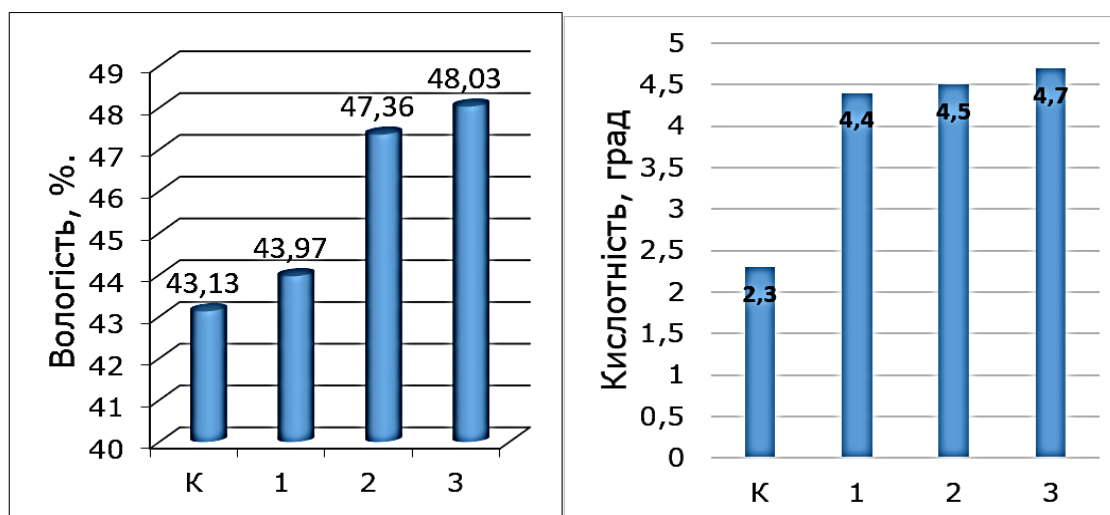


Рис. 1 – Зміна вологості та кислотності м'якушки хліба білого з добавкою горохового борошна і житнього солоду

Результати органолептичного аналізу готових виробів наведена в таблиці 1 та на рис. 2. За результатами дегустаційного аналізу встановлено, що найкращими смаковими якостями відрізнявся зразок 2 зі складом композиційної суміші борошна пшеничного, житнього солоду і горохового борошна у пропорції: 90:5:5.

Було також відмічено, що вироби з добавками довше зберігають свіжість і не черствіють в порівнянні з контрольним зразком.

Таблиця 1 – Органолептична оцінка якості готових виробів

| Показник              | Контроль                 | Зразок 1                                                                  | Зразок 2 | Зразок 3                                                             |
|-----------------------|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------|----------|----------------------------------------------------------------------|
| Колір і стан поверхні | Світло-жовта, гладенька, | Світло-коричнева, нерівна, гладенька, м'яка                               |          |                                                                      |
| Колір і стан м'якушки | Світла, пориста          | З коричневим відтінком, пориста, без слідів непромісу                     |          |                                                                      |
| Смак                  | Властивий даному виробу  | Присмак солоду, м'якушка м'яка, пориста, горохове борошно не відчувається |          | Присмак солоду, м'якушка м'яка, пориста, відчувається присмак гороху |
| Запах                 | Без стороннього запаху   | Легкий запах солоду                                                       |          |                                                                      |



Рис. 2 – Вигляд на розрізі готових зразків батону

Висновок. Таким чином, в результаті проведених досліджень встановлено, що використання житнього солоду та горохового борошна у складі композиційної суміші з борошном пшеничним призводить до поліпшення органолептичних властивостей готових виробів, покращення їх формостійкості, подовженню свіжості під час зберігання, збільшення вологості і кислотності їх м'якушки.

Для використання горохового борошна і житнього солоду в хлібобулочних виробках у складі композиційної суміші з борошном пшеничним встановлене раціональне співвідношення 90:5:5.

#### Список посилань

1. K.Kamaljit, S. Baljeet, K. Amarjeet., Preparation of Bakery Products by Incorporating Pea Flour as a Functional Ingredient, American Journal of Food Technology, 2010, 5 (2), 130 – 135.
2. Adriana Dabija, Georgiana Gabriela, Patricia Fradinho, Effect of yellow pea flour addition on wheat flour dough and bread quality, Romanian Biotechnological Letters, 2017, 12888 – 12897.
3. Justyna Belcar, Joanna Kaszuba, Józef Gorzelany. Effect of Wheat and Barley Malt Addition on the Quality of the Baking Blend and Wheat Bread. Pol. J. Food Nutr. Sci. 2022;72(2):129–139.
4. Maria Hruskova, Ivan Švec and Iva Kucerova. Effect of Malt Flour Addition on the Rheological Properties of Wheat Fermented Dough. Department of Carbohydrate Chemistry and Technology, Institute of Chemical Technology, Prague, Czech Republic. Vol. 21, No. 6: 210–218.

УДК 664.663

Гуменюк О.Л., канд. хім. наук, доцент

Манжай В.П., магістрант

Гайдай Т.О., студентка

Національний університет «Чернігівська політехніка», gum\_ok@ukr.net

## **ПОШУК ПОЛІПШУВАЧА ДЛЯ ХЛІБА З ПШЕНИЧНОГО БОРОШНА ВИЩОГО СОРТУ З КУКУРУДЗЯНИМ БОРОШНОМ**

Розвиток харчової промисловості, розробка нових технологій та створення нових продуктів харчування здатні вже зараз задовольнити потребу у їжі населення світу. Однак кількісне зростання не завжди супроводжується поліпшенням якості харчування. Використання рафінованих продуктів високого ступеню очищення викликає перенасичення продуктів харчування вуглеводами, у той час як кількість білку виявляється недостатньою. Цей дисбаланс здатен ослаблювати організм людини, роблячи його вразливим до дії шкідливих факторів довкілля. Для населення України, що потерпає від екологічного забруднення та тривалих наслідків аварії на Чорнобильській АЕС, питання недостатньої кількості білку в харчуванні стоїть досить гостро.

Природним джерелом білку є рослинні і тваринні продукти. Однак вживання останніх певними групами населення України може бути обмежене з фінансових, етичних чи релігійних міркувань. Більш перспективними є джерела білку рослинного походження, чільне місце серед яких займають зернобобові, зокрема соя. Збагачення продуктами переробки сої основних продуктів харчування, до яких у першу чергу належать хлібобулочні вироби, здатне підвищити загальну кількість білку в раціоні харчування до необхідного рівня.

Крім високого вмісту білку, який здатен доповнювати за основними амінокислотами білки хліба (особливо з пшеничного борошна), соєві продукти містять також велику кількість ненасичених жирних кислот, вітамінів та інших біологічно активних речовин. Однак значні дозування продуктів переробки сої негативно впливають на реологічні властивості тіста та якість готових виробів. Також соєві продукти містять певну частку антипоживних речовин (зокрема інгібіторів трипсину), і з підвищенням дозування соєвих продуктів у хліб їх вміст викликати більше небезпеку. Це зумовлює потребу у нових продуктах зі зниженим вмістом антипоживних складових, передусім інгібіторів травних ферментів людини, та необхідність розробки технології хлібобулочних виробів з цими продуктами [1].

Кукурудзяне борошно, на відміну від більшості видів борошна (в тому числі і пшеничного) містить бета-каротин та вітамін А. Воно містить вдвічі більше заліза, ніж пшеничне борошно вищого сорту [2].

Високий вміст В1, важливого для нормального функціонування мозку і нервової системи. Високий вміст вітаміну РР, який потрібен для нервової системи, нормалізації рівня холестерину, для серцево-судинної системи і вироблення ряду гормонів [2].

Хліб із кукурудзяного борошна відрізняється від пшеничного більшою розсипчастістю, але оскільки кукурудзяне борошно майже не утворює клейковини, без пшеничного борошна не обійтись.

Таким чином, хліб здебільшого все одно виходить пшеничний, але кукурудзяне борошно дає йому ніжний золотистий колір і приємну, дрібнопористу, суху структуру.

Проте, вплив добавок кукурудзяного та соєвого борошна за одночасного їх використання на органолептичні властивості дріжджового тіста з борошна пшеничного вищого сорту не вивчалися. Тому метою даної роботи було встановлення впливу соєвого борошна на фізико-хімічні та органолептичні показники якості хліба «Кукурудзяного».

Добавку сої та кукурудзи вводили у вигляді порошку (борошна). Дослідження впливу добавок на формування текстурних властивостей виробів з дріжджового тіста проводили

на напівфабрикатах з борошна вищого сорту, виготовлених за розрахованими рецептурами [3, 4] з різною кількістю добавки соєвого борошна (відповідно 4%, 8% і 12% до маси борошна) та кукурудзяного борошна (відповідно 10%, 15% і 20% до маси борошна).

Для оцінки органолептичного аналізу якості готових виробів визначали такі показники як форму хліба, стан скоринки, стан м'якушки, смак, аромат, та свіжість.

За результатами визначення органолептичних показників випечених виробів зробили висновок, що дозування 4% соєвого борошна і 10% кукурудзяного борошна призводить до отримання хліба з найкращими органолептичними показниками, а у випадку збільшення кількості добавок – показники погіршуються (рис. 1).

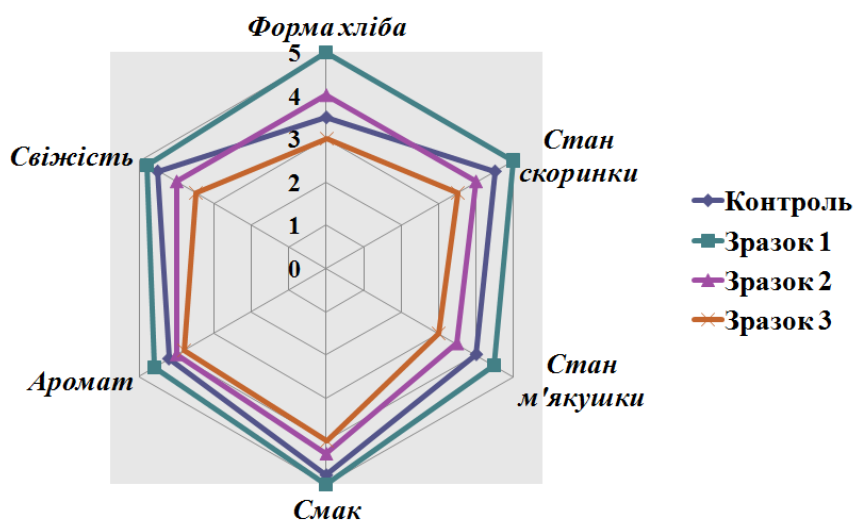


Рис. 1 – Діаграма дегустаційного аналізу готових виробів залежно від концентрації добавок соєвого та кукурудзяного борошна: контроль; зразок 1 – 4% і 10% добавок; зразок 2 – 8% і 15% добавок; зразок 3 – 12% і 20% добавок.

Таблиця 1 – Органолептичний аналіз якості готових виробів

| Показник       | Контроль | Зразок 1 | Зразок 2 | Зразок 3 |
|----------------|----------|----------|----------|----------|
| Форма хліба    | 16       | 18       | 17       | 16       |
| Стан скоринки  | 16,7     | 17,6     | 15,7     | 15,8     |
| Стан м'якушки  | 13,2     | 13,5     | 10,7     | 8,4      |
| Смак           | 16       | 16,5     | 15       | 14,9     |
| Аромат         | 11,9     | 12,1     | 10,9     | 10,6     |
| Свіжість       | 11,8     | 12       | 11,4     | 11,2     |
| Сумарна оцінка | 85,6     | 89,7     | 80,7     | 76,9     |

В результаті проведених досліджень встановили перспективність використання добавок соєвого та кукурудзяного борошна в дозуванні відповідно 4% і 10% для підвищення органолептичних властивостей хліба з пшеничного борошна вищого сорту.

#### Список посилань

1. Бабич А.О. Соя для здоров'я і життя на планеті Земля. / А.О. Бабич. – К.: Аграрна наука, 2008. – 116 с.
2. Blog. Таблиця калорійності. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://blog.tablycjakalorijnosti.com.ua/chym-korysne-kukurudzyane-boroshno/>.
3. Дробот В.І. Довідник з технології хлібопекарського виробництва: навч. посібник. / В.І.Дробот. – К.: ПрофКнига, 2019. – 580 с.
4. Y. H. Hui, Harold Corke, Ingrid De Leyn, Wai-Kit Nip, Nanna A. Bakery Products: Science and Technology. CrossJohn Wiley & Sons, 2008. – 586 p.

УДК 631.358:635.6

Бусел О.В., студент  
Гуменюк О.Л., канд. хім. наук, доцент  
Іваненко К.М., канд. техн. наук, доцент  
Пасов Г.В., канд. техн. наук, доцент  
Національний університет «Чернігівська політехніка», gum\_ok@ukr.net

## ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РОЗРОБЛЕНОГО СУШИЛЬНОГО АГРЕГАТУ ДЛЯ ГАРБУЗОВОГО НАСІННЯ

Гарбузові технології – один із, відносно, нових напрямків харчової промисловості. Вважається, що гарбуз – це корінна рослина в українській культурі, тому вирощування саме цих плодів є невід’ємною частиною ведення сільського господарства. Основним джерелом цікавості у вирощуванні гарбузів є їх цінне насіння, багате на вітаміни групи В, фолієву кислоту, жири, вуглеводи та мінерали, в тому числі кальцій, магній, залізо. Відомо, що збагачені гарбузовим насінням чи шротом (порошком) кондитерські чи хлібобулочні вироби характеризуються підвищеною харчовою цінністю та відмінними смаковими якостями [1 – 3].

Процес одержання гарбузового насіння у чистому вигляді є трудомістким процесом [2–4], а особливо – етап сушіння насіння, який є одним із основних та найважливіших, оскільки саме в ході нього формується практично третина усіх фізичних та хімічних показників насіння [5].

Для процесу сушіння у великих промислових масштабах застосовують агрегати, що мають у своїх конструкціях, переважно, електричні теплогенератори чи теплообмінники на пароконвекційному принципі роботи із обдувними сорочками та радіальним вентилятором типу «Равлик», а також теплогенераційні установки на газовому забезпеченні із ресиверними компенсаторними без включення аерозольного зволоження та штучного осушування потоку повітря. Такі установки мають високу енерговитрату та низький показник корисної дії, але мають доволі малі та компактні розміри для промислового встановлення до мережі 380В [6]. Насіння перед висушуванням на таких установках проходить етап вакуумації та шліфування потоком води. Такі операції проводять для того, щоб позбутися зайвої вологи, слизу, надмірної кислотності насіння (яка є небажаною). Переважно, такі агрегати є автоматизованими, мають низку пристосувань для перемішування шару насіння на сітчастих подах сушильних столів у вигляді рухомих балок, гумових шнеків, бильних чи віброустановок для полегшення етапу, як висушування, так і зрівнювання шару насіння після першого перемішування [7].

Зважаючи на переваги конкурентних зразків теплогенераторів, було розроблено твердопаливну сушильну установку із сушильним столом без автоматичного перемішування насіння та зрівнювання. При цьому здійснюється контроль температури, вологості та сили потоку повітря у каналах сушильного столу. Така установка дозволяє знизити затрати на електропостачання, шкідливі випари та викиди в атмосферу хімічних компонентів чи охолоджувальних рідин. Вона може бути використана для обробки та доведення до споживчих властивостей не тільки гарбузового, а й насіння низки зернових культур. Серійний випуск такої установки сприятиме розвитку ринку попиту на альтернативні установки малого бізнесу.

Беручи до уваги вищезгаданий результат, заміна електричних сушильних установок на твердопаливні дасть змогу працювати в умовах підвищеної енергетичної складності без стабільного постачання електроенергії.

До конструкції твердопаливного котла входять такі вузли: радіальний вентилятор із тензодатчиками та повітря-проводом, турбіна подачі стиснутого гарячого повітря під високим тиском; суцільнозварена основа (топка у вигляді доменної печі) із повітряною



сорочкою на обдув, допоміжна система охолодження диму та газів (розташовується над топкою), димохід змієвиковий із термостійкого матеріалу (термостійка сталь, керамічна цегла, азбестове покриття), радіатор – компенсатор із термостійкого матеріалу (комбінація із товстостінних термостійких труб заповнених кварцовим піском, азбестовою стружкою та керамічною січкою), система підсилення потоку повітря у вигляді каналного вентилятора та трубопроводу.

На рис. 1 наведено фото сконструйованого твердопаливного котла для сушильної установки продуктивністю 30000 м<sup>3</sup> гарячого повітря за годину. Котел споживає паливо у вигляді деревних відходів від деревообробних підприємств, пелет, січки, вугілля, тирси та інших паливних матеріалів.



Рис. 1 – Фото твердопаливного котла (1) з турбіною (2) для роздуву полум'я

До комплексу із твердопаливним котлом входить окремо сушильний стіл (рис. 2) площею 60 м<sup>2</sup>, який має такі характеристики: висота рівня сітчастого поду – 600 мм, габаритні розміри сітчастого поду – 12×5 метрів, матеріал сітчастого покриття – нержавіючий дріт (розмір чарунки сітки 4×4 мм.) товщина дроту 1 мм.



Рис. 2 – Фото сушильного столу з насінням в натурі (а) та 3D-зображення його конструкції (б)

У ході експлуатації сконструйованої установки було проведено заміри вологості насіння відповідно до зміни температури потоку повітря у каналі сушильного столу при виході із крайньої точки відбиття поворотного засіку установки. Показники вимірювань наведено на рис. 3.



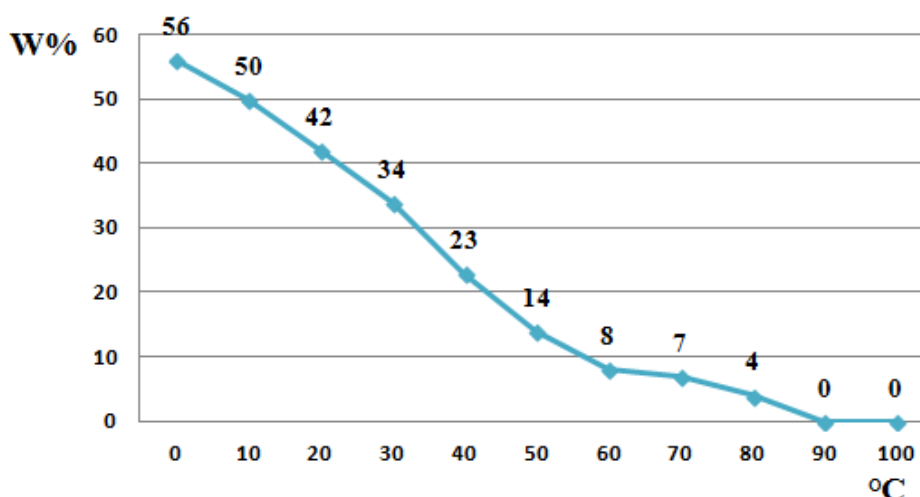


Рис. 3 – Залежність вологості насіння від температури потоку повітря у каналі сушильного столу

За графіком (рис. 3) видно, що найкращими температурними режимами для висушування гарбузового насіння є межі 40...70°C. За підвищення температури понад 70°C насіння змінює колір та текстуру, починає темніти та з'являється характерний запах смаженого насіння.

**Висновок.** В результаті проведених досліджень показників якості висушеного гарбузового насіння за допомогою розробленої твердопаливної установки встановлено, що використання її у комбінації із сушильним агрегатом має відмінні показники економічності та продуктивності фази сушіння.

Виявлені також деякі недоліки використання установки: ризик підсмажування насіння (усувається калібруванням температури за допомогою термодатчика); тривалість процесу сушіння насіння гарбуза (16 годин без перерви на охолодження для 1 тони вологого насіння, без вакуумації); необхідність вчасного перемішування та зрівнювання шару насіння (щоб зменшити кількість витрат гарячого повітря через пори у шарі чи нерівностях шару).

#### Список посилань

1. Study of the influence of native and germinated pumpkin and watermelon seeds on the quality of dough and bread / Gumeniuk O. et al // Food science and technology. 2021. Vol. 15, Issue 3. P. 108-119 DOI: <https://doi.org/10.15673/fst.v15i3.2122>
2. Місник Ю. Механізоване збирання гарбузового насіння на Півдні України / Місник Ю. // Техніка і технологія АПК, 2014. – № 10 (61). – 21 – 25 с. DOI: <https://doi.org/10.36910/agromash.vi42.185>
3. Шовкомуд О.В. Аналіз технологій та технічних засобів збирання гарбузів / Шовкомуд О.В., Мартинюк В.Л., Гунчик Р.В. // Сільськогосподарські машини: збірник наукових статей / Луцький нац. технол. ун-т. – Луцьк: Луцький. нац. технол. ун-т, 2019. – Випуск 42. – 122 – 132 с. DOI: <https://doi.org/10.36910/agromash.vi42.185>
4. Floor container dryer. HerbaS. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://herbas.hr/oprema-za-proizvodnju-bundevinog-ulja/susara-podna5/?lang=en>
5. Pazyuk V. Determination of rational modes of pumpkin seeds drying / V. Pazyuk, Zh. Petrova, O. Chepeliuk // Ukrainian food journal. – 2018. – Vol. 7, Issue 1. – С. 135-150. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/UFJ\\_2018\\_7\\_1\\_12](http://nbuv.gov.ua/UJRN/UFJ_2018_7_1_12).
6. Теплогенератори на твердому паливі. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.gazdream.com/?gclid>
7. Montecucco A. A Combined Heat and Power System for Solid-fuel Stoves Using Thermoelectric Generators / Montecucco A., Siviter J., Knox A. // Energy Procedia. – 2015. – Vol. 75. – P. 597 – 602. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.462>

УДК 664.66:093-021

Болховітіна О.І., канд. техн. наук, доцент  
Шидакова-Каменюка О.Г., канд. техн. наук, доцент  
Чубаха О.В., магістрант

Державний біотехнологічний університет, м. Харків, [kravchenko.elen16@gmail.com](mailto:kravchenko.elen16@gmail.com)

## ОРГАНОЛЕПТИЧНІ ТА ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ХЛІБА З ДОДАВАННЯМ БОРОШНА НАСІННЯ ГІРЧИЦІ

Хлібопекарська промисловість традиційно займає лідируючу позицію у харчовій промисловості України, пропонуючи широкий асортимент продукції на будь який смак. Найбільшою популярністю серед хлібобулочних виробів користується хліб з пшеничного борошна, масова частка якого становить більше 40% від їх загальної кількості.

Враховуючи популяризацію здорового харчування актуальним питанням є розробка нових технологій хліба оздоровчого та лікувально-профілактичного призначення з використанням нетрадиційної рослинної сировини багатой на есенціальні компоненти. Відносно новим інгредієнтом для хлібопечення є борошно насіння гірчиці, що вже набуло широкого використання у кулінарії, як спеція.

Борошно насіння гірчиці є натуральною сировиною з унікальним хімічним складом, який представлений харчовими волокнами, повноцінним білком, омега-3 жирними кислотами, вітамінами А, групи В, D, E, а також такими мікроелементами, як калій, кальцій, натрій, магній, цинк, залізо, марганець і фосфор. Крім того, борошно насіння гірчиці є природним антисептиком та консервантом. Саме ця властивість стала передумовою його використання у незначних кількостях при виготовленні хліба з метою запобігання розвитку плісняви. Окрім антисептичної дії додавання борошна гірчиці призводить до збільшення об'єму виробів, покращення смаку та аромату, уповільнює процес черствіння, продовжує термін зберігання випеченого хліба.

Метою даних досліджень було визначення впливу борошна з насіння гірчиці на органолептичні та фізико-хімічні показники якості пшеничного хліба. Дослідну добавку вносили у кількості 5...10% від маси пшеничного борошна. Дослідні зразки хліба готували за технологією пробного лабораторного випікання. Органолептичні та фізико-хімічні показники якості визначали після повного остигання виробів та порівнювали зі зразками приготованими за тією ж технологією без внесення добавки.

Встановлено, що всі досліджувані зразки хліба мали правильну форму, без підривів та тріщин. Внесення 5,0...7,5% борошна гірчиці взамін пшеничного борошна сприяє появі легкого приємного смаку та запаху гірчиці, який з підвищенням концентрації добавки до 10% посилюється і відчувається гіркота. Появу пікантного смаку добавки потрібно враховувати при розробці конкретної рецептури та сумісництво її з іншими рецептурними компонентами. Колір скоринки та м'якушки готових виробів з підвищенням кількості добавки стає жовтішим, а з внесенням максимальної кількості 10% набуває інтенсивного жовто-бурого кольору.

Дослідження фізико-хімічних показників якості хліба з добавкою показали, що кислотність зразків з борошном насіння гірчиці вища, що, ймовірно, пояснюється вищою кислотністю добавки і можливим позитивним впливом її на бродильну мікрофлору тіста. Заміна частини пшеничного борошна гірничим призводить до зниження показнику пористості м'якушки на 2,8...8,7%, що є характерним при використанні сировини, яка не містить клейковинних білків.

На основі отриманих даних нами запропоновано рецептуру та технологічну схему хліба «Бутербродний» з додаванням борошна насіння гірчиці у кількості 7,5% від маси пшеничного борошна.

УДК 621.9.048.7

Гончарук О.О., канд. техн. наук, доцент

Ототюк О.С., студент

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,

[goncharuk.alex@gmail.com](mailto:goncharuk.alex@gmail.com)**ВИКОРИСТАННЯ ЛАЗЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ХАРЧОВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ**

Цукерки, що становлять велику частку продовольчого ринку, широко споживаються у світі. Більшість провідних компаній та дослідницьких центрів виробників 3D-продуктів зосереджують увагу на солодощах, таких як Hershey, ChocEdge та 3D Systems [1]. Дослідження полягає в розробці процесу лазерного 3D-друку з використанням харчових продуктів, що є доволі перспективним напрямком у сучасній промисловості [2].

Розроблено математичну модель процесу лазерного спікання порошкових харчових матеріалів, побудовано тривимірну модель, яка показує інтервал температур під час цього процесу.

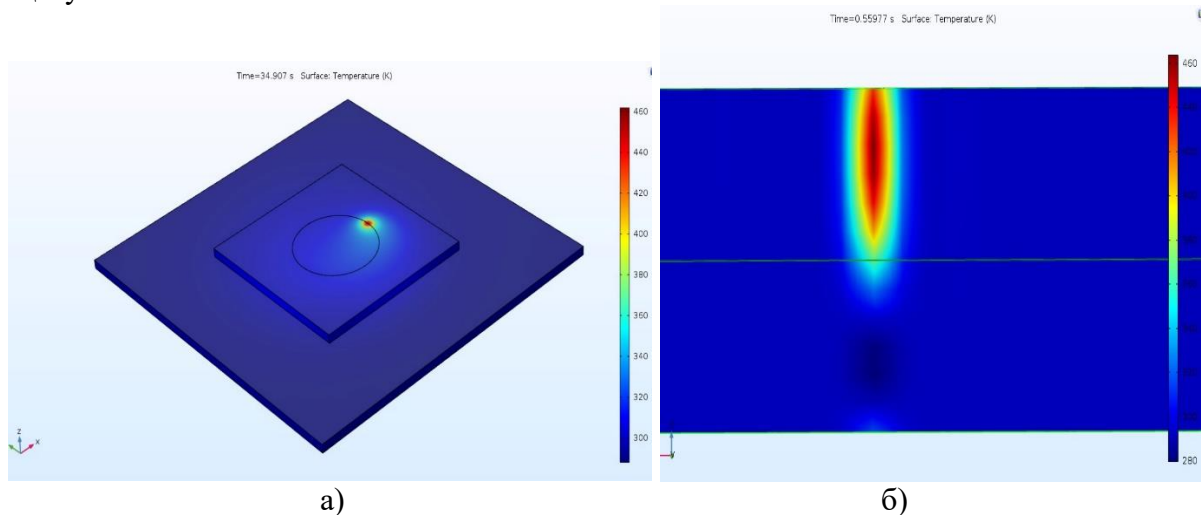
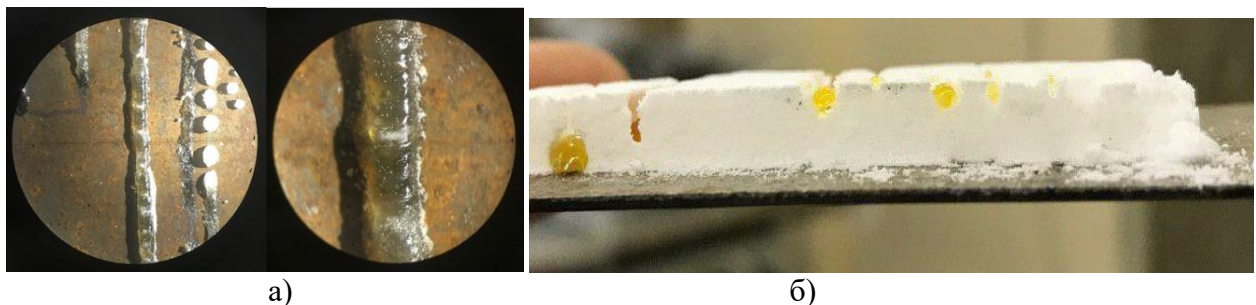


Рис. 1 – Результати математичного моделювання:

а) температурні поля на поверхні зразка в момент часу  $t = 34,907$  сб) температурні поля в перерізі (у момент часу  $t = 34,907$  с)

Встановлено, що лазерне спікання порошкових матеріалів в харчовій промисловості доцільно здійснювати при таких умовах:  $\lambda = 1,06$  мкм; швидкість переміщення лазерного променя  $v = 0,8 - 2$  мм/с; потужність випромінювання  $50 - 150$  Вт; розміри плями фокусування  $0,5 - 1$  мм.

Рис. 2 – Вид доріжки з цукрової пудри опроміненої при оптимальних режимах обробки:  $P = 100$  Вт,  $v = 0,89$  мм/с, товщина шару  $3$  мм, і діаметр сфокусованого пучка  $d = 1$  мм (а);б) Загальний вид шару цукрової пудри при товщині шару  $5$  мм після обробки

Отже, як можна бачити при збільшенні швидкості обробки ширина валика зменшується, але швидкість можна збільшувати до певного значення при потужності 100 Вт, а саме не більше 3,68 мм/с, тому що потім валик не формується (рис.2,а).

У випадку цукру – піску на таких же режимах, на яких проводилась обробка цукрової пудри, отримували вже спікання матеріалу. Тобто кристали цукру не розплавлялись повністю (Рис.2,б). Було опромінено шар цукру товщиною 5 мм. При тому ж діаметрі сфокусованого лазерного променя ширина валика значно перевищує ширину валика з цукрової пудри. Також матеріал краще тримає форму, через більші розміри цукрових кристалів.

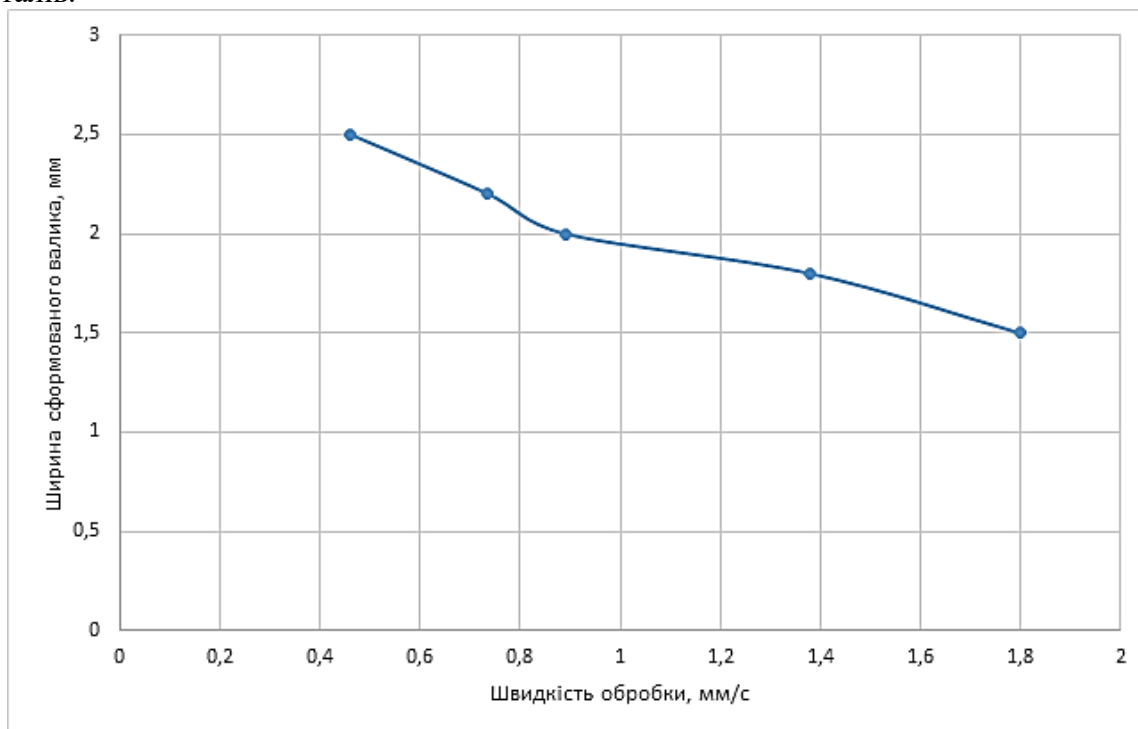


Рис. 3 – Залежність ширини валика  $b$  від швидкості обробки  $v$

Після дослідження параметрів для опромінення цукру по лінії, були проведені дослідження для формування 3D – об'єкта у формі квадрата. Швидкість було взято 1,8 мм/с і потужність лазерного випромінювання 100 Вт, і діаметр плями фокусування 1,5 мм. На рис. 4 зображено три шари з цукрової пудри, розмежування шарів майже не видно тому що при обробці наступних шарів попередні прогрівались і починали змішуватись в один товстіший шар.

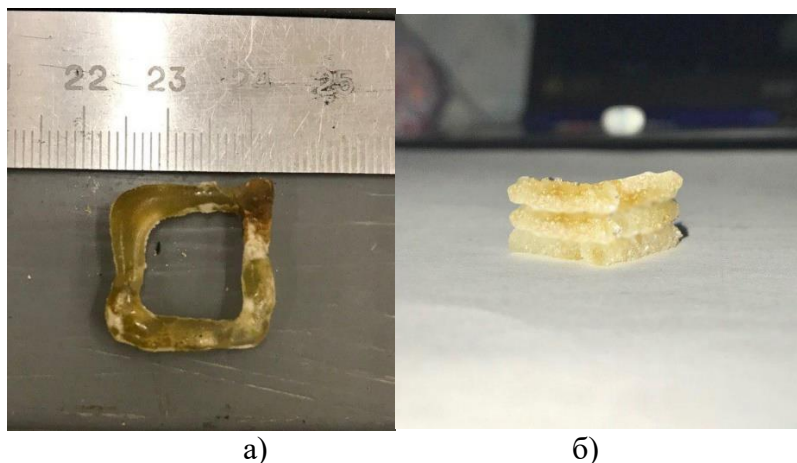


Рис. 4 – Фігура в формі квадрата з цукрової пудри (а) та об'єкт сформований з цукру – піску (б)

### Список посилань

1. Sun, J., Zhou, W., Huang, D., Fuh, J.Y.H., Hong, G.S., 2015c. An overview of 3D printing technologies for food fabrication. Food and Bioprocess Technology 8, 1605–1615.
2. Лазерний 3D-друк в харчовій промисловості / [Гончарук О.О., Смоляренко А.В., Маленівський М.С., Гармай Е.А. ] // Збірка праць Міжнародної науково-технічної конференції молодих вчених та студентів «Інновації молоді в машинобудуванні» : тези доповіді. – 2019.

УДК 637.146

**Фабриченко К. Ю., здобувач вищої освіти**

Національний університет «Чернігівська політехніка», [katykha0612@gmail.com](mailto:katykha0612@gmail.com)

## **ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ НА ОРГАНОЛЕПТИЧНІ ТА ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ БЕЗЛАКТОЗНОГО ЙОГУРТУ**

Розроблення рецептури йогурту з гарбузом, яблуком та корицею є актуальним завданням, оскільки виробництво харчових продуктів, збагачених білками, вітамінами та іншими поживними речовинами відповідає сучасним концепціям здорового харчування. Безлактозний йогурт з гарбузом, яблуком та корицею може зацікавити покупця та дати змогу підприємству розвиватись у новому напрямку. Виробництво збагачених і безлактозних йогуртів має великі шанси на розвиток у нашій країні, адже 20-30% українців не можуть вживати молочні продукти, що містять лактозу.

Мета роботи полягала у вивченні впливу рослинної сировини на органолептичні та фізико-хімічні властивості безлактозного йогурту.

Щоб зробити йогурт безлактозним ферментний препарат лактазу вносять перед пастеризацією молока або ж уже після його пастеризації разом із закваскою. Більшість виробників йогурту обирають другий спосіб, оскільки попереднє внесення пригнічує активність деяких йогуртових культур, ймовірно, через перехід від лактози до глюкози як основного джерела вуглеводів, або через підвищення осмотичного тиску в лактозно-гідролізованому молоці. Ще одна перевага розщеплення лактози в йогурті полягає в тому, що доокислення продукту протягом терміну зберігання може бути зменшено. Очевидно, деякі бактерії йогурту менш активні за відсутності лактози або мають труднощі з переходом від одного джерела вуглеводів (лактози) до іншого (глюкози), що приводить до кращої стабільності продукту.

У ході дослідження приготовано 5 зразків йогурту. Перший зразок – це йогурт, в який спочатку додавали фермент лактазу [1], а через 2,5 години – закваску. В другий йогурт вносили фермент і закваску одночасно. У третій, четвертий та п'ятий зразок додавали гарбуз і яблуко у співвідношенні відповідно 70:30, 30:70 та 50:50. Щоб залишити в гарбузі та яблуках якнайбільше мікро-, макроелементів, вітамінів і зробити їх м'якшими, їх піддали тепловій обробці в духовці. Фрукт та овоч запікали за температури 200 °С протягом 20 хвилин, потім подрібнили за допомогою блендера.

Для приготування йогуртів брали пастеризоване молоко жирністю 2,6% та кислотністю 18 °Т. Після пастеризації його охолодили до температури заквашування 38 °С та розділили у дві ємності:

- у першу до молока додали ферментний препарат лактазу, перемішували протягом 2 хв для кращого розподілу лактази по суміші та залишили на 2,5 години для перетворення лактози. Після чого розведenu в молоці закваску (*Streptococcus thermophiles*, *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus*, *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris*, *Lactococcus lactis* subsp. *lactis*) влили та перемішали протягом 3 хв;

- у другу ємність додали лактазу та закваску одночасно, перемішували 3 хв.

Готові суміші термостатували за температури 38 °С протягом 8 годин. Після дозрівання згустку:



до зразка № 3 додали 70 г гарбуза, 30 г яблука та 2 г кориці;  
до зразка № 4 додали 30 г гарбуза, 70 г яблука та 2 г кориці;  
до зразка № 5 додали 50 г гарбуза, 50 г яблука та 2 г кориці.

Всі зразки ретельно перемішували протягом 3 хвилин та охолоджували в холодильнику протягом 40 хвилин.

В одержаних зразках досліджено органолептичні та фізико-хімічні показники [2]. Одержані значення титрованої кислотності наведено у таблиці 1.

Таблиця 1– Титрована кислотність досліджуваних зразків йогурту

| Зразок №                           | 1      | 2  | 3   | 4   | 5   |
|------------------------------------|--------|----|-----|-----|-----|
| Кислотність, °Т                    | 95     | 92 | 102 | 146 | 129 |
| Кислотність, °Т, згідно з ДСТУ [3] | 80-140 |    |     |     |     |

Більше значення кислотності зразка №1 у порівнянні із зразком №2 може бути пояснено збільшенням на 2,5 години загального часу технологічного процесу протягом якого за температури 38 °С могло розпочатись молочно-кисле бродіння. Зразок № 4 має значно вищу кислотність, це зумовлено більшою концентрацією яблука в йогурті, що призвело також до погіршення смакових властивостей. Решта зразків має кислотність, що відповідає нормативним значенням.

У йогуртах із рослинними наповнювачами жирність знизилась на 0,1%, оскільки концентрація молока зменшилася за рахунок додавання компонентів. Спосіб внесення ферменту лактази, звичайно, на жирність готового продукту не впливає (таблиця 2).

Таблиця 2 –Жирність досліджуваних зразків

| Зразок №                       | 1       | 2   | 3   | 4   | 5   |
|--------------------------------|---------|-----|-----|-----|-----|
| Жирність, %                    | 2,6     | 2,6 | 2,5 | 2,5 | 2,5 |
| Жирність, %, згідно з ДСТУ [3] | 1,5-6,0 |     |     |     |     |

Результати органолептичного аналізу наведено у таблиці 3.

Таблиця 3 – Визначення органолептичних показників йогурту

| № | Колір | Консистенція | Запах | Смак | Зовнішній вигляд |
|---|-------|--------------|-------|------|------------------|
| 1 | 4,7   | 4,5          | 4,7   | 4,5  | 4,7              |
| 2 | 5,0   | 5,0          | 5,0   | 5,0  | 5,0              |
| 3 | 5,0   | 4,8          | 4,7   | 4,8  | 5,0              |
| 4 | 4,5   | 4,0          | 4,5   | 4,5  | 5,0              |
| 5 | 4,7   | 4,2          | 5,0   | 4,5  | 4,8              |

Органолептичний аналіз показав, що найоптимальнішим співвідношенням гарбуза та яблука є 70:30. У випадку більшого вмісту яблука для компенсації кислого смаку потрібно додавати цукор, проте однією з ідей роботи було створення йогурту без цукру. Консистенція звичайного йогурту та безлактозного різниться. Другий за своєю в'язкістю перевершує перший, це свідчить про те, що молочнокислі бактерії краще розвиваються в безлактозному молоці з рослинними наповнювачами. Одержаний безлактозний йогурт з додаванням фруктово-овочевої суміші може бути рекомендований до впровадження в виробництво.

### Список посилань

1. ДСТУ 4457:2005. Препарати ферментні. Загальні технічні умови. – Вперше; введ. у дію від 2006-10-01. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2005. – 20 с. – (Національний стандарт України).
2. Технологія молока та молочних продуктів : метод. вказівки до лаборатор. курсу та самоств. роботи здобувачів вищої освіти за освіт. програмою "Харчові технології та інженерія" (освітній ступінь бакалавр) / уклад. Ж. В. Замай. – Чернігів : НУ "Чернігівська політехніка", 2022. – 62 с.
3. ДСТУ 4343:2004. Йогурт. Загальні технічні умови. – Вперше; введ. у дію від 2005-01-01. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2004. – 15 с. – (Національний стандарт України).



УДК 633.853.52:631.5.001.26 (1-15) (292.4.85)

Чинчик О.С., докт. с.г. наук, професор  
Сидорак І.Я., аспірант

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», м. Кам'янець-Подільський  
gusl@ukr.net

## ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИРОЩУВАННЯ СОЇ ДЛЯ ПОТРЕБ ПЕРЕРОБНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Соя - це одна з найбільш важливих культурних рослин у світі, яка має значення як для продукції харчових продуктів, так і для промислових цілей. За останні кілька десятиліть вирощування сої стало дуже популярним в багатьох країнах світу, в тому числі і в Україні. В цій статті ми розглянемо особливості технологічних процесів вирощування сої для потреб переробної промисловості.

Перш за все, важливо відзначити, що вирощування сої є досить складним процесом, який вимагає певних умінь та знань з боку фермерів. Однак, якщо ви відповідно дотримуетесь технологічних процесів, вирощування сої може стати дуже прибутковою галуззю. продуктивність сортів сої дійсно може залежати від технології їх вирощування. Існує безліч факторів, які впливають на врожайність сої, такі як кліматичні умови, рівень ґрунтування, методи обробки ґрунту та застосування добрив, контроль шкідників та хвороб, технології посіву та збирання врожаю. Головні фактори, які слід врахувати, плануючи вводити сою у сівозміну або ж збільшувати під нею площі наступні:

- загальна вартість технології вирощування з урахуванням системи захисту, поливу, потреби у добривах на основі агрохімічного аналізу;
- придатність ґрунтів та кліматичних умов регіону саме до вирощування сої;
- планова ціна на урожай сої та урожайність;
- логістика.

Залежно від технології вирощування, можна досягти різної продуктивності сортів сої. Наприклад, якщо забезпечити достатнє зволоження та використовувати добрива належного складу, продуктивність сорту сої може збільшитися. Крім того, правильна обробка ґрунту та застосування раціональних методів збирання врожаю також можуть позитивно вплинути на виробництво сої та збільшити її врожайність. У кінцевому підсумку, правильна технологія вирощування є ключовим фактором у досягненні максимальної продуктивності сортів сої.

Найважливішим кроком у вирощуванні сої є вибір правильного місця для її посіву. Соя потребує високої якості ґрунту, що має певний рівень родючості та достатній рівень поживних речовин. Крім того, місце посіву повинно бути добре освітлене, так як соя потребує багато сонячного світла для належного розвитку.

Наступним кроком є підготовка ґрунту. Цей процес включає в себе розкопування ґрунту, внесення добрив та інших речовин, які можуть поліпшити якість ґрунту. При вирощуванні сої дуже важливо забезпечити належний рівень вологості ґрунту, тому що вона не може рости в занадто сухому або мокрому ґрунті. Особливу увагу варто приділяти відновленню родючості ґрунту залежно від органічної технології вирощування сої [1].

Після підготовки ґрунту необхідно провести посів сої. Для посіву сої використовують різні методи. Найбільш поширеними є прямий посів та посів з передпосівною обробкою ґрунту. У першому випадку на підготовлену поверхню ґрунту зерна сої розсіваються без попередньої обробки ґрунту. У другому випадку перед посівом зерна сої проводять роботи з культивування ґрунту та обробки від попередніх культур.

Після посіву сої розпочинається період її росту та розвитку. Під час цього періоду необхідно забезпечити належний рівень вологості ґрунту та розвиток кореневої системи рослин. Крім того, необхідно контролювати рівень шкідників та хвороб, які можуть

впливати на врожайність сої. Збір врожаю сої відбувається в залежності від кліматичних умов та вимог споживачів. Найчастіше виробники збирають сою, коли вона досягає своєї максимальної зрілості, або коли вона починає жовтіти та опадати. Після збирання сою сушать та очищують від домішок.

Соеві зерна використовуються в переробній промисловості для виробництва соєвої олії, соєвої муки та інших продуктів. Соя є важливою складовою в харчовій та промисловій галузях, тому її вирощування є важливим напрямком в сільському господарстві. Для досягнення високих результатів необхідно дотримуватися технологічних процесів вирощування сої, забезпечувати оптимальні умови для розвитку рослин, проводити належну обробку врожаю.

Крім того, важливо вибирати правильний сорт сої, який буде відповідати вимогам ринку та кліматичним умовам регіону. Наприклад, в Україні найпоширенішими сортами сої є "Віват", "Лейсан", "Доната", "Рада" та інші. Також вирощування сої може бути важким завданням для фермерів, які стикаються з проблемами землеробства, боротьби зі шкідниками та хворобами та іншими викликами. Тому важливо мати належний рівень знань та досвіду в цій галузі, або звертатися до професійних консультантів та підтримки з боку держави. Застосування біологічних, фізичних та хімічних елементів технології дає можливість більш повно розкрити продуктивний потенціал сучасних сортів цієї культури в конкретних ґрунтово-кліматичних зонах України [2].

Важливим результативним елементом технології вирощування сої та її реалізації є економічна ефективність. Досвід країн, що мають розвинену сільськогосподарську галузь, а також окремих агропідприємств України, демонструє, що успішність вирощування сої можлива тільки за умови наявності достатнього рівня технічної, технологічної та організаційної підготовки. Основою досягнення таких результатів є переведення галузі на інноваційну модель розвитку. Оптимальне використання посівних площ та збільшення врожайності можливе завдяки раціональному використанню матеріальних ресурсів, а також застосуванню новітніх розробок в галузі. Ці процеси можуть бути реалізовані за умови наявності необхідного фінансування. Більшість сільськогосподарських підприємств мають низький рівень маркетингової діяльності, що негативно впливає на їх ефективність. Для поліпшення стану галузі необхідно покращити інформаційно-консультаційне забезпечення товаровиробників. Запропоновані напрями включають створення державної консультаційної служби управління агропромислового розвитку в регіонах, маркетинговий міжгосподарський кооператив та маркетинговий підрозділ в організаційній структурі підприємства [3].

У висновку можна сказати, що вирощування сої є важливим напрямом в сільському господарстві, який вимагає належної уваги та дотримання технологічних процесів. За правильного підходу до вирощування, соя може стати цінним ресурсом для промисловості та дієтичного харчування людей, що сприятиме економічному розвитку та підвищенню якості життя населення.

#### Список посилань

1. Дідора В. Г., Нагребельний О. Р., Недашківська О. С. Відновлення родючості ґрунту залежно від органічної технології вирощування сої [Текст]/ В. Г. Дідора, О. Р. Нагребельний, О. С. Недашківська, В. В. Суков // Збірник тез доповідей всеукраїнської науково-практичної конференції «Сільське господарство – сталий розвиток України», м. Житомир, 12 листопада 2020 р. С. 17-20.
2. Шевніков М. Я. Особливості технології вирощування сої в умовах нестійкого зволоження Лісостепу України [Текст]/ М. Я. Шевніков // Корми і кормовиробництво. Міжвідомчий тематичний науковий збірник, 2011. - № 69. - С. 147-152.
3. Харенко А. О., Бобко В. В. Виробничо-збутова діяльність сільськогосподарських підприємств щодо сої [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://journal.udau.edu.ua/assets/files/86/eko/ukr/7.pdf>.

УДК 663.67

Глушак В. С., студентка

Денисова Н.М., канд. техн. наук, доцент

Національний університет «Чернігівська політехніка», [shcliyarvlada25042001@gmail.com](mailto:shcliyarvlada25042001@gmail.com)

## ВИКОРИСТАННЯ КЕРОБУ В ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ВЕРШКОВО-ШОКОЛАДНОГО МОРОЗИВА

Асортиментний ряд вітчизняного морозива в основному складає продукція з підвищеним вмістом жиру, але у світі з кожним роком зростає попит на низькокалорійне молочне морозиво з новими органолептичними та фізико-хімічними характеристиками. Основну увагу науковці приділяють вивченню питань з удосконалення технологічних режимів і складу морозива різних видів, розроблення рецептур морозива з функціональними властивостями, морозива спеціального призначення з пробіотиками і пребіотиками, оптимізації основних процесів та модернізації обладнання.

Кероб - це стручкові плоди вічнозеленого ріжкового дерева (*Ceratonia siliqua* L.), що росте в середземноморських країнах, а саме - в Італії, Іспанії, на Кіпрі та інших. Кероб містить майже 40% вуглеводів [22]. У харчовій промисловості кероб використовують як заміник какао та шоколаду, а також в якості стабілізатора та загусника. На відміну від какао кероб не містить психотропних речовин (кофеїн, теобромін), які можуть призводити до звикання та алергічних реакцій організму людини, оксалатів, що зв'язують кальцій і сприяють утворенню ниркових каменів та щавлевої кислоти, яка не дає організму засвоювати кальцій і цинк. Практично не містить холестерину і жирів. Кероб цінний натуральними харчовими волокнами та фенольними антиоксидантами, які сприятливо впливають на мікрофлору кишечника, має характерний запах, який нагадує какао. На відміну від бобів какао, використання керобу дозволяє знизити кількість цукру в рецептурах, оскільки коефіцієнт солодкості керобу складає 0,5-0,6 від солодкості цукру.

Для досліджень можливо використати сирий кероб та обсмажений. Вони мають певні відмінності. Самий солодкий – порошок не обсмажений, має світлий рожево-бежевий відтінок, а за смаком далекий від шоколаду. Порошок слабого обжарювання – володіє легким карамельним смаком. Відрізнити його від не обсмаженого можна за більш темним кольором і невеликий кислуватості. Середньо обжарений кероб відрізняється темним шоколадним кольором і характерним запахом.

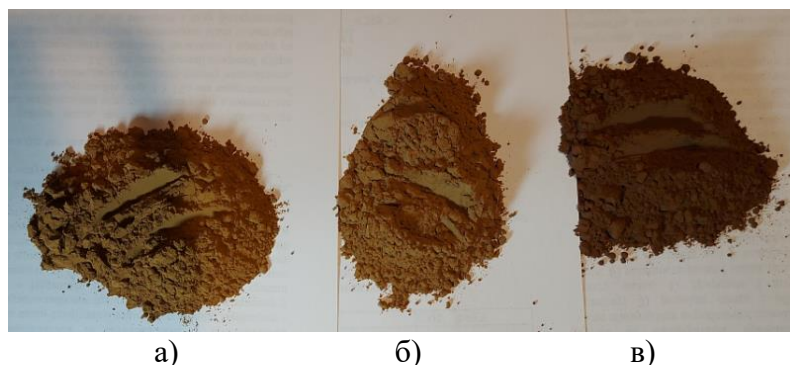


Рис. 1 – Зовнішній вигляд сировини – керобу для виготовлення дослідних зразків морозива: а- сирий кероб, б – слабого обжарювання, в – середнього обжарювання.

Розрахунок рецептури дослідних зразків морозива з керобом проводився на основі уніфікованої рецептури для вершково-шоколадного морозива.

Для проведення дослідів використано – зразок 1 – з какао (контрольний), зразок 2 – з сирим керобом, зразок 3- з керобом слабого прожарювання, зразок 4 – з керобом середнього прожарювання

Послідовність технологічних операцій для виробництва дослідних зразків:

- 1) Підготовка сировини: дозування – перемішування – фільтрування  $T=18-20^{\circ}\text{C}$ ;
- 2) Пастеризація суміші: нагрівання  $T=70..85^{\circ}\text{C}$ ,  $t=30$  хв, охолодження до  $5^{\circ}\text{C}$ ;
- 3) Гомогенізація суміші:  $P=70...150$  кПа;
- 4) Охолодження  $T=2..6^{\circ}\text{C}$ ; дозрівання  $t=2...24$  год.;
- 5) Фрезерування суміші: заморожування до  $T=-4...-6^{\circ}\text{C}$ , насичення повітрям  $90...120\%$ ;
- 6) Фасування;
- 7) Загартування морозива:  $T=-10...-18^{\circ}\text{C}$ , дозагартування 24-36 год.;
- 8) Упаковка і зберігання:  $T=-20...-24^{\circ}\text{C}$ ; до 12 міс.

Випробування органолептичних властивостей всіх зразків морозива проведено на кафедрі харчових технологій Національного університету «Чернігівська політехніка». Результати досліджень:

Дослідний зразок №1. Контрольний зразок має солодкий смак, без стороннього присмаку, з ніжним ароматом шоколаду. Колір коричневий. Консистенція однорідна, щільна, без грудочок льоду.

Дослідний зразок №2. Зразок з вмістом сирого кербу має також приємний солодкий смак, не нав'язливий, з ніжним ароматом, без стороннього запаху і присмаку. Колір світло-коричневий. Консистенція однорідна, щільна, без кристалів льоду.

Дослідний зразок №3. Зразок морозива з вмістом кербу слабкого обсмаження має кислувато-солодкий смак, зі стороннім запахом і присмаком, схожим на цикорій. Колір світло-коричневий, чистий. Консистенція однорідна, щільна, без кристалів льоду.

Дослідний зразок №4. Зразок морозива з вмістом кербу середнього обсмаження має кислуватий смак, з стороннім запахом і присмаком, схожим на цикорій. Колір коричневий рівномірний. Консистенція щільна, без кристалів льоду.



Рис. 2 – Результати досліджень напівфабрикату зразків морозива з кербом (до фрезерування та загартування): зліва направо – контроль (досл.зразок1), дослідний зразок 2 (з сирим кербом), дослідний зразок 3 (з кербом слабкого обсмаження), дослідний зразок 4 (з кербом середнього обсмаження).

Таким чином найбільш якісним з точки зору органолептики можна вважати дослідний зразок 2 зі вмістом саме сирого кербу. Начинки можуть значно поліпшити смакові властивості зразків надаючи їм специфічного запаху та смаку. Наведене рішення дозволяє отримати вироби не тільки десертного напрямку але й функціонального призначення з високим вмістом поживних речовин.

#### Список посилань

1. Сухенко Ю.Г., Поліщук Г.Є., Сарана В.В. Наукове і технічне забезпечення виробництва морозива [Монографія] / За ред. проф. Г.Є. Поліщука – К.: НУБіП України, 2019 – 299 с.
2. Прянишников В. В. Применение порошка плодов рожкового дерева керб для производства кондитерских изделий / В. В. Прянишников, Т. А. Банщикова // Хлібопекарське виробництво. – 2012. – №3. – С. 39-41.
3. Технологія морозива [Електронний ресурс].- Режим доступу: [https://eln.stu.cn.ua/pluginfile.php/318105/mod\\_resource/content/1.pdf](https://eln.stu.cn.ua/pluginfile.php/318105/mod_resource/content/1.pdf)

УДК 664.654.6:537.8

Легейда А.В., студентка

Денисова Н.М., канд. техн. наук, доцент

Національний університет «Чернігівська політехніка», legeydav58@gmail.com

## **МЕТОДИ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПРОЦЕСУ БРОДІННЯ ХЛІБОБУЛОЧНИХ НАПІВФАБРИКАТІВ. ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ**

Основними факторами, що впливають на якісні показники хлібобулочних виробів, є вид сировини та її якість, стан матеріально-технічної бази хлібопекарського підприємства, технологія виготовлення. Тому актуальності набуває питання підвищення якості продукції в умовах існуючих підприємств, без значних матеріальних вкладень в технологічну базу.

Для підвищення продуктивності праці та збільшення економічної ефективності виробництва, задля інтенсифікації технологічних процесів доцільно виключити або звести до мінімуму стадії бродіння напівфабрикатів, на які витрачається до 75% загального часу [1].

Для інтенсифікації процесів бродіння дріжджів можна використовувати найбільш відомий спосіб - попередня активація [1].

Також відомі наступні технологічні заходи:

- збільшення кількості дріжджів на заміс тіста;
- використання пресованих дріжджів разом з рідкими дріжджами (10-20 %);
- підкислення тіста завдяки мезофільним пшеничним закваскам (3-4 %), внесення органічних кислот, додавання частини тіста попереднього приготування, застосовування молочної сироватки;
- застосовування інтенсивного або подовженого замісу тіста;
- підвищення початкової температури бродіння тіста на 2-3° С.

Використовують також і фізичні методи інтенсифікації бродіння [1]:

- електрофізичне оброблення дріжджової суспензії,
- обробка низькими температурами; іонізуючим випромінюванням; ультрафіолетовими променями; струмом високої частоти (ВЧ) і надвисокої частоти (НВЧ); ультразвуком.
- внесення в тісто мінеральних солей, додавання дріжджевого плазмолізату;
- інтенсивна механічна дія на тісто.

Використання хімічних поліпшувачів супроводжується значними матеріальними тратами на сировину, веде до збільшення собівартості продукції, тому є необхідність у використанні більш дешевих способів інтенсифікації виробничих процесів.

В науковій літературі дещо обмежено представлення результатів досліджень щодо впливу електромагнітних випромінювань на сировину, напівфабрикати та готові хлібобулочні вироби. Ця ситуація пов'язана з відсутністю єдиної точки зору на механізм інактивації надвисокочастотного (НВЧ) випромінювання на мікроорганізми та рослини.

Існують гіпотези про винятково тепловий механізм дії НВЧ-опромінення на біологічні об'єкти та гіпотези, що крім теплових ефектів, при інактивації мікроорганізмів, має місце специфічний вплив НВЧ-випромінювання на компоненти клітин. Електромагнітне поле впливає на заряджені частинки і струми, внаслідок чого енергія поля на рівні клітини перетворюється в інші види енергії. Атоми і молекули в електричному полі поляризуються, полярні молекули орієнтуються за напрямком поширення магнітного поля. В електролітах, якими є рідкі складові тканин, після впливу зовнішнього поля виникають іонні струми [2].

У технології виробництва хлібопекарських дріжджів вивчено можливість застосування фізичних методів для інактивації процесів росту дріжджових клітин. Встановлено, що від частоти ЕМВ залежить прискорення або пригнічення росту і активності дріжджів [2].

На ефект від дії ЕМВ НВЧ впливають такі фактори як раса дріжджів, ступінь синхронізації культури, фаза клітинного циклу, температура, спосіб культивування та склад живильного середовища, тривалість опромінення, геомагнітний фон тощо [3].

Дріжджі можуть викликати спиртове бродіння цукрів в анаеробних умовах, тобто при недостатньому доступі повітря. *S. Cerevisiae* зброджують, в першу чергу, глюкозу, інші моно- і олігосахариди. Для дріжджів також характерний і аеробний метаболізм, тому при доступі повітря вуглеводи не зброджуються до спирту, а окислюються [8].

Ряд авторів, наприклад [4], спрямували свої дослідження на аналіз впливу електромагнітного випромінювання надвисокої частоти (ЕМВ НВЧ) на дріжджі *S. Cerevisiae*. Встановили, що генеративна активність дріжджів має значний ефект, що полягає у збільшенні біомаси і концентрації клітин на 30 % при опроміненні на частоті 41,76 ГГц з тривалістю опромінення - 10 хв. Дослідники відмітили більш ефективне використання дріжджами поживних речовин, прискорення процесів метаболізму та покращення складу основного продукту.

Інші дослідники, що визначали вплив ЕМВ НВЧ на ріст клітин дріжджів культури *S. Cerevisiae* [5] встановили смугу частот в діапазоні 50-90 ГГц, опромінення яким призводило до пригнічення росту клітин дріжджів. За результатами досліджень встановлено, що вплив ЕМВ частотою 60 ГГц, тривалістю експозиції 5-15 хв та наступного інкубування у термостаті упродовж 24 годин призвело до зменшення кількості колоній на 50-60 %. При збільшенні часу опромінення НВЧ хвилями відбувається збільшення кількості колоній дріжджів, що дає підстави стверджувати, що довготривала дія опромінення певної частоти на суспензію дріжджів може підвищувати ріст дріжджових клітин. Випромінювання за допомогою рупорної антени подавалось на дно пробірки з дріжджовою суспензією. Розрахункова щільність потужності становила 20-50 мкВт/см<sup>2</sup> [5], дослідна установка - «Ораторія-IV» з робочим діапазоном частот 40-65 ГГц, довжиною хвилі 1,6 - 2,5 мм.

Таким чином, вивчення впливу електромагнітних випромінювань радіочастотного діапазону на фізіолого-біохімічні характеристики мікроорганізмів є актуальним і має як теоретичне значення для виявлення механізму впливу ЕМВ на біологічні організми, так і практичне для використання набутих знань для збільшення продуктивності хлібобулочних виробництв.

#### Список посилань

1. Фізичні методи обробки харчових продуктів і сировини [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://infopedia.su/3x4f24.html>
2. Ніжельська О. І. Дія надвисокочастотного електромагнітного випромінювання на культури дріжджів *Saccharomyces cerevisiae*, бактерій *Escherichia coli* і водорості *Dunaliella viridis*: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. біол. наук.: спец. 03.00.02 “Біофізика” / О. І. Ніжельська. – Київ, 2008. – 20 с.
3. Модифікаційний вплив низькоінтенсивних електромагнітних хвиль міліметрового діапазону на клітини *in vitro*, опромінюваних іонізуючою радіацією / [Лавренчук Г. Й., Бундюк Л. С., Чоботько Г. М., Гурандо Г. М.] // Фізика живого. – 2007. – №1. – С. 113-124.
4. Вплив електромагнітного випромінювання на накопичення біомаси і побічних продуктів бродіння опроміненими дріжджами/ Науково-технічні розробки та інноваційні технології Навчально-наукового інституту харчових технологій // Київ. – 2017. – С. 35-37.
5. Маринченко Л. В. Стимуляція накопичення біомаси та бродильної активності культури дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* за допомогою надвисокочастотного електромагнітного випромінювання / Маринченко Л. В., Ніжельська О. І., Маринченко В. О. // Наукові вісті НТУУ “КПІ”. – 2011. – №3. – С. 68-73.



УДК [664.6:613.24]664.644

Курочка А.М., студентка

Денисова Н.М., канд. техн. наук, доцент

Національний університет «Чернігівська політехніка», nastiyakuro@gmail.com

## ЗАСТОСУВАННЯ ГАРБУЗОВОГО ШРОТУ ТА СТЕВІАЗОЇДУ В ТЕХНОЛОГІЇ ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ ОЗДОРОВЧОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Наукове обґрунтування, розроблення і впровадження технологій хлібобулочних виробів задля збереження здоров'я населення, збільшення тривалості та підвищення якості життя, з використанням функціональних інгредієнтів природного походження є актуальним питанням наукового співтовариства в галузі харчових технологій. Перспективним, з цього погляду, є використання гарбузового шроту та підсолоджувачів природного походження (екстракт стевії) в технології хлібобулочних виробництв.

Шрот гарбузового насіння містить 32–55 % білка (до 40 % сирого протеїну) і до 38 % клітковини [1]. Білковий склад шроту гарбузового насіння характеризується високим вмістом замісних і незамінних амінокислот: аргінін, валін, глутамін, лізин, ізолейцин. В хімічному складі гарбузового шроту виділяють: пектин; амінокислоти; насичені жирні кислоти (арахінова, бегенова, пальмітинова, стеаринова, міристинова; ненасичені жирні кислоти (олеїнова, ліноленова, лінолева, арахідонова, Омега-6, Омега-3); фітостероли; вітаміни (особливо велика кількість вітаміну РР. В 100 г. сушеного насіння - 170% від денної норми); мінеральні солі; харчові волокна [1].

З технологічної точки зору шрот має ряд переваг: він має високий ступінь гідратації, його можна використовувати в різних кількостях і комбінаціях в складі харчових композицій. Крім цього, шрот має ряд переваг перед вихідною сировиною: займаючи в 4–5 разів менший об'єм, що дозволяє отримати суттєву економію завдяки скороченню виробничих площ і витрат на зберігання.

Стевія – єдиний цукрозамінник, який настільки солодкий, що його можна порівняти із синтетичним. Стевіозід (екстракт стевії) нетоксичний, добре розчиняється в воді й практично не розчипляється в організмі. Стевіозид – натуральний підсолоджувач, який відноситься до підсолоджувачів інтенсивного типу, компонентами якого являються – глікозиди, свіозид, ребаудиозид, дулкозид. Крім того, стевіозід містить 17 видів амінокислот, вітаміни А, В, С, Е, К, хлорофіл та мікроелементи: ферум, калій, кальцій, магній та інші [2].

Для проведення експериментальних досліджень розраховано рецептуру дослідних зразків на основі уніфікованої для батона домашнього. Дослідні зразки – 1- контрольний з цукром, 2- зі шротом та стевіазоїдом (5% від маси борошна), 3- зі шротом стевіазоїдом (10% від маси борошна), 4- зі шротом стевіазоїдом (15% від маси борошна).

Тісто готується безопарним прискореним способом з використанням мезофільних молочнокислих заквасок. Їх дозували в кількості 8% до маси борошна в тісті. Вологість мезофільних молочнокислих заквасок 65%. Дріжджі дозуються у вигляді дріжджової суспензії, яка готується у співвідношенні 1:3. Цукор готується 50% концентрації. Сольовий розчин 26% концентрації. Шрот гарбузового насіння та стевіозід дозується після додавання закваски для дослідних зразків 2, 3, 4.

Тістові заготовки вологістю  $43 \pm 0,5\%$  із температурою  $29 \pm 1^\circ\text{C}$  формували вручну. Тривалість випікання становить 20 хвилин за температури  $200\text{--}220^\circ\text{C}$ .

В результаті проведеного пробного випікання за розробленими рецептурами отримано зразки, зовнішній вигляд яких наведено на рис. 1.

Отримані данні свідчать про те, що використання стевіозоїду незначно впливає на формостійкість зразків. Колір м'якушки зразків практично однаковий – насиченого жовто-зеленого кольору. Пористість м'якушки не достатньо розвинена.

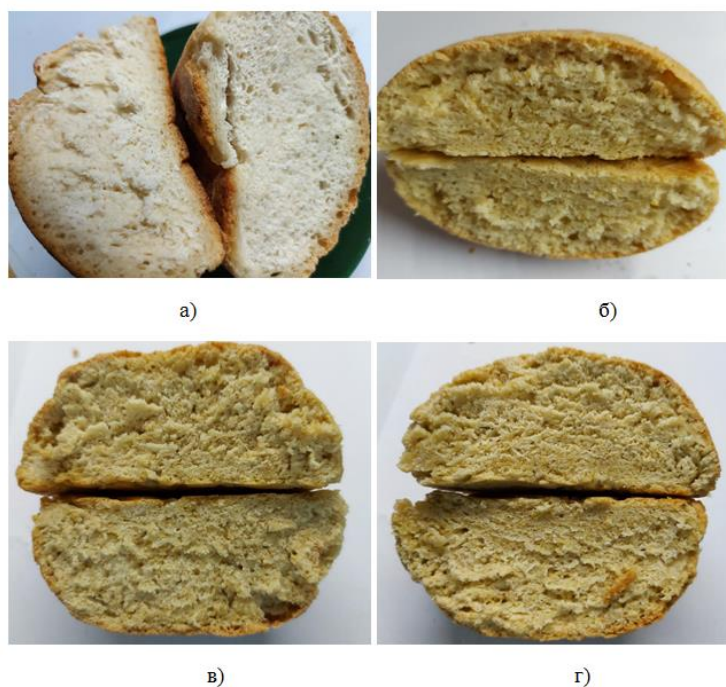


Рис. 1 – Зовнішній вигляд дослідних зразків: а – дослідний зразок 1 (контроль), б - дослідний зразок 2, в - дослідний зразок 3, г - дослідний зразок 4.

Результати досліджень щодо органолептичної оцінки за методикою [3] отриманих дослідних зразків, представлено в табл.1. Встановлено, що смак та аромат трав'яний - присутній у всіх зразках. Найбільш смачним виявився зразок з 10% вмістом шроту гарбузачого насіння (рис. 1 в).

Таблиця 1 – Показники якості готових виробів з додаванням шроту гарбузового насіння

| Показники             | Дослідний зразок 1                  | Дослідний зразок 2                   | Дослідний зразок 3                   | Дослідний зразок 4                           |
|-----------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------|
| Колір і стан поверхні | Світло-коричневий, без підгорілості | Світло-коричневий без підгорілості   | Світло-жовтий без підгорілості       | Світло-коричневий без підгорілості є підриви |
| Колір і стан м'якушки | Світлий/пориста                     | Світлий/слабопориста                 | Світлий/найбільша пористість         | Світлий/слабопориста                         |
| Смак                  | Властивий батону смак і аромат      | Приємний, відчувається нотки добавки | Приємний, відчувається нотки добавки | Неприємний, сильно відчувається добавка      |
| Запах                 | Без стороннього запаху              | Слабо трав'яний, приємний аромат     | Слабо трав'яний, приємний аромат     | Сильно трав'яний, приємний аромат            |

Таким чином, виявлено, що оптимальним з органолептичної точки зору для цього комплексу досліджень, є зразок номер 3, що має 10 відсотковий вміст шроту гарбузового насіння. Подальші дослідження повинні бути спрямовані на визначення якісних структурно-механічних показників дослідних зразків та розробку рецептури та обладнання для виробництва хлібобулочних виробів оздоровчого призначення.

#### Список посилань

1. Любич В.В., Железна В.В. Гарбуз – цінна сировина для збагачення хлібобулочних виробів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://confer.uesr.sops.gov.ua/uesr2019/paper/view/18355/10220>
2. Калакура М. Цукрозамінники та підсолоджувачі у кондитерських výroбах М. Калакура, В. Дорошович // Хлібопекарська і кондитерська промисловість України. – 2007. - № 4. – с. 12-13

3. Методи контролю якості харчової продукції : навчальний посібник / [О.І. Черевко, Л.М. Крайнюк, Л.О. Касілова та ін.]; за заг. ред. Л.М. Крайнюк; Харківський державний університет харчування та торгівлі, СНАУ: Університетська книга, 2015 – 512с.

УДК 621.327

Семенов А.О., канд. фіз.-мат. наук, доцент  
Скрипник В.О., докт. техн. наук, професор

Полтавський державний аграрний університет, anatolii.semenov@pdaa.edu.ua

### **МЕТОДИКА ІНАКТИВАЦІЇ БАКТЕРІЙ ПОРОШКОВИХ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ОПТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ УЛЬТРАФІОЛЕТОВОГО ДІАПАЗОНУ**

В даний час існування різних методів і способів знезараження сипучих харчових продуктів та порошкових матеріалів медичного призначення дозволяють повною мірою досягти позитивних результатів при знищенні бактерій та іншої мікрофлори [1].

Серед існуючих підходів фізичні методи знезараження порошкових матеріалів можуть бути ефективними порівняно з хімічними або біологічними методами, які характеризуються рядом негативних факторів [2]: приводять до зміни фізико-хімічних та біологічних властивостей об'єктів. Фізичні методи знезараження мають переваги порівняно з іншими методами [3]: безпечність для здоров'я, оскільки фізичні методи не використовують хімічні речовини; збереження поживних речовин при високотемпературній або ультразвуковій обробці; ефективність при знищенні бактерії та інших мікроорганізмів; зниження витрат, оскільки можуть бути застосовані безпосередньо в процесі виробництва (ультразвукова обробка та високочастотне електричне поле); відсутність залишкових хімічних речовин у продуктах.

Однак, вибір методу знезараження повинен бути зроблений з урахуванням характеристик та властивостей об'єкта, технології виробництва, вартості та ефективності методу знезараження. Деякі фізичні методи можуть мати обмеження в застосуванні, наприклад, високотемпературна обробка може знизити якість продукту із-за термодеструкції, а ультразвукова обробка може бути менш ефективною для знезараження продуктів з високим вмістом жирів або цукрів. Оцінка реальної небезпеки такого роду змін надзвичайно важка і далеко не завжди достовірна.

Важливо зазначити, що фізичні методи знезараження не завжди можуть забезпечити повну інактивацію мікроорганізмів, тому деякі продукти можуть потребувати додаткових заходів.

Ефективний напрям вирішення існуючої проблеми – використання ультрафіолетового випромінювання з довжиною хвиль 253,7 нм, що має бактерицидну дію і забезпечує ефективну інактивацію мікроорганізмів [1, 2]. При ультрафіолетовому опроміненні частинок обробляється тільки найтонший поверхневий шар, основна ж маса речовини не піддається впливу і, відповідно, не змінює своїх властивостей. Крім того, УФ-випромінювання на відміну від хімічного знезараження не погіршує смакові властивості та біологічну цінність продукту при перевищенні дози опромінення. У цьому й полягають переваги УФ-обробки в порівнянні з іншими методами знезараження [2].

Для вирішення питання бактерицидного знезараження сипучих харчових продуктів з розміром частинок шляхом ультрафіолетового опромінення запропоновано спосіб, при якому опромінення білкової маси з розміром частинок  $5\div 28$  мкм здійснюється під час їх вільного падіння під дією сили тяжіння.

Для забезпечення дози  $H$ , необхідної для інактивації бактерій та мікроорганізмів, висоту опромінювальної камери  $h$  та опроміненість  $E$  на поверхні частинок, що падають вибираємо із умови:

$$H \leq K \cdot E \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad (1)$$

де  $g$  – прискорення вільного падіння,  $\text{м/с}^2$ ;

$E$  – опроміненість на поверхні частинок,  $\text{Вт/м}^2$ ;

$h$  – висота опромінювальної камери,  $\text{м}$ ;

$K$  – коефіцієнт запасу.

Введення у формулу коефіцієнта запасу  $K$  дає можливість врахувати зниження опроміненості частинок, які знаходяться у внутрішній частині при падінні у результаті поглинання УФ-потoku. Таким, чином враховується багаторазове відбивання від поверхонь частинок у зовнішньому шарі.

Рівномірність і густина потоку падаючих частинок забезпечується шляхом дозованої подачі на сито і просіюванням над камерою опромінення. Дозу інактивації бактерій вибираємо з умов, змінюючи висоту камери  $h$  (час перебування частинок в зоні опромінення), величину опроміненості  $E$  (кількість ультрафіолетових ламп, їх просторове розміщення у камері, потужність та коефіцієнта відбивання поверхні камери) та густину потоку падаючих частинок.

Для забезпечення оптимізації технологічного процесу та вирішення поставленої задачі нами проведені необхідні розрахунки бактерицидної дози опромінення в залежності від видів мікроорганізмів та їх чутливості до УФ-випромінювання, при цьому нами враховувались наступні параметри: розміри частинок і час перебування порошкової маси в камері опромінення.

Частинки, розмір яких не більше ніж декілька десятків мікрон, рухаються в камері опромінення під дією сили вільного падіння. Враховуючи розміри частинок і опір повітря в камері опромінення, проведені нами розрахунки показали, що в зоні опромінення частинки порошкової маси перебувають не менше однієї секунди. Враховуючи час падіння частинок у камері, нами були проведені розрахунки необхідної мінімальної дози опроміненості (з врахуванням стійкості мікроорганізмів до УФ-випромінювання) [1, 2]. Пропонуємо розміри камери установки вибирати із умов, при яких мінімальна опроміненість  $E_{\min}$  для найменш опромінювальних ділянок камери була б достатньою для створення поверхневої дози  $H_s$ , необхідної для інактивації мікроорганізмів. **Ошибка! Закладка не определена.** Інші ділянки будуть отримувати «надлишкове» опромінення, що тільки підвищує надійність знезараження. Важливим чинником є те, що передозування при УФ-опромінюванні не впливає на біологічні параметри кінцевого продукту [2].

У результаті ультрафіолетового опромінення з використанням описаного вище способу отримані наступні результати інактивації при 100% контролі виробництва протягом 2 міс.: бактерії групи кишкової палички (БГКП) в 0,1 г продукту не виявлено, при нормуючому значенні – не допускається; мезофільні аеробні і факультативно анаеробні мікроорганізми МАФАНМ колонієутворюючих одиниць (КУО) в 1 г продукту – (від 1,1 до 3,5)х104 КУО/г, при нормуючому значенні – 5,0х104 КУО/г.

Мікробіологічні дослідження підтвердили результати розрахунків та ефективність бактерицидного знезараження з використанням ультрафіолетового випромінювання при запропонованому методі інактивації бактерій в порошкових продуктах з розміром частинок до 28 мкм залежно від різних технічних параметрів.

#### Список посилань

1. Semenov A. Ultraviolet disinfection of activated carbon from microbiological contamination. / Semenov A., Hmelnitska Y. //Archives of Materials Science and Engineering. – 2022. – Vol. 115, № 1. – P. 34–41.
2. Семенов А. О. Ультрафіолет: сфери використання та джерела випромінювання: монографія / Семенов А. О., Попов С. В., Сахно Т. В., Тарасенко Д.С. – Полтава: ПП «Астрая», 2023. – 190 с.

3. Physical Methods for Cleaning and Disinfection of Surfaces. / [Otto C., Zahn S., Rost F., Zahn P., Jaros D., Rohm H.] // Food Engineering Reviews. – 2011. – Vol. 3, № 3. – P. 171–188.

УДК 678.456.93.76

**Савченко Б.М.,** докт. техн. наук, професор

**Слєпцов О.О.,** канд. техн. наук

**Савчук Б.П.,** аспірант

**Трашутін Є.І.,** студент

Київський національний університет технологій та дизайну, savchuk.bp@knuutd.edu.ua

## **ВТОРИННА ПЕРЕРОБКА БІОРОЗКЛАДНИХ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Однією з основних глобальних екологічних проблем є проблема великого накопичення полімерних відходів. Дані відходи зосереджені як у землі та водоймах, так і у повітрі у вигляді так званого мікропластику – мікроскопічні частинки полімерів, що утворюються в результаті дії зовнішніх факторів на полімерні відходи. Наприклад, поліетиленова упаковка під дією ультрафіолетового випромінювання та інших зовнішніх факторів, таких як енергія морських хвиль піддається фотодеструкції та подальшому фрагментуванню, що призводить до утворення мікропластику. Таким чином, мікроскопічні частинки полімерних відходів опиняються у верхніх шарах ґрунту та водоймах (океани, моря, озера) та потрапляють в раціон живих організмів.

Найбільш оптимальним та економним з точки зору ресурсозбереження шляхом вирішення проблеми забруднення пластиками є рециклінг, оскільки даний метод полягає у повторному використанні сировини [1]. Ще одним досить поширеним шляхом вирішення даної проблеми є перехід з традиційних полімерів на біополімери.

Основною проблемою вторинної переробки біополімерів, зокрема РВАТ, є те, що вони в більшості випадків є наповненими крохмалем (в середньому 20-30%), що призводить до підвищеного поглинання вологи і значно ускладнює їх переробку [2].

З точки зору циклічної економіки, більш економічно доцільним шляхом вирішення проблеми накопичення відходів біополімерів, ніж їх захоронення та компостування є рециклінг. Однак, на сьогоднішній день відсутня загальноприйнята технологія вторинної переробки біополімерів. Технологічний процес рециклінгу біопластиків перебуває на стадії розробки та зазнає постійних змін. Характеристики вторинних біополімерів та вплив рециклінгу на їх фізико-механічні, реологічні та експлуатаційні властивості є мало дослідженими. Це пов'язано з тим, що раніше не було достатньої кількості технологічних та побутових відходів біополімерів для промислового процесу рециклінгу. Внаслідок популяризації виробів з біопластиків та заміни ними виробів з традиційних полімерів, проблема вторинної переробки біополімерів буде продовжувати загострюватись. Вторинна переробка біополімерів є актуальною та доцільною, особливо в реаліях України, при відсутності промислового компостування. Також, вартість найбільш поширених в Україні біополімерів (PLA та РВАТ) є значно вищою, ніж вартість традиційних полімерів, що робить їх вторинну переробку ще більш актуальною.

### **Список посилань**

1. J.B. Van Beilen, Y. Poirier, Production of renewable polymers from crop plants, Plant J. 54 (4) (2008) 684 - 701.
2. T.M. Letcher, Plastic Waste and Recycling: Environmental Impact, Societal Issues, Prevention, and Solutions, 2020.

УДК 691.175.743

Савченко Б.М., докт. техн. наук, професор

Сова Н.В., докт. техн. наук, доцент

Савчук А.П., аспірант

Лімаз Я.Є., студент

Київський національний університет технологій та дизайну, Andriy.pvh@gmail.com

## ЦИКЛІЧНА ВТОРИННА ПЕРЕРОБКА ПОЛІВІНІЛХЛОРИДУ

Полівінілхлорид (ПВХ) є одним із найбільш часто використовуваних термопластичних матеріалів щодо споживання полімерів у всьому світі. На світовому рівні попит на ПВХ займає друге місце після поліетилену як лідер за обсягами виробництва пластмас. Завдяки особливим властивостям, притаманним ПВХ, тобто його низькій вартості та високим характеристикам, у поєднанні з широким спектром продуктів, які можуть бути отримані за різних умов і технологій обробки, ПВХ став універсальним та незамінним полімером. В даний час ПВХ можна переробляти в широкий спектр продуктів короткого терміну служби, таких як пакувальні матеріали з ПВХ, які використовуються в харчових продуктах, миючих матеріалах, текстилі, пляшках для упаковки напоїв і медичних пристроях, а також у виробі тривалого терміну служби, таких як труби, віконні рами, ізоляція кабелів, підлогові покриття, покрівельні листи тощо [1].

Останніми роками питання утилізації відходів ПВХ набуває все більшого значення в громадській дискусії, що є наслідком стрімкого зростання відходів ПВХ [2]. Крім того, незважаючи на те, що довговічні вироби з ПВХ мають тривалий термін служби і існує тривалий проміжок часу між споживанням ПВХ і накопиченням відходів ПВХ, вони остаточно стануть відходами в певний момент існування. У результаті кількість використаних виробів з ПВХ, які потрапляють у потік відходів, поступово збільшується, оскільки все більша кількість таких виробів з ПВХ наближається до кінця свого економічного терміну експлуатації [1, 3, 4]. Простий спосіб утилізації ПВХ-відходів, тобто захоронення, стає дорожчим, і в багатьох країнах цей метод утилізації більше не прийнятний через збільшення споживання, зменшення доступних ділянок для звалищ та потенційну небезпеку для навколишнього середовища, пов'язану з вмістом хлору у відходах. Хоча все ще у багатьох країнах, що розвиваються, діючою нормою є відправка пластикових відходів на звалище [1]. Спалювання відходів ПВХ разом з іншими твердими побутовими відходами створює значну кількість викидів вуглекислого газу та утворення інших небезпечних речовин для навколишнього середовища. Більш відповідним шляхом, який може відновити енергію та/або матеріальний вміст цих матеріалів, без особливих екологічних проблем, є переробка. Повторна переробка ПВХ є шляхом вирішення утилізації відходів. Проте методи переробки на сьогодні не є досконалими і лише дуже мала частина відходів ПВХ зараз переробляється у світі [1, 4]. Створення методології повторної циклічної переробки та сталої інфраструктури дозволить зробити виробництво ПВХ безвідходним. Цього результату можна досягнути шляхом належної модифікації ПВХ на етапі виробництва та подальшої повторної циклічної переробки.

### Список посилань

1. Stocks and flows of polyvinyl chloride (PVC) in China: 1980-2050 [Text] / Y. Liu, C. Zhou, F. Li [et al.] // Resources, Conservation and Recycling. – 2020. – V. 154: 104584.
2. Firat, B. Selective separation of virgin and post-consumer polymers (PET and PVC) by flotation method [Text] / B. Firat, G. Ali, K. M. Olgaç // Waste Management. – 2009. – V. 29. – P. 1807–1813.
3. Analyzing polyvinyl chloride in Japan with the waste input– output material flow analysis model [Text] / N. Shinichiro, N. Kenichi, Y. Yoshie [et al.] // Journal of Industrial Ecology. – 2009. – V. 13(5). – P. 706–717.



УДК 677.055

**Рубанка М.М., канд. техн. наук, доцент**

Київський національний університет технологій та дизайну, nikolayrubanka@ukr.net

**Поліщук О.С., докт. техн. наук, професор**

Хмельницький національний університет, opolishchuk71@gmail.com

**Демішонкова С.А., канд. техн. наук, доцент**

Київський національний університет технологій та дизайну, mashuk2007@ukr.net

## **ЗНИЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПРИВОДУ РУКАВИЧНОГО АВТОМАТА**

Специфікою роботи рукавичних автоматів є значні динамічні навантаження, що виникають під час зворотно-поступального руху проміжної та в'язальної кареток. Дослідження [1-3] показують, що динамічні навантаження суттєво впливають як на довговічність роботи рукавичного автомата, так і на якість продукції, що випускається. Проблема зниження динамічних навантажень в рукавичних автоматах й надалі лишається актуальною. При проектуванні даного виду обладнання, в першу чергу, слід приділяти увагу зниженню динамічних навантажень в приводі [4].

Авторами пропонується нова конструкція приводу рукавичного автомата [5], який містить електродвигун та в'язальну каретку, кінематично зв'язані між собою, дві пружини стиску, встановлені по різні боки в'язальної каретки, дві втулки з зовнішньою та внутрішньою різьбами, кожна з яких нагвинчена на пружину стиску, та дві нерухомі гайки, в кожную з яких загвинчена втулка, додатково обладнаного двома зубчастими передачами з зубчастими колесами, зубчасте колесо кожної з яких виконано заодно ціле з втулкою, валом з двома шестернями, кінематично з'єднаними з зубчастими колесами, та двома упорами, розташованими по різні боки в'язальної каретки з можливістю притискання до пружин стиску, причому гайки жорстко з'єднані з в'язальною кареткою, одна з втулок має обидві праві різьби, а друга ліві.

Обладнання приводу рукавичного автомата двома зубчастими передачами, зубчасте колесо кожної з яких виконано заодно ціле з втулкою, валом з двома шестернями, кінематично з'єднаними з зубчастими колесами, та двома упорами, розташованими по різні боки в'язальної каретки з можливістю притискання до пружин стиску, причому гайки жорстко з'єднані з в'язальною кареткою, одна з втулок має обидві праві різьби, а друга ліві, дозволяє при зміні режиму роботи рукавичного автомата здійснювати синхронне регулювання жорсткості пружин стиску, що практично повністю ліквідовує динамічні навантаження привода, зумовлені зворотно-поступальним рухом кареток, і, таким чином, забезпечує підвищення довговічності роботи привода рукавичного автомата.

На рис. 1 представлено кінематичну схему приводу рукавичного автомата. При вмиканні електродвигуна 1 його рух за допомогою клинопасових передач 2, 4 і редуктора 3 передається ведучій зірочці 5. Обертання ведучої зірочки надає рух тяговому ланцюгу 7 і веденій зірочці 6. Жорстко закріплений на тяговому ланцюзі палець 8 приводить в рух проміжну каретку 9, що рухається по напрямній 10. Проміжна каретка 9 з'єднана з в'язальною кареткою 11 і приводить її в зворотно поступальний рух по напрямним 12. У момент часу, коли палець 8 переходить із прямолінійної на криволінійну ділянку тягового ланцюга, що характеризує сповільнення руху проміжної та в'язальної кареток, пружина стиску 13 (14) вступає у взаємодію відповідно з упором 27 (28). Сили інерції, обумовлені сповільненням руху кареток, стискають пружину стиску 13 (14), накопичуючи в ній енергію. При виведенні кареток зі стану спокою й до моменту досягнення сталого режиму їх руху пружина стиску 13 (14) віддає накопичену енергію, переборюючи сили інерції мас кареток, що розганяються. При зміні режиму роботи рукавичного автомата, з метою досягнення максимального ефекту зниження динамічних навантажень, пружини стиску 13,

14 обладнані пристроями 15, 16 регулювання їх жорсткості. Жорсткість пружин стиску 13, 14 змінюється шляхом зміни їх числа витків, що беруть участь у роботі, не замінюючи самих пружин стиску.

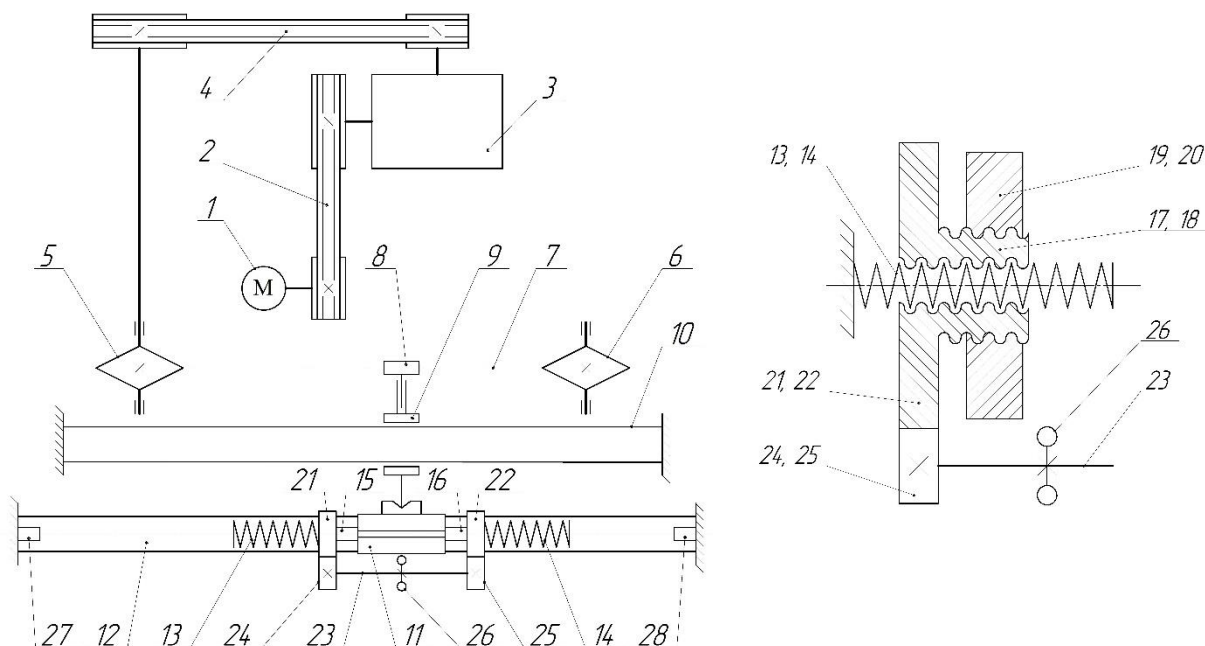


Рис. 1 – Кінематична схема приводу рукавичного автомата: 1 – електродвигун; 2, 4 – клинопові передачі; 3 – редуктор; 5 – ведуча зірочка ланцюгової передачі; 6 – ведена зірочка ланцюгової передачі; 7 – тяговий ланцюг; 8 – палець; 9 – проміжна каретка; 10, 12 – напрямні; 11 – в'язальна каретка; 13, 14 – пружини стиску; 15, 16 – пристрої регулювання жорсткості пружин стиску; 17, 18 – втулки; 19, 20 – нерухомі гайки; 21, 22 – зубчасті колеса; 23 – вал; 24, 25 – шестерні; 26 – маховик; 27, 28 – упори

Процес регулювання жорсткості пружин стиску здійснюється наступним чином. Поворотом маховика 26 і шестерень 24, 25, зв'язаних з ним за допомогою вала 23, приводять в обертання зубчасті колеса 21, 22 та втулки 17, 18. При цьому зовнішньою різьбою втулки 17, 18 вгвинчуються в гайки 19, 20, прикріплені нерухомо до в'язальної каретки 11. Одночасно витками внутрішньої різьби втулки жорстко фіксують декілька витків пружин стиску. Для зміни жорсткості пружин стиску достатньо вкрутити втулки 17, 18 в гайки 19, 20 на необхідну величину чи викрутити їх.

### Список посилань

1. Чабан В.В. Приводи в'язальних машин / В.В. Чабан, Б.Ф. Піпа, О.В. Чабан. – К. : КНУТД, 2016. – 452 с.
2. Піпа Б.Ф. Динаміка круглов'язальних машин : монографія / Б.Ф. Піпа, О.М. Хомяк, Г.І. Павленко. – К. : КНУТД, 2005. – 293 с.
3. Хомяк О.М. Динаміка плосков'язальних машин та автоматів : монографія / О.М. Хомяк. – К: КНУТД, 2008. – 250 с.
4. Піпа Б. Ф. Зниження динамічних навантажень приводу рукавичного автомата / Б. Ф. Піпа, О. В. Чабан, С. В. Музичишин // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2015. – № 3 (86) : Серія "Технічні науки". – С. 35-42.
5. Пат. 116986 Україна, МПК D04B 15/16 (2006.01). Привід рукавичного автомата / Б. Ф. Піпа, М. М. Рубанка ; власник Київський національний університет технологій та дизайну. – № u201613552 ; заявл. 29.12.2016 ; опублік. 12.06.2017, Бюл. № 11. – 2 с.

УДК 658.589:687.052

**Рубанка М.М., канд. техн. наук, доцент**

Київський національний університет технологій та дизайну, nikolayrubanka@ukr.net

**Поліщук О.С., докт. техн. наук, професор**

Хмельницький національний університет, opolishchuk71@gmail.com

**Рубанка А.І., канд. техн. наук, доцент**

Київський національний університет технологій та дизайну, rubanka.ai@knu.edu.ua

## **СУЧАСНИЙ СТАН ОБЛАДНАННЯ РОЗКРІЙНОГО ЦЕХУ ШВЕЙНОГО ПІДПРИЄМСТВА**

Результатом роботи сучасного швейного підприємства є виготовлення високоякісних виробів для задоволення потреб населення. Для того, щоб підприємство було конкурентоспроможне та прибуткове, його технологічний процес виготовлення продукції має бути енергоефективним, високотехнологічним, ресурсозаощадливим, а готові вироби належної (високої) якості [1]. Все це можливо при умові використання сучасного парку обладнання в кожному із наявних цехів виробництва. Практично щорічно відбуваються виставки різних рівнів, на яких демонструються сучасні розробки обладнання галузі вітчизняних та зарубіжних виробників.

Сучасне підприємство, що прагне постійно розвиватись на всіх рівнях, має крокувати в ногу з технічним прогресом та систематично (при виробничій необхідності) оновлювати парк свого обладнання. Саме такий раціональний підхід до господарювання дозволить швейним підприємствам розвиватись, збільшити виробничі потужності, зміцнити лідерські позиції тощо.

Збільшення асортименту швейних виробів, поява нових матеріалів, швидкість змінюваності моделей, методів обробки тощо зумовлює необхідність системного пошуку раціональних та ефективних рішень технологічного процесу виготовлення, в тому числі за рахунок впровадження сучасного інноваційного обладнання [1].

Основними завданнями розкрійного виробництва швейного підприємства є розкрій матеріалів, дублювання матеріалів верху та ритмічне забезпечення кроєм швейного цеху [2].

До типового обладнання розкрійного цеху швейного виробництва можна віднести:

- обладнання для настилання матеріалу;
- обладнання для розкрою матеріалу;
- обладнання для специфічних умов виробництва;
- обладнання для маркування та нумерації частин крою;
- обладнання для вирубування деталей крою;
- обладнання для дублювання матеріалу крою;
- обладнання для альтернативних способів розкрою матеріалу.

Поряд із існуючими механічними способами розкрою швейних матеріалів мають місце альтернативні [2]:

- безконтактний променем лазера;
- електроіскровий;
- плазмовий.

Узагальнену класифікаційну схему типового обладнання розкрійного цеху швейного виробництва представлено на рис. 1.

Варто зазначити, що у розкрійному цеху швейного виробництва в ході виконання ряду технологічних процесів утворюється ціла низка різноманітних відходів, які в подальшому можна переробити та використати в якості вторинної сировини [3-5].

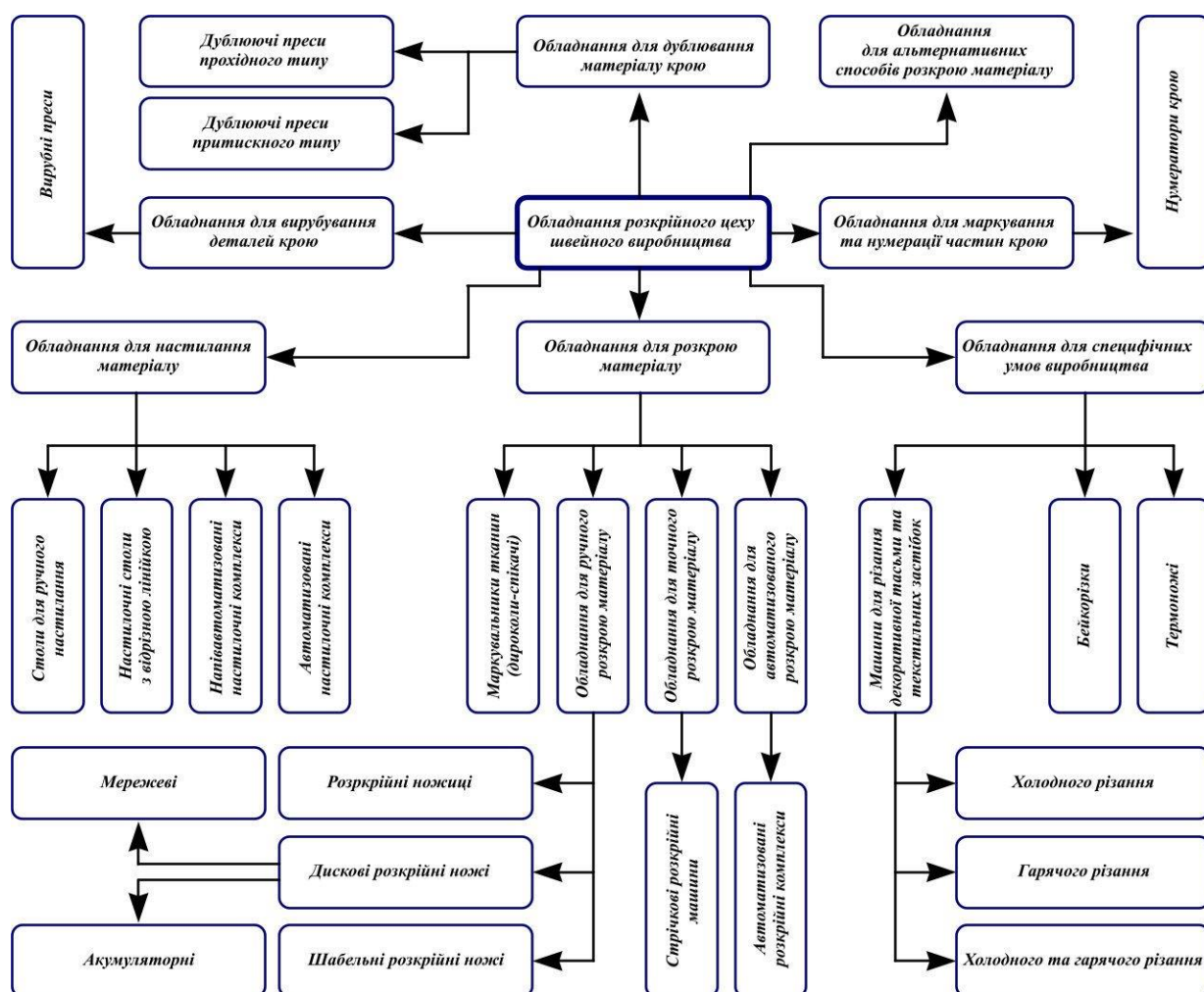


Рис. 1 – Узагальнена класифікаційна схема типового обладнання розкрійного цеху швейного виробництва

### Список посилань

1. Інноваційні технології при виготовленні швейних виробів: обладнання розкрійного виробництва / М. М. Рубанка, В. М. Дворжак, А. І. Рубанка, О. С. Поліщук, С. Л. Горященко // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2022. – № 6, Т. 1 (315). – С. 188-197.
2. Основи технологій експериментального та підготовчо-розкрійного виробництв: навч. посіб. / С. М. Березненко, О. І. Водзінська, Л. Б. Білоцька, С. В. Донченко. — К. : КНУТД, 2017. — 171 с.
3. Рубанка М. М. Способи переробки і області подальшого використання відходів матеріалів швейної промисловості / М. М. Рубанка // Легка промисловість. - 2017. - № 2. - С. 48-55.
4. The use of zero waste principle in the design of modern clothes / K. Pashkevich, K. Khurana, A. Veklich, D. Petrosyan // Актуальні проблеми сучасного дизайну : збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції (23 квітня 2020 р., м. Київ) : В 2-х т. – Т. 2. – Київ : КНУТД, 2020. – С. 249-252.
5. Рубанка А. І. Екологічні технології при використанні матеріалів для фешн-індустрії / А. І. Рубанка, В. А. Барна, Т. В. Луцкер // Молодь - науці і виробництву - 2020: Інноваційні технології легкої промисловості : матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених, м. Херсон, 14-15 травня 2020 року. – Херсон : ХНТУ, 2020. – С. 59-60.

УДК 691.175.2

Савченко Б. М., докт. техн. наук, професор

Слєпцов О.О., канд. техн. наук

Пушкарьов Д. В., аспірант

Василенко В.М., студент

Київський національний університет технологій та дизайну, global23412@gmail.com

## ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ 3D ДРУКУ НА ТЕПЛОПРОВІДНІСТЬ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ

Теплопровідні матеріали на основі полімерів, з'являються через підвищення вимог до відведення тепла, що виділяється сучасними електронними пристроями [1]. Завдяки чудовій стійкості до корозії, легкій вазі та низькій вартості теплопровідний пластик має потенціал для заміни традиційних металевих матеріалів у сфері світлодіодних пристроїв і теплообмінного обладнання. Полімери, як правило, є теплоізолятори, і зазвичай мають теплопровідність порядку  $0,2 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$  [2]. Дослідження передових теплопровідних матеріалів часто зосереджуються на розробці полімерних композитів, у яких наповнювачами виступають металеві, керамічні частинки або матеріали на основі вуглецю[3]. Теплопровідність таких полімерних композитів буде залежати від характеристик наповнювача його вмісту в композиті, складу та морфології, а також від взаємодії наповнювача з полімером, а саме розподілу та орієнтації у просторі частинок наповнювача в полімерній матриці. Такі полімерні композити отримують різноманітними способами екструзією, литтям під тиском, видувним формуванням, 3D друком. Останнім часом, 3D-друк починає використовуватися все частіше для отримання теплопровідних полімерних матеріалів на додаток до традиційних методів обробки [4]. 3D-друк забезпечує створення структур, які недосяжні традиційними методами обробки термопластів. Незважаючи на те, що 3D-друк використовувався в багатьох сферах, було проведено відносно мало досліджень щодо впливу параметрів друку, зокрема орієнтації друку, на теплопровідні властивості отриманих полімерних композитних виробів. Тому важливим аспектом є дослідження впливу орієнтації 3D друку на теплопровідні властивості композитів.

На теплопровідність виробів з полімерних композитів, отриманих методом 3D друку може впливати орієнтація нанесених шарів нитки та орієнтація напрямку наповнювача в нитці. Орієнтація шарів може відбуватися у двох вимірах - горизонтальному (в площині друку) та вертикальному (в напрямку друку). У багатьох випадках, коли друкується шар за шаром, вертикальна орієнтація може мати значний вплив на теплопровідність. При вертикальній орієнтації шари можуть бути більш герметично ущільненими, що забезпечує кращу теплопровідність через матеріал. Однак, це залежить від властивостей конкретного полімеру та параметрів друку. Орієнтація частинок наповнювачів в композитних матеріалах також впливає на теплопровідність. Наповнювачі, такі як волокна мають анізотропні властивості і їх орієнтація в полімері може змінювати шлях теплопередачі через матеріал. Відповідно, орієнтація наповнювачів може змінювати загальну теплопровідність композитного матеріалу.

### Список посилань

1. Processing, thermal conductivity and flame retardant properties of silicone rubber filled with different geometries of thermally conductive fillers: A comparative study [Text] / Y. T. Li, W. J. Liu, F. X. Shen, [et al.] // Composites Part B: Engineering. – 2022. – V. 238: 109907.
2. Xu, F. Friction-induced surface textures of liquid crystalline polymer evaluated by atomic force microscopy, spectroscopy and nanoindentation [Text] / F. Xu, Y. Xin, T. Li // Polymer Testing. – 2018. – V. 68. – P. 146–152.

3. Thermal conductivity of polymer-based composites: Fundamentals and applications [Text] / H. Chen, V. V. Ginzburg, J. Yang [et al.] // Progress in Polymer Science. – 2016. – V. 59. – P. 41–85.

4. Ibrahim, Y. Effective thermal conductivity of 3D-printed continuous wire polymer composites [Text] / Y. Ibrahim, R. Kempers // Progress in Additive Manufacturing. – 2022. – V. 7(4). – P. 699–712.

УДК 677.055

**Ковальов Ю.А., канд. техн. наук, доцент**

**Плешко С.А., канд. техн. наук, доцент**

**Рубанка М.М., канд. техн. наук, доцент**

Київський національний університет технологій та дизайну, kovalov.ya@knutd.com.ua

### **ДОЦІЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ В ПРИВОДІ В'ЯЗАЛЬНОЇ МАШИНИ МАХОВИКА З РЕГУЛЬОВАНИМ МОМЕНТОМ ІНЕРЦІЇ**

Специфікою роботи механічних систем, зокрема в'язальних машин, є значні динамічні навантаження, що виникають в період несталих режимів роботи [1-3]. Таке явище носить виключно негативний характер і призводить до зниження довговічності роботи привода в'язальної машини та якості виготовленого полотна. Тому, й надалі одним із перспективних напрямків підвищення ефективності роботи в'язальних машин є удосконалення конструкції їх привода [4-6].

Авторами пропонується нова конструкція привода в'язальної машини [7], що містить електродвигун з валом, пасову передачу з ведучим шківом, жорстко встановленим на кінці валу електродвигуна, і веденим шківом, блок механічних передач з приводним валом, з'єднаний з веденим шківом, електромагнітну фрикційну муфту та маховик, встановлені на другому кінці валу електродвигуна, додатково обладнаного щонайменше двома вантажами, розташованими в маховику рівномірно між собою з можливістю радіального переміщення та гвинтами, встановленими в маховику, а останній має засіб регулювання величини моменту інерції маховика, що містить конічну зубчасту передачу з ведучим валом, ведучою шестернею та щонайменше двома веденими шестернями, причому ведуча шестерня жорстко встановлена на ведучому валу, розташованому співвісно з валом електродвигуна, а ведені шестерні закріплені на кінцях гвинтів.

Додаткове обладнання приводу в'язальної машини щонайменше двома вантажами, розташованими в маховику рівномірно між собою з можливістю радіального переміщення та гвинтами, встановленими в маховику, а маховик має засіб регулювання величини моменту інерції, що містить конічну зубчасту передачу з ведучим валом, ведучою шестернею та щонайменше двома веденими шестернями, причому ведуча шестерня жорстко встановлена на ведучому валу, розташованому співвісно з валом електродвигуна, а ведені шестерні закріплені на кінцях гвинтів, що дозволяє здійснювати регулювання величини моменту інерції маховика в залежності від зміни режиму роботи в'язальної машини, зумовленої зміною виду сировини, що переробляється та зміною виду переплетення трикотажного полотна, що дозволяє оптимально знизити динамічні навантаження на всьому протязі експлуатації в'язальної машини і, таким чином, підвищити надійність та довговічність роботи привода.

На рисунку представлено кінематичну схему запропонованого приводу в'язальної машини з маховиком, оснащеного засобом регулювання величини його моменту інерції.

Принцип роботи модернізованого приводу в'язальної машини наступний. Схема керування пуском привода розроблена таким чином, що спочатку вмикається електромагнітна фрикційна муфта 8, з'єднуючи маховик 9 з кінцем 10 валу 2 електродвигуна 1, а потім, з деякою затримкою, вмикається електродвигун. Після виходу привода на сталий режим руху електромагнітна фрикційна муфта 8 вимикається, роз'єднуючи зв'язок маховика 9 з валом електродвигуна. При вмиканні електромагнітної



фрикційної муфти 8 відбувається з'єднання маховика 9 з валом електродвигуна 1, що збільшує момент інерції ведучої маси привода, зменшуючи тим самим пусковий момент електродвигуна, що передається приводу в'язальної машини під час пуску, забезпечуючи, таким чином, зниження динамічних навантажень привода в'язальної машини, що, в свою чергу, призводить до підвищення надійності та довговічності його роботи. Після закінчення режиму пуску електромагнітна фрикційна муфта 8 вимикається, розриваючи зв'язок маховика 9 з електродвигуном 1. Оснащення маховика 9 засобом 15 регулювання величини його моменту інерції дозволяє здійснювати регулювання величини моменту інерції маховика 9 в залежності від зміни режиму роботи в'язальної машини, зумовленої зміною виду сировини, що переробляється та зміною виду переплетення трикотажного полотна, що дозволяє оптимально знизити динамічні навантаження впродовж всього періоду експлуатації в'язальної машини і, таким чином, підвищити надійність та довговічність роботи привода в'язальної машини.

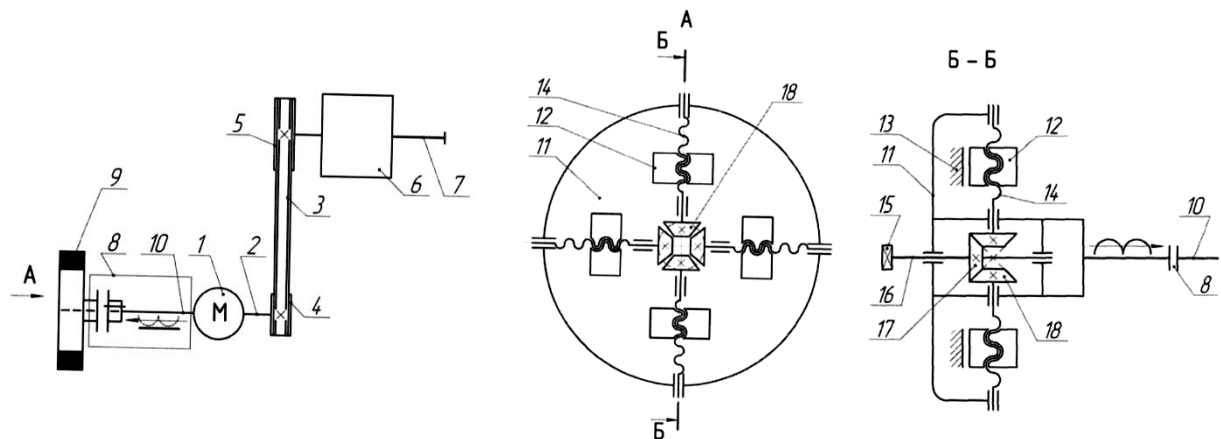


Рис. 1 – Кінематична схема привода в'язальної машини

Регулювання величини моменту інерції маховика 9 здійснюється таким чином. При обертанні ведучого вала 16 ведуча конічна шестерня 17 повертає ведені конічні шестерні 18 та гвинти 14, з якими вони жорстко з'єднані. Вантажі 12, обертальний рух яких відносно гвинтів 14 унеможливлений направляючими 13, переміщуються при цьому по направляючим 13 вздовж гвинтів 14 в одному або іншому напрямках в залежності від напрямку обертання ведучого вала 16, що призводить до збільшення або зменшення величини моменту інерції маховика 9.

#### Список посилань

1. Піпа Б. Ф. Динаміка круглов'язальних машин / Б.Ф. Піпа, О.М. Хомяк, Г.І. Павленко. – Київ : КНУТД, 2005. – 294 с.
2. Хомяк О. М. Динаміка плосков'язальних машин та автоматів / О.М. Хомяк. – Київ : КНУТД, 2008. – 250 с.
3. Чабан В. В. Динаміка основов'язальних машин / В.В. Чабан, Л.А. Бакан, Б.Ф. Піпа. – Київ : КНУТД, 2012 – 287 с.
4. Піпа Б.Ф. Приводи в'язальних машин і автоматів з пристроями зниження динамічних навантажень / Б.Ф. Піпа О.В. Чабан, С.В. Музичишин. – Київ : КНУТД, 2015. – 280 с
5. Чабан В. В. Приводи в'язальних машин (нові розробки та елементи розрахунків) : монографія / В. В. Чабан, Б. Ф. Піпа, О. В. Чабан. – Київ : КНУТД, 2016. – 451 с.
6. Плешко С. А. Підвищення ефективності роботи в'язальних машин : монографія / С. А. Плешко, Ю. А. Ковальов, М. М. Рубанка. – Київ : КНУТД, 2022. – 288 с.
7. Пат. 116791 Україна, МПК (2017.01) D04B 15/16 (2006.01), D04B 15/94 (2006.01), D04B 23/00. Привід в'язальної машини / С. А. Плешко, Ю. А. Ковальов ; власник Київський національний університет технологій та дизайну. – № u201611472 ; заявл. 14.11.2016 ; опублік. 12.06.2017, Бюл. № 11. – 4 с.

УДК 678. 645.32.18

Сова Н.В., докт. техн. наук, доцент

Слепцов О.О., канд. техн. наук

Розвора Л.В., аспірант

Ходикін А.О., студент

Київський національний університет технологій та дизайну, djanc@ukr.net

## КОМПОЗИЦІЙНІ ПОЛІМЕРНІ МАТЕРІАЛИ З ХІМІЧНОАКТИВНИМИ НАПОВНЮВАЧАМИ

Композиційні матеріали – матеріали з новим корисним комплексом фізико-механічних та експлуатаційних властивостей, які отримані поєднанням двох і більше компонентів, які мають межі розподілу фаз та відрізняються за хімічним складом, структурою і фізико-хімічними характеристиками. Роль матриці в полімерних композитах полягає в наданні форми виробу та в забезпеченні зв'язності його компонентів [1]. Наповнювач може мати різні агрегатні стани та забезпечує певну функціональні властивості виробу, отриманого з такого композиту. Деякі наповнювачі здатні до хімічних реакцій під час отримання виробів, або навіть їх експлуатації, наприклад – пінокомпозити – полімерні композити, в яких термопластична полімерна матриця наповнена добавками, що здатні розкладатись з утворення пор. Пінокомпозити виконують роль звуко-, теплопоглиначів, здані поглинати різні види енергій [2].

Окремим випадком полімерних композитів з хімічно активним наповнювачем є композити на основі поліетилену, наповнені оксидом кальцію. Оксид кальцію здатен реагувати з водою з утворення гідроксиду кальцію. Цю особливість наповнювача застосовують в технології вторинної переробки поліолефінів для зв'язування надлишкової вологи вторинної сировини безпосередньо під час переробки в розплавному стані. Такий спосіб осушування полімерної сировини відрізняється економічністю та нижчими енергетичними затратами.

В процесі застосування такого полімерного композиту, було помічено, що реакція вологопоглинання йде і при зберіганні композиту, оскільки поліетиленова основа добре проникла до вологи. Дослідження кінетики процесу вологопоглинання такого композиту вказують на здатність композиту до тривалого поглинання та зв'язування вологи. Швидкість поглинання вологи залежить від вмісту оксиду кальцію в композиті і її можна ціленаправлено регулювати в залежності від потреб.

Виявлена особливість дозволяє розширити сферу застосування композиту в тих напрямках, де потрібно забезпечувати постійний рівень вологості. Так, таким композитом можна замінювати традиційний поглинач вологи – силікагель у коробках з взуттям, одягом, галантерейними виробами. Термопластична основа композиту дозволяє створювати різноматні форми поглинача вологи – стрічки, кільця, решітки, вироби складної геометрії.

### Список посилань

1. Композиційні матеріали / Л. Р. Вишняков // Енциклопедія Сучасної України [Електронний ресурс] / Редкол.: І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк [та ін.] ; НАН України, НТШ. – К. : Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2014. – Режим доступу: <https://esu.com.ua/article-4385>
2. Матеріали високопористі / О. В. Бякова // Енциклопедія Сучасної України [Електронний ресурс] / Редкол.: І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк [та ін.] ; НАН України, НТШ. – К. : Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2018. – Режим доступу: <https://esu.com.ua/article-66955>

УДК 678.673. 35.2

Савченко Б.М., докт. техн. наук, професор

Сова Н.В., докт. техн. наук, доцент

Федорів Т.Р., аспірант

Слепченко Р.Ю., студент

Київський національний університет технологій та дизайну, [tfedoriv05@gmail.com](mailto:tfedoriv05@gmail.com)

## **АДИТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕКТРОПРОВІДНИХ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ**

Полімерні композити — це матеріали, виготовлені шляхом поєднання двох або більше різних типів матеріалів для створення нового матеріалу з покращеними властивостями. Електропровідність полімерних композитів є важливою властивістю, яка становить інтерес для ряду застосувань, таких як електронні пристрої, датчики та екранування електромагнітних перешкод. Загалом, електропровідні полімерні композити мають потенціал для революції в різних галузях промисловості завдяки унікальному поєднанню електропровідності, механічної гнучкості та інших бажаних властивостей.

На електропровідність полімерних композитів впливає кілька факторів, таких як тип і концентрація провідного наповнювача, морфологія та дисперсія наповнювача в полімерній матриці та електричні властивості полімерної матриці.

В ході досліджень було виявлено, що умови адитивного виробництва методом FDM також значною мірою впливають на електричну провідність полімерних композитів. Зокрема, правильно налаштовані температура 3D друку, товщина шару, швидкість охолодження забезпечують потрібний рівень провідності в композиті з однаковим складом.

Особливість технології адитивного виробництва зумовлює певні анізотропію властивостей готових виробів. Так, електрична провідність зразків полімерних композитів залежить від умов охолодження виробу при формуванні та напрямку 3D друку. Повільне охолодження покращує провідність, що ймовірно пояснюється наявністю достатнього часу для перерозподілу частинок наповнювача та забезпечення перколяції.

Часто для отримання електропровідних полімерних композитів застосовують наповнювачі з високим аспектом – волокна, нанотрубки, агрегати. Під час адитивного виробництва реалізуються високі напруження зсуву та швидкості зсуву, що приводить до орієнтування частинок наповнювача у потоці розплаву полімеру. Дані процеси приводять до анізотропного розподілу питомого електричного опору на поверхні зразка в залежності від напрямку розташування потоків розплаву.

Таким чином, дослідження впливу факторів адитивного виробництва дозволить отримувати відтворювані та стабільні значення питомого електричного опору при застосуванні полімерних композитів для створення готових виробів функціонального призначення.

Загалом, електропровідність полімерних композитів є складною властивістю, на яку впливають численні фактори, і розуміння цих факторів є важливим для розробки композитів з оптимальними електричними властивостями.

### **Список посилань**

1. Brigandi, Paul J., Jeffrey M. Cogen, and Raymond A. Pearson. "Electrically conductive multiphase polymer blend carbon-based composites." *Polymer Engineering & Science* 54.1 (2014): 1-16.
2. Wang, Xin, et al. "3D printing of polymer matrix composites: A review and prospective." *Composites Part B: Engineering* 110 (2017): 442-458.

УДК 691.175.744

Савченко Б.М., докт. техн. наук, професор

Слепцов О.О., канд. техн. наук, асистент

Булгаков Є.С., аспірант

Педченко Р.Р., студент

Київський національний університет технологій та дизайну, [y.bulhakov@gmail.com](mailto:y.bulhakov@gmail.com)

## СТВОРЕННЯ НЕТКАНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ

Неткані полімерні матеріали є класом текстильних матеріалів, які широко використовуються в легкій промисловості, медицині, сільському господарстві та побуті. Для виробництва нетканих матеріалів використовуються різні синтетичні полімери, такі як поліпропілен, поліефіри, нейлон, термопластичні поліуретани. Один із способів отримання нетканих полімерних матеріалів полягає в аеродинамічному формуванні з розплаву полімеру. [1]

Неткані полімерні матеріали демонструють високу ефективність у фільтрації повітря та рідинних систем завдяки своїй структурі. Наприклад, поліпропілен використовується для виготовлення катриджів у водних фільтрах, одноразових медичних масок та гігієнічних виробів. Широкий спектр застосування нетканих матеріалів ставить перед суспільством проблему утилізації відпрацьованих продуктів, зокрема актуальною стала проблема відходів, що виникли внаслідок епідемії коронавірусу та поширеного використання одноразових медичних масок. Використані неткані матеріали, завдяки своїй низькій щільності, легко розносяться вітром з полігонів, чим забруднюють як земельні, так і водні ресурси.

Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є використання мінеральних наповнювачів для поліпропіленових нетканих матеріалів, наприклад, карбонату кальцію. Карбонат кальцію є одним з найбільш розповсюджених наповнювачів, що використовуються у полімерних матеріалах, оскільки він є більш економічним у порівнянні з деякими іншими наповнювачами, такими як скловолокно або тальк, його використання дозволяє знизити вартість матеріалу [2].

Для нетканих матеріалів карбонат кальцію забезпечує утворення більш розгалуженої структури, що сприяє підвищенню ефективності фільтрації. При 10% введенні карбонату кальцію до гомополімеру поліпропілену (найбільш розповсюджений матеріал для виготовлення медичних масок), густина утвореного полімерного композиту перевищує 1,1 кг/дм<sup>3</sup>. Така щільність дозволяє медичній масці тонути у воді, замість утворення плавучих островів з відходів таких масок у країнах Африки і Азії, для яких проблема утворення плавучих плям відходів стоїть найбільш гостро [3].

Також, використання карбонату кальцію, як розповсюдженого наповнювача для полімерів, не заважає вторинній переробці таких відходів у менш відповідальні використання (наприклад, товари народного вживання, такі як горщики для квітів, вішалки, тощо), що додатково зменшує навантаження на навколишнє природне середовище.

### Список посилань

1. Salehi, M., Behzad, T., Montazer, M., et al. "Polypropylene-based nonwovens: A review on fiber modifications and characterization." *Journal of Industrial Textiles*, 2020, 50(1), 44-74. DOI: 10.1177/1528083718780513.
2. Sufian, S., Ismail, H., Ahmad, M., et al. "Effect of calcium carbonate on properties of polypropylene-based nonwoven." *Journal of Applied Polymer Science*, 2016, 133(3), 42694. DOI: 10.1002/app.42694.
3. Hussein, H., Ismail, H., Ahmad, M., et al. "Effects of calcium carbonate filler loading and surface modification on the properties of polypropylene-based nonwoven composites." *Polymer-Plastics Technology and Materials*, 2019, 58(6), 572-586. DOI: 10.1080/25740881.2018.1554131.

УДК 691.175.744

Савченко Б.М., докт. техн. наук, професор  
 Слєпцов О.О., канд. техн. наук, асистент  
 Свістільнік Р.Ф., аспірант

Київський національний університет технологій та дизайну, romchigo@gmail.com

## ТЕМПЕРАТУРНА ЗАЛЕЖНІСТЬ ПИТОМОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ОПОРУ СТРУМОПРОВІДНИХ ПОЛІМЕРНИХ ПОКРИТТІВ

Питомий електричний опір струмопровідних полімерних покриттів сильно залежить від температури. Дана залежність важлива при створенні гнучких нагрівальних елементів.

Було досліджено температурну залежність питомого електричного опору композицій з вмістом струмопровідного комбінованого наповнювача 70% (графіт марки С1 - 60% мас. сажа марки ХС72 - 10% мас) та полімерних матриць двох видів – полівінілбутираль марки SDW-3A (ПВБ) і бакелітова смола (фенол формальдегідна смола резольного типу А) (БС).

Для отримання рідкого композиційного матеріалу спочатку полімерну матрицю розчиняли в ізопропіловому спирті з отриманням 10% розчину. Далі в отриманий розчин додавали наповнювач – графіт і сажу в потрібному співвідношенні і перемішували суміш з використанням гомогенізатора для диспергування (200 Вт, Магніт ФСХ-2А) протягом 15 хв. Отриману гомогенну суміш за допомогою щільного аплікатора наносили на паперову підложку товщиною 50 мкм [1]. Зміну питомого електричного опору з температурою фіксували за допомогою використання лабораторної установки (рис. 1).

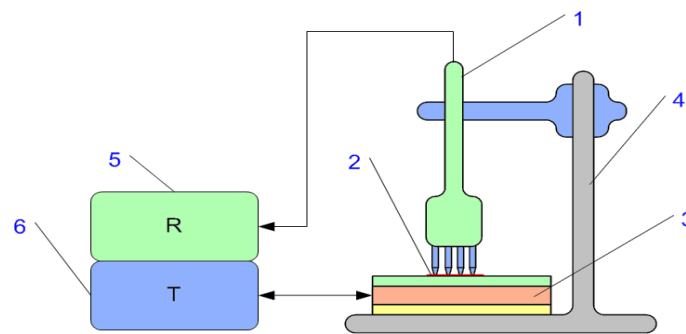


Рис. 1 – Схема установки для вимірювання температурної залежності питомого електричного опору з використанням 4-х електродної комірки: 1 – 4-х електродна комірка; 2 – дослідний зразок; 3 – термокамера; 4 – тримач; 5 – пристрій для реєстрації опору; 6 – блок регулювання температури термокамери

Такий спосіб вимірювання дозволяє визначити об'ємний питомий електричний опір саме покриттів. Питомий поверхневий електричний опір покриття при лінійному розміщенні електродів визначали за формулою [2]:

$$\rho_s = \frac{\pi}{\ln 2} D \frac{U}{I} = 4.53 \cdot D \frac{U}{I}, \quad (1)$$

де  $\rho_s$  – питомий поверхневий електричний опір Ом·см;

$D$  – коефіцієнт корекції форми зразка і розміщення зонду під час вимірювання;

$U$  – різниця електричних потенціалів (напруга) на кінцях зразка, В;

$I$  – сила струму, що протікає між кінцями зразка під дією різниці потенціалів, А.

Питомий об'ємний електричний опір покриття визначали за формулою [2]:

$$\rho = \rho_s \cdot H, \quad (2)$$

де  $H$  – товщина зразка, м.



Для досліджень було обрано полімерні матриці двох різних типів полімерів. ПВБ – термопластичний полімерний матеріал з температурою склування 60°C та БС – термореактивний полімер, не здатний до плавлення після проходження реакції затвердіння при температурі вище 100°C. Такий вибір зумовлений необхідністю встановлення особливостей впливу типу полімерної матриці на струмопровідні властивості створених полімерних композицій.

Результати досліджень наведено на рис. 2.

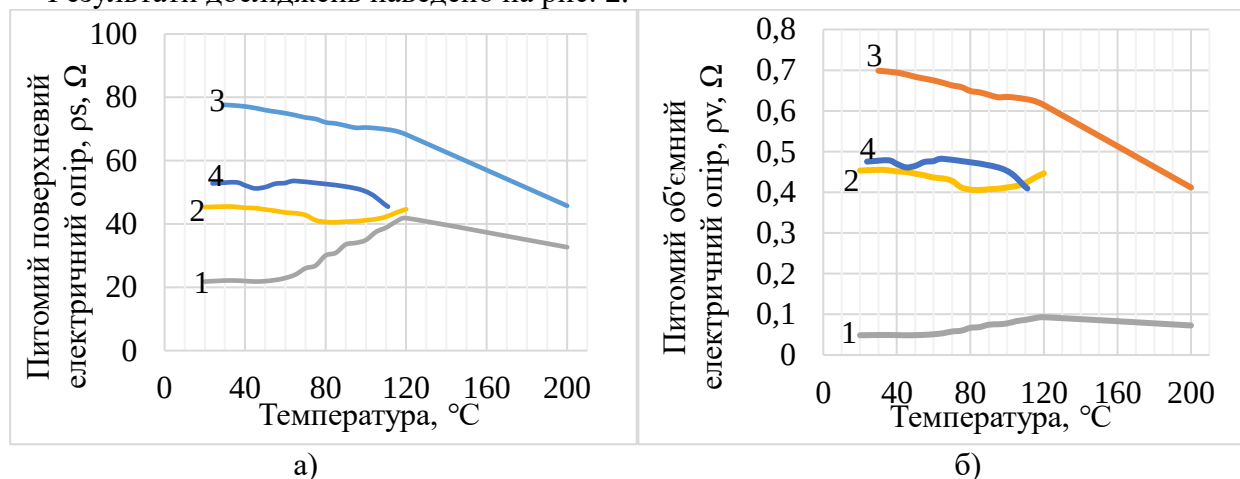


Рис. 2 – Залежність поверхневого (а) та об'ємного (б) питомого електричного опорів від температури для композицій на основі: 1 – ПВБ (1 прогрів); 2 – ПВБ (2 прогрів); 3 – БС (1 прогрів); 4 – БС (2 прогрів).

Перше прогрівання дослідних зразків проводили до температури 200°C для забезпечення проходження терморелаксаційних процесів в полімерних матрицях. Друге прогрівання здійснювали до 120°C для зниження ймовірності проходження термічної деструкції полімерної матриці.

Аналіз отриманих даних показав, що залежності питомого електричного опору для різних полімерних матриць мають різний характер. Для ПВБ (рис. 2, крива 1) спостерігаються два перегиби на кривій при першому прогріванні. Перший перегин в області 60°C ймовірно пов'язаний з досягненням ПВБ температури склування і підвищенням рухливості макромолекул. Другий перегин в області 120°C зумовлений кристалізаційними процесами в полімері. Таким чином, в діапазоні 20-60°C питомий електричний опір композиції практично не змінюється, в діапазоні 60-120°C - зростає внаслідок термічного розширення матриці та зміни перколяції, і в діапазоні 120-200°C - знижується через впорядкування полімерних макромолекул внаслідок часткової кристалізації ПВБ. Під час другого прогрівання (рис. 2, крива 2) перегин на кривій зміщується бік вищих температур – до 70°C, що можна пов'язати зі зростанням температури склування ПВБ внаслідок попереднього випаровування низькомолекулярних речовин.

Для композицій на основі БС питомий електричний опір знижується при зростанні температури, що пов'язано зі структуруванням полімерної матриці та ущільненням упаковки макромолекул, що впливає на перколяцію. Після 100°C спостерігається зростання швидкості зменшення електричного опору, що пов'язано з підвищенням інтенсивності реакції зшивання полімерної матриці.

#### Список посилань

1. Свістільнік Р. Ф. Розробка технології електропровідних гібридних композиційних покриттів. / Свістільнік Р. Ф., Федорів Т. Р., Савченко Б. М., Осауленко С. І. // Технології та інжиніринг. – 2022. – № 4 (9). – С. 60-70.
2. Heaney, Michael B. «Electrical Conductivity and Resistivity.» Electrical Measurement, Signal Processing, and Displays. Ed. John G. Webster. CRC Press, 2003. 7-1.



УДК 664.664.016

**Корнієнко І.М., канд. техн. наук, доцент**

**Кузнєцова О.О., канд. техн. наук, доцент**

Національний авіаційний університет, м. Київ, [irina.kornienko.1979@gmail.com](mailto:irina.kornienko.1979@gmail.com)

**Гуляєв В.М., докт. техн. наук, професор**

**Непошивайленко Н.О., канд. техн. наук, доцент**

**Анацький А.С., канд. техн. наук, доцент**

**Філімоненко О.Ю., старш. викладач**

**Коваленко А.Л., канд. хім. наук, доцент**

**Корнієнко Ю.М., здобувач**

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське, [asanatsky@ukr.net](mailto:asanatsky@ukr.net)

## **БІОТЕХНОЛОГІЯ ВИКОРИСТАННЯ ПРОПОЛІСУ В ХЛІБОПЕЧЕННІ**

Прополіс - це смолистий апі-продукт, зібраний бджолами з різних видів рослин, який містить різноманітні біологічно-активні сполуки, які володіють антибактеріальними, антиоксидантними та протизапальними властивостями. Надзвичайні особливості такого апі-продукту розширюють можливі напрямки його використання в харчовій біотехнології, а саме - у якості функціонального інгредієнта в хлібопродуктах з метою активації бродильної мікрофлори закваски (молочнокислі бактерії) для хлібопечення, покращення структурно-механічних властивостей тіста, пригнічення росту патогенних та умовно патогенних збудників хвороб хліба. Незважаючи на відмінності в хімічному складі прополісу (склад прополісу залежить від географічного та ботанічного походження), він виявляє потужну антиоксидантну і фармакологічну активність, що робить його привабливим функціональним інгредієнтом натурального походження для харчової біотехнології. Варто зазначити, що майже весь прополіс багатий на деякі важливі функціональні речовини. Завдяки багатому вмісту природних активних речовин, таких як - поліфеноли, сесквітерпенхінін, кумарини, амінокислоти, мікро- та макроелементи та ін. - прополіс має високу біологічну і фармакологічну активність. Нещодавні дослідження, пов'язані із вивченням впливу прополісу, дозволяють його розглядати як функціональний харчовий та нутрицевтичний компонент, а саме, з точки зору композитних плівок і покриттів із полісахариду та прополісу, як перспективні речовини для біомедичних та пакувальних матеріалів, а також, для консервування фруктів і овочів. Останніми роками зростає інтерес до застосування натуральних активних речовин, котрі можна використати для консервування. Прополіс широко вивчали з точки зору їстівної природної та функціональної речовини з ароматним запахом [1].

Але, наразі, є потреба у проведенні подальших досліджень, що стосуються експериментального встановлення дози прополісу в харчових продуктах та біотехнологіях його застосовування, враховуючи його біологічні та органолептичні властивості. Станом на сьогодні (на прикладі Китаю), прополіс комерційно доступний у різних формах випуску (капсули, розчини, порошки та водні екстракти). Також, він додається до косметичних засобів (шампунів, лосьйонів, помад, лаків для нігтів) та харчових продуктів (напоїв, зефіру, цукерок, печива, ковбас, бургерів, фаршу та молока) у якості консерванту [1, 2].

В даній роботі запропоновано додавати спиртовий розчин прополісу (25 %) (виробник: ННЦ «Інститут бджільництва імені П.І. Прокоповича») до складу закваски в технології отримання функціонального хліба з підвищеним титром молочнокислих бактерій, оскільки він володіє доказовою біологічною та хімічною активністю, такою як антиоксидантна, антибактеріальна, противірусна, протизапальна, імуномодельюча, протиракова, гепатопротекторна, протигрибкова, а також антиалергенна. В ході активації закваски, було проведено її оцінку піднімальної сили за кулькою (рис. 1) за загальноприйнятою методикою.

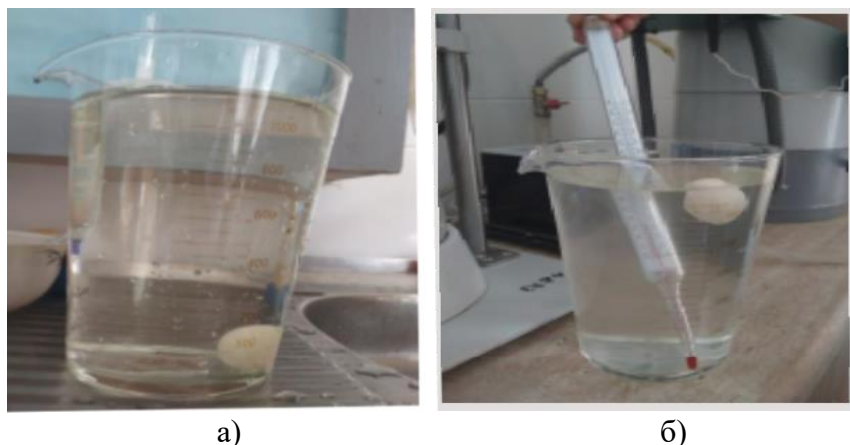


Рис. 1 – Визначення піднімальної сили за кулькою: а) початок експерименту, б) кінець експерименту

Результати досліджень свідчать, що додавання прополісу у кількості 1 % відносно маси борошняної складової, відбувається підвищення титру життєздатних клітин молочнокислих бактерій, внаслідок чого скорочується час піднімання кульки із 25 до 15 хвилин.

Також, проведено дослідження антимікробної активності спиртового розчину прополісу методом дифузії розчину прополісу з лунок в агар. Суть методики дослідження: 0,1 мл інокуляту (тест-культура з титром  $1 \times 10^8$  кл/мл) засіювали на поживне середовище (для кожного виду збудника своє). У лунку діаметром 8 мм вносили 0,1 мл розчину прополісу. Потім, дослідні зразки інкубували протягом доби при  $37^\circ\text{C}$  - для бактерій і  $28^\circ\text{C}$  - для грибків. По закінченню часу культивування вимірювали діаметр зони інгібування росту патогенів. Експериментами встановлено, що такі основні види патогених культур, як *Escherichia coli* «В», *Bacillus cereus*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus parasiticus*, *Fusarium oxysporum* і *Candida albicans*, піддаються інгібуванню в присутності прополісу, що свідчить про доцільність його використання в практиці хлібопечення, оскільки дані збудники приймають участь у порчі хлібопродуктів під час зберігання. Цей факт пояснюється присутність поліфенольних сполук, які за даними дослідників, виступають у ролі антибактеріальних та антигрибкових речовин: 1,2-дигідроксібензол (катехол), кверцетин, 4-метоксібензойний альдегід (анісова кислота), 3,4-дигідроксіфенілетиленгліколь (похідна адреналіну), гідроксікоричні кислоти (5-метоксіпсорален - бергаптен, хлорогенова та 5-діметоксі-4-гідроксибензойна кислоти), природні антиоксиданти та антимікотоксигенні сполуки - 3, 4-дигідроксіцинамат (протигрибковий), 3,5,7,4-тетрагідроксіфлавіліум (похідна караджуфлавона з антимікробними властивостями), авенантрамід С (протигрибковий), тетраметоксіфлавіон (протигрибковий), метилendioксіфенол (сезамол), 3,4-дигідроксіфенілетанол (гідроксітирозол), 3,4-дигідроксіфенілетиленгліколь (похідне адреналіну), 4-метоксібензойний альдегід.

#### Список посилань

1. The use of propolis as a functional food ingredient: A review [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224421004155>
2. Physico-chemical characteristics of microencapsulated propolis co-product extract and its effect on storage stability of burger meat during storage at  $-15^\circ\text{C}$  [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643816302912>

УДК 678.6

**Пристинський С. В.,** начальник виробництва виробів з пластмас, аспірант

Київський національний університет технологій та дизайну,  
ТОВ «Костал Україна», м. Переяслав-Хмельницький, [s.prystynskyi@outlook.com](mailto:s.prystynskyi@outlook.com),

**Плаван В. П.,** докт. техн. наук, професор

Київський національний університет технологій та дизайну, [plavan.vp@knuetd.com.ua](mailto:plavan.vp@knuetd.com.ua),

**Шуляк Р.О.,** інженер-технолог з литва пластмаси під тиском на термопластах

ТОВ «Костал Україна», м. Переяслав-Хмельницький, [r.shuliak@kostal.com](mailto:r.shuliak@kostal.com)

## **ДОСЛІДЖЕННЯ РЕОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА МОРФОЛОГІЇ СУМІШЕЙ МУЛЬТИКОМПОНЕНТНИХ ПОЛІМЕРНИХ ВІДХОДІВ**

Повторна переробка полімерних композиційних матеріалів є одним з рішень щодо розв'язання екологічних проблем [1], пов'язаних із збільшенням частки полімерних відходів. Переробка багатокомпонентних полімерних відходів дуже актуальна і з економічної точки зору. В попередніх дослідженнях [2] продемонстровані результати успішної валідації процесу повторної переробки пластмас методом лиття під тиском суміші мультикомпонентних полімерних відходів зі склонаповненого поліаміду 6 PA6GF30 (90 % мас) та полікарбонату PC (10% мас).

Основна складність переробки, зокрема методом лиття під тиском чи екструзії, полягає в сумісності матеріалів, що потребує додавання компатибілізаторів [3]. Враховуючи те, що вміст полімерних матеріалів в суміші може бути різним по масі, виникає потреба в більш детальному дослідженні властивостей та поведінки отриманої композиції, адже через вплив хімічної структури полімерів та наповнювачів можуть відбуватися зміни властивостей матеріалу [4]. Саме тому метою даного дослідження було вивчення реологічних властивостей та морфології суміші, отриманої з мультикомпонентних полімерних відходів з поліаміду 6 (PA6GF30) та полікарбонату (PC) у різних співвідношеннях по масі для подальшого прогнозування та розуміння параметрів серійного виробничого процесу й очікувань валідації.

В ході експерименту браковані деталі та технологічні відходи з PA6GF30 та PC були подрібнені на дробарці «Rapid 200». Отриману суміш з PA6GF30/PC (90/10 % мас) було розділено окремо на компоненти шляхом сортування. Вимірювання показника текучості розплаву (MVR та MFR) здійснювали на приладі MFI-1322 із опрацюванням даних за ISO 1133. Зміни титру складових суміші виконували з кроком 10% мас. Морфологію досліджували за допомогою обладнання MitutoyoQS250Z.

В процесі дослідження показника текучості розплаву було виявлено зміни, які залежать від вмісту складових двокомпонентної суміші. Спостерігалось зменшення показника текучості розплаву (MVR,  $\text{см}^3/10 \text{ хв}$ ) на 19% в середньому з кожним кроком додавання 10% мас PC до PA6GF30 до досягнення розподілу PA6GF30/PC 60/40 % мас. За розподілом PA6GF30/PC 40/60 % мас було встановлено зростання MVR на 47%, що є максимальним значенням показника текучості розплаву (рис. 1). Це свідчить про досягнення суміші евтектики, тобто ефекту, при якому компоненти розплаву одночасно кристалізуються при відповідній температурі. Вірогідно, що за таких умов суміш має температуру одночасної кристалізації речовин, яка є нижчою за окремо взятую полімерну композицію і отримана сировина має властивості, які не притаманні жодній складовій. При збільшенні концентрації PC до 80 % мас. знову спостерігалось зростання текучості (рис. 1), що вказує на перевагу властивостей PC над PA6GF30. На рисунку 2 показано розподіл матеріалів в отриманому екструдаті. Встановлено, що PC переважно розподіляється в оболонці PA6GF30. Також можна спостерігати, що в суміші PA6GF30/PC (60/40 % мас, рис. 2d)

візуалізується більш широкий розподіл полікарбонату. Це в свою чергу підтверджує той факт, що вторинна полімерна суміш набуває переважно властивостей PC.

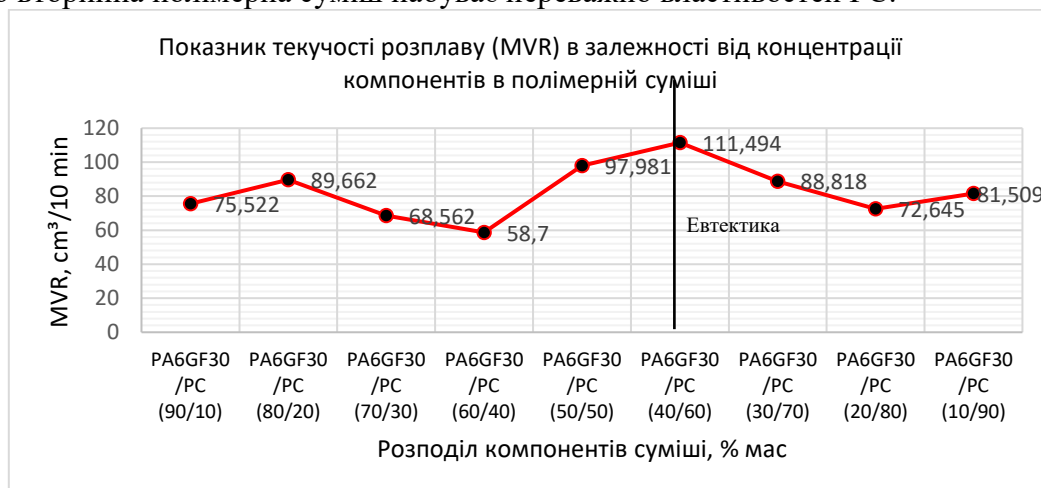


Рис. 1 – Діаграма показників текучості розплаву полімерної суміші PA6GF30/PC

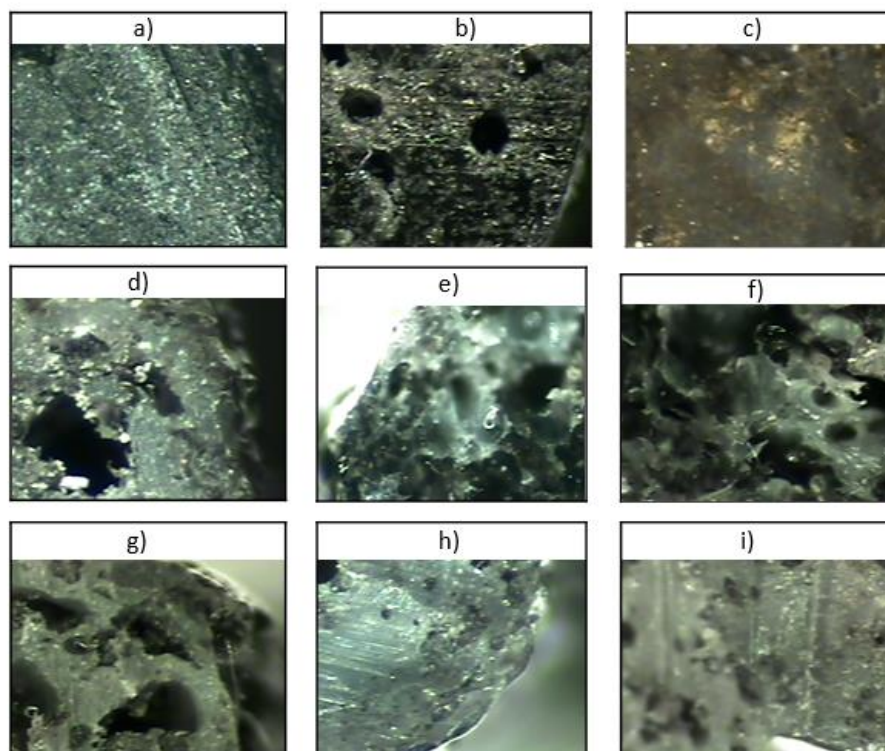


Рис. 2 – Мікрофотографії перерізу екструдату після дослідження показника текучості розплаву з PA6GF30/PC у співвідношеннях: а) 90/10 % мас.; б) 80/20 % мас; в) 70/ 30 % мас.; д) 60/40 % мас); е) 50/50 % мас); ф) 40/60 % мас; г) 30/70 % мас); h) 20/80 % мас); i) 10/ 90 % мас.

Отримані результати підтверджують можливість переробки мультикомпонентних відходів полімерних композиційних матеріалів без їх сепарування методом лиття під тиском за відсутності істотного впливу на параметри процесу. Склад та властивості евтектичної суміші PA6GF30/PC, показник текучості розплаву якої вищий, ніж у окремо взятих матеріалів, дозволяє знизити температуру переробки та тиск впорскування. Це спрощує процес повторної переробки несортованих багатокомпонентних відходів на противагу переробці окремо взятих полімерних композицій, що дає змогу зменшити негативний вплив на довкілля.



## Список посилань

1. Okan, Meltem; Aydin, Halil Murat; Barsbay, Murat. Current approaches to waste polymer utilization and minimization: A review. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 2019, 94.1: 8-21.
2. Пристинський, С., Будащ, Ю., Плавач, В., & Шуляк, Р. (2022). Вплив основних технологічних параметрів на стабільність процесу лиття під тиском мультикомпонентних відходів полімерних композицій. *Технічні науки та технології*, (4 (30), 148–157.
3. He, C., Lin, Y., Xiao, C., Lang, F., & Li, D. (2022). Preparation and characterization of BN modified PA6/PC thermal conductive composites. *Soft Materials*, 20(3), 278-287.
4. Reinaldo, J. S., Pereira, L. M., Silva, E. S., Macedo, T. C., Damasceno, I. Z., & Ito, E. N. (2020). Thermal, mechanical and morphological properties of multicomponent blends based on acrylic and styrenic polymers. *Polymer Testing*, 82, 106265.

УДК 687.053.422.2

Горобець В. А., канд. техн. наук, доцент  
 Манойленко О. П., канд. техн. наук, доцент  
 Дворжак В.М., канд. техн. наук, доцент

Київський національний університет технологій та дизайну, v.dvorjak@ukr.net

### ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕХАНІЗМІВ ПЕРЕМІЩЕННЯ МАТЕРІАЛІВ ШВЕЙНИХ МАШИН

Механізми переміщення матеріалів швейних машин належать до найбільш складних механізмів швейного обладнання. Вони містять два, а в човникових швейних машинах навіть три кінематичні ланцюги (вертикального та горизонтального переміщення транспортуючого органу, а також кінематичний ланцюг реверса та регулювання довжини стібка). Головною проблемою при роботі цих механізмів є те, що при еліпсоподібній траєкторії транспортуючої рейки її робоча поверхня є фактично миттєвою дотичною до даної кривої. Тому траєкторії переднього і заднього зубців рейки суттєво відрізняються (рис. 1, а). Отже, в переміщенні і деформації матеріалу кожний зуб рейки бере різну участь, оскільки заглиблюється в матеріал кожен на свою глибину, що призводить до пошкодження матеріалу і нестабільності довжини стібка [1-3]. Щоб уникнути останнього явища, доводиться збільшувати заглиблення зубців у матеріал, що в сучасних швидкісних швейних машинах (кутова швидкість головного вала  $\omega = 400 \text{ c}^{-1}$ ) призводить до “підскоку” притискної лапки та її зависання над матеріалом, що, в свою чергу, суттєво погіршує якість транспортування матеріалу [1-3]. Оптимізація параметрів типових механізмів переміщення матеріалів суттєвого ефекту не дає [4], оскільки неможливо отримати однакові траєкторії різних точок шатуна.

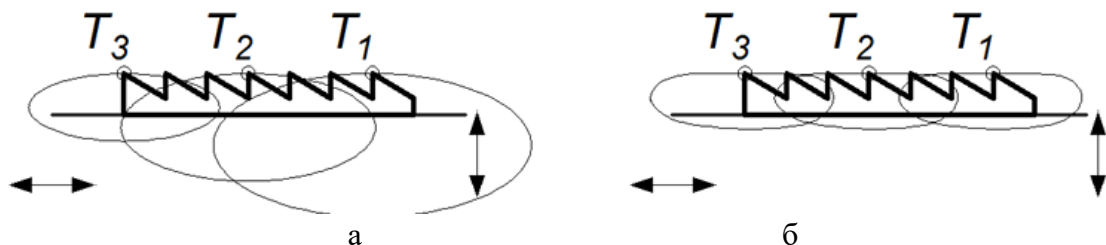


Рис. 1 – Траєкторії різних зубців транспортуючої рейки:  
 а) в типовому механізмі б) в запропонованому механізмі

В роботі [5] виконано кінематичний синтез запропонованого авторами нового механізму переміщення матеріалів [6] (рис. 2, а), в якому забезпечено одночасний вихід всіх зубців транспортуючої рейки над поверхнею голкової пластини, а також аналогічне опускання їх після переміщення матеріалів (рис. 1, б) з типовим механізмом (рис. 2, б) за функціональними критеріями та показниками динаміки.

Встановлено, що завдяки зменшенню величини заглиблення зубців рейки в матеріал в новому механізмі [6] з'являються можливість зменшити її вертикальні переміщення більш ніж втричі. Це, в свою чергу, дозволяє зменшити зусилля притиску лапки і суттєво покращити завдяки цьому такі експлуатаційні показники як стягування та посадку матеріалу. Крім того досягається суттєве зменшення максимальних значень вертикальних складових кінематичних і динамічних характеристик: швидкостей – в 5,1 рази, прискорень – в 6,2 рази, ривків – в 8,7 раз, що також позитивно впливає на роботу машини.

Отже, порівняльний аналіз нового механізму переміщення матеріалів [6] з традиційним механізмом показав кілька важливих висновків:

1. Новий механізм переміщення матеріалів забезпечує одночасний вихід всіх зубців транспортуючої рейки над поверхнею голкової пластини, а також аналогічне опускання їх після переміщення матеріалів, що сприяє поліпшенню функціональних критеріїв і показників динаміки.

2. Завдяки зменшенню заглиблення зубців рейки в матеріал і її вертикальних переміщень з'являється можливість зменшити зусилля притиску лапки і поліпшити експлуатаційні показники машини.

3. Поліпшення кінематичних і динамічних характеристик нового механізму переміщення матеріалів при його використанні дозволяє знизити негативний вплив на процес утворення стібка і покращити якість роботи машини.

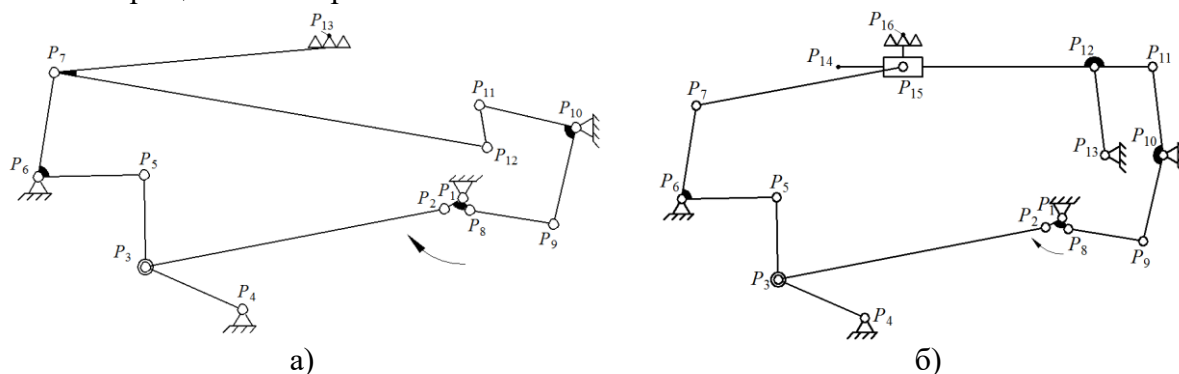


Рис. 2 – Схеми механізмів, що досліджуються :  
а) типового б) запропонованого (нового) [6]

#### Список посилань

1. Горобець В. А. Дослідження роботи пружного елемента механізму транспортування швейної машини / В. А. Горобець, Ю. Ю. Щербань, М. С. Носов // Вісті вузів. Технологія легкої промисловості К. – 1986. – № 6. – С. 95-98.
2. Горобець В. А. Визначення посадки матеріалу при швидкісному режимі транспортування на швейних машинах / В. А. Горобець, Ю. Ю. Щербань, М. С. Носов // Вісті вузів. Технологія легкої промисловості К. – 1988. – № 2. – С. 119-121.
3. Горобець В. А. Порівняльний аналіз механізмів переміщення матеріалу швейних машин / В. А. Горобець, Ю. Ю. Щербань, М. С. Носов // Вісті вузів. Технологія легкої промисловості К. – 1989. – № 6. – С. 106-109.
4. Горобець В. А. Розробка механізму переміщення матеріалу швидкісних швейних машин / В. А. Горобець, Ю. Ю. Щербань, М. С. Носов // Вісті вузів. Технологія легкої промисловості К. – 1990. – № 1. – С. 103-105.
5. Горобець В. А. Розробка і синтез нового механізму транспорту швейної машини / В. А. Горобець, В. М. Дворжак // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія Технічні науки. - 2018. - № 5 (126). - С. 33-39.
6. Пат. 132870 Україна, МПК D05B 27/02 (2006.01). Механізм переміщення матеріалів швейної машини / В. А. Горобець; власник Київський національний університет технологій та дизайну. – № u201810565; заявл. 26.10.2018; опублік. 11.03.2019, Бюл. № 5. – 6 с.



УДК 678.01:535.68

Ляшок І.О., канд. техн. наук, доцент  
Іщенко О.В., докт. техн. наук, доцент  
Соколовський В.А., магістр  
Антоненко Д.О., магістр

Київський національний університет технологій та дизайну, [e.ishchenko5@gmail.com](mailto:e.ishchenko5@gmail.com)

## ПВХ-КОМПОЗИЦІЇ З КАЛЬЦІЙ-ЦИНКОВИМИ СТАБІЛІЗАТОРАМИ

За класичною рецептурою погонажні вироби виготовляють з ПВХ-композицій із застосуванням свинцевих комплексних стабілізаторів.

Технологічна практика переробки ПВХ показує, що в останні роки проходить активна заміна стабілізаторів, які містять свинець, на кальцій-цинкові. Ця тенденція найбільш використовується в Європейському Союзі, тому учасники ринку ПВХ зобов'язані враховувати законодавчі положення ЄС. Більш того, саму заміну та суттєве впровадження кальцій-цинкових стабілізаторів можна назвати світовою тенденцією розвитку індустрії ПВХ [1]. Це впливає на екологічну ситуацію та на технологічне обґрунтування для широкого впровадження кальцій-цинкових систем. Такі стабілізатори нетоксичні, забезпечують атмосферостійкість, рівнозначну або кращу, ніж у систем, які містять свинець. Умови їх переробки аналогічні свинцевовмісним системам. Відсутні проблеми вторинної переробки. Але впровадження цих стабілізаторів супроводжується зміною кольору частини виробу, яка піддається додатковій термічній обробці. Це погіршує зовнішній вигляд виробу, що збільшує відсоток браку.

Тому заміна свинцевих стабілізаторів на кальцій-цинкові в виробництві труб обсадних для водозабірних свердловин потребує додаткових досліджень для одержання якісних виробів [2].

Метою даної роботи є вибір кальцій-цинкового стабілізатора у складі композиційного полімерного матеріалу на основі ПВХ з точки зору технології переробки, фізико-механічних показників готових виробів та економічного аспекту.

Для проведення досліджень використали ПВХ композиції на основі суспензійного ПВХ KSR-70 Україна. В склад композиції входить кальцій-цинковий стабілізатор, наповнювач – крейда природна тонкодисперсна, кислота стеаринова, стеарат кальцію технічний, в якості барвника – пігмент блакитний фталоціаніновий.

В роботі було створено ряд композицій з додаванням кальцій-цинкових стабілізаторів марок Kimstab EPS 2100-22 FC та Ваеропан МС 91424 FP/1 від 1,5 до 2,5 %.

Полімерні композиції отримували шляхом змішування вихідних компонентів в лабораторному змішувачі. На отриманих сумішах проводили дослідження зовнішнього вигляду, насипної щільності, сипучості, реологічних характеристик методом капілярної віскозиметрії відповідно загальноприйнятій методиці на приладі ИИРТ-А та термостабільність композиції на приладі термостат ТС-16А. Отримані зразки були досліджені на показники згідно СТП 6-19-061-59-2008.

За одержаними результатами лабораторних досліджень було обрано склад композиції з найменшим вмістом стабілізатора, який відповідає нормам всіх досліджуваних показників для проведення промислового випробування стабілізаторів: 2% Kimstab EPS 2100-22 FC та з додаванням 2% комплексного Ваеропан МС 91424 FP/1.

На виготовлених зразках труб були проведені фізико-механічні дослідження на відповідність до ТУ У В.2.5-25.2-00203594-037:2009 «Труби обсадні з непластифікованого полівінілхлориду для водозабірних свердловин»

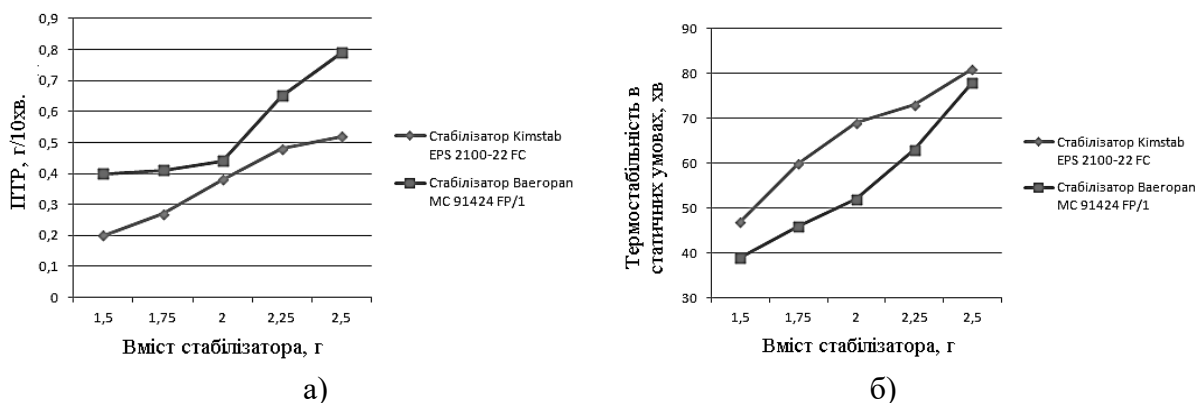


Рис. 1 – Залежність а) ПТР та б) термостабільності ПВХ-композицій в статичних умовах, від масового вмісту стабілізатора

Таблиця 1. – Результати фізико-механічних досліджень

| Назва показників                       | Вимоги ТУ     | Стабілізатор Kimstab EPS 2100-22 FC | Стабілізатор Baeropan MC 91424 FP/1 |
|----------------------------------------|---------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Межа текучості, МПа                    | Не менше 44,1 | 52                                  | 51                                  |
| Відносне видовження при розриві, %     | Не менше 25   | 48                                  | 48                                  |
| Опір удару при двохопірному згині, %   | Не більше 10  | 10                                  | 0                                   |
| Кільцева жорсткість, кН/м <sup>2</sup> | Не менше 20   | 53,32                               | 39,79                               |

Обрані зразки відповідають вимогам ТУ, тому можуть бути застосовані для виготовлення труб обсадних для водозабірних свердловин.

Але подальша додаткова термічна обробка для формування розтрубу супроводжується зміною кольору частини труби виготовленої композиції з додаванням стабілізатора Kimstab EPS 2100-22 FC (рис. 2 а). Це погіршує зовнішній вигляд виробу.



Рис. 2 – Фото труби виготовленої з ПВХ-композиції з додаванням стабілізатора а) Kimstab EPS 2100-22 FC та б) Baeropan MC 91424 FP/1.

Для виготовлення труб обсадних для водозабірних свердловин з ПВХ-композицій з метою покращення якості та безпечності готової продукції запропоновано замінити стабілізатори на основі свинцю на екологічно безпечні кальцій-цинкові марок Baeropan MC 91424 FP/1 у кількості 2% від маси ПВХ.

#### Список посилань

1. Handbook for the Chemical Analysis of Plastic and Polymer Additives, 2nd Ed. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.accustandard.com/media/assets/Plastic\\_Add\\_Guide2018.pdf](https://www.accustandard.com/media/assets/Plastic_Add_Guide2018.pdf)
2. ДСТУ 7576:2014 Полівінілхлорид суспензійний. Технічні вимоги

УДК 691.075.5

**Бондаренко О.П., канд. техн. наук, доцент**

**Цапко О.Ю., канд. техн. наук**

Київський національний університет будівництва і архітектури, bondolya3@gmail.com

Український державний науково-дослідний інститут «Ресурс», м. Київ,

alekseysapko@gmail.com

**Цапко Ю.В., докт. техн. наук, професор**

**Ліхнівський Р.В., канд. хім. наук**

Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ,

juriyts@ukr.net

## ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ ВОГНЕЗАХИСНОЇ ШТУКАТУРКИ ДЛЯ БЕТОНУ

Бетонні та залізобетонні конструкції є базою цивільного і промислового будівництва. Вони характеризуються стійкістю до навантажень, у тому числі до дії високих температур, наприклад, пожежі. Однак, з часом опір пожежі знижується, оскільки межа вогнестійкості конструкції з бетону залежить від її прогрівання. Так, при нагріванні бетону до 250 °С починається інтенсивне виділення пару води, що призводить до мікрровибуків. При нагріванні до 400...550 °С проходить процес інтенсивної дегідратації складових бетону з утворенням мікротріщин в конструкції, а при підвищенні температури до 900 °С цементний камінь втрачає міцність і руйнується [1]. Уникнути надмірного нагрівання бетону можливо за допомогою створення теплоізоляційного шару на поверхні конструкції.

У зв'язку з цим постає необхідність визначення теплоізолювальної здатності штукатурки з наповненням її алюмосилікатними мікросферами, що і обумовило необхідність проведення досліджень у даному напрямку.

Для дослідження теплопровідності теплоізоляційного виробу з штукатурки, наповненої алюмосилікатними мікросферами, були виготовлені зразки шляхом змішування портландцементу й піску з алюмосилікатними мікросферами у пропорції 1:2, з яких формували покриття розмірами близько 100x100x20 мм та поміщали на бетон і витримували протягом 21 доби (рис. 1). Для проведення досліджень використовували обладнання з пальником горючого газу, яке була оснащено пристроєм для вимірювання та реєстрації температури зразка (рис. 2).

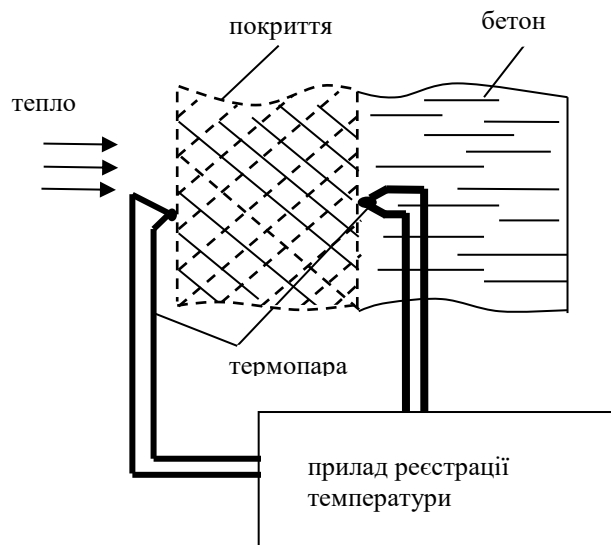


Рис. 1 – Зразки виробів для досліджень Рис. 2 – Схема випробувань температурпровідності

Визначення вогнезахисних властивостей штукатурки здійснювали шляхом оцінювання характеристик температури на оберненій поверхні під дією полум'я в лабораторних умовах, які контролюються. Випробування проводили протягом 1800 с, при цьому пальник встановлювали у горизонтальному положенні з висотою полум'я 40 мм. Після чого пальник підпалювали, підводили до зразка та вимірювали температуру на зворотній поверхні штукатурки [2]. Критерієм визначення теплопровідності вогнезахисного покриття при термічній дії є утворення температури на внутрішній поверхні штукатурки понад 200 °С.

Результати досліджень з визначення ефективності вогнезахисту бетону наведено на рис. 3, а на рис. 4 показано експериментальну криву температури на внутрішній поверхні штукатурки.



Рис. 3 – Визначення ефективності вогнезахисту бетону

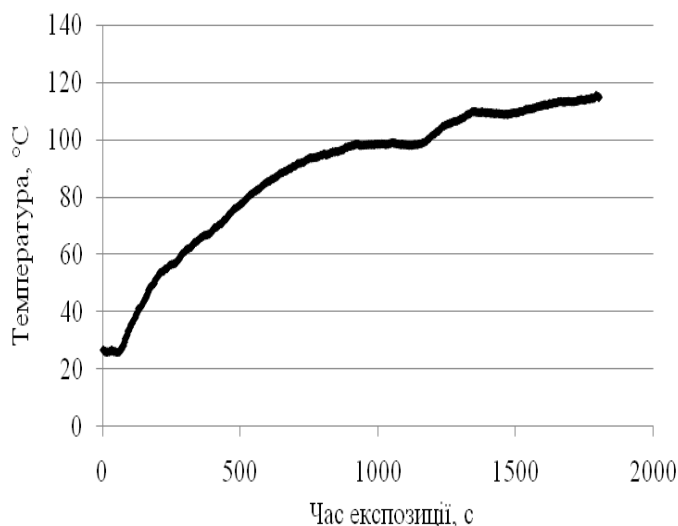


Рис. 4 – Температура на оберненій поверхні штукатурки при впливі полум'я пальника

Дослідження показали, що при дії полум'я пальника зразок вогнезахисного покриття витримав термічний вплив. При дії високої температури відбувалось теплоізолювання бетону протягом 1800 с, температура на оберненій поверхні оболонки кабелю не перевищила 120 °С.

**Висновок.** Таким чином, особливості гальмування процесу передавання тепла до бетону, що оброблений штукатуркою (вогнезахисним покриттям), полягають в утворенні на поверхні теплозахисного шару. Так, на поверхні зразка була створена температура, що значно перевищила температуру розкладу бетону, а на необігрітій поверхні – не перевищила 120 °С.

#### Список посилань

1. Шналь Т.М. Методика досліджень залізобетонних блоків з пошкодженнями, отриманими за дії навантаження [Текст] / Т.М. Шналь, Б.Р. Турчин, З.З. Бліхарський, П.І. Вегера // Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка» «Теорія і практика будівництва». – 2018. – № 877. – С. 212–217.
2. Tsapko Yu. Thermophysical characteristics of the formed layer of pinocox in fire protection of fabric by composition based on modified phosphorus-ammonied [Текст] / Yu. Tsapko, A. Tsapko, O. Bondarenko, V. Chudovska, I. Sotnikova, D. Sotnikov // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2021. – Vol. 3, No 10 (111). – P. 34–41. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.233479.

UDC 665.637.8

**Yurij Khlibyshyn, PhD, Associate Professor**

**Oleh Hrynyshyn, DSc(Tech.), Professor**

**Iryna Pochapska, PhD, Associate Professor**

Lviv Polytechnic National University, iryna.y.pochapska@lpnu.ua

## **PARTICULARITIES OF BITUMEN MODIFICATION BY OXIDATION OF PARAFFIN TARS**

Ukraine possesses relatively small oil reserves, making it crucial to explore ways of maximizing its utilization. The production of petroleum bitumen with predetermined properties is of significant importance. The quality of oxidized bitumen heavily relies on the quality of tars used in its production.

Tar, a mixture of various high-molecular organic substances such as oils, resins, and asphaltenes, forms the basis of bitumen [1]. Different types of bitumen are characterized by quality indicators that depend on the composition of these components and the structure of molecules within the group. Therefore, not every bitumen can be obtained from any tar. Industrial tars, obtained during oil distillation, do not meet the requirements of specific bitumen grades due to their excessive oil component. Oxidation with air oxygen is one method employed to produce marketable bitumen. However, changes in the chemical composition of tar impact the quality characteristics of the resulting bitumen.

An increase in the content of heavy aromatic hydrocarbons and asphaltenes in the starting bitumen leads to a corresponding increase in the oxidized bitumen. Consequently, these results in a higher softening temperature, decreased ductility, and impaired plasticity and low-temperature properties [1, 2].

The production of oxidized road bitumen from residual paraffinic oils is a complex process. Paraffins present in the heavy residues of paraffinic oil distillation are practically non-oxidizable, hindering the production of oxidized bitumen that meets technical requirements. When the paraffin content exceeds 3%, bitumens become brittle. Solid paraffins lack plastic and adhesive properties, negatively affecting the elasticity of bitumen and reducing its temperature range of plasticity, strength, and adhesion to mineral materials. Attempts have been made to develop technologies to mitigate the negative impact of excess paraffinic hydrocarbons on bitumen quality. Consequently, high-paraffin and low-resin oils are deemed unsuitable for bitumen production [3-4].

Several known technologies focus on reducing the content of paraffin-naphthenic hydrocarbons in tar and increasing the content of aromatic hydrocarbons and resins. One such technology involves increasing the depth of selection of distillate fractions during residual bitumen production, resulting in slight improvement in properties due to simultaneous reduction of paraffinic-naphthenic and aromatic hydrocarbon content. Consequently, a lower content of paraffinic-naphthenic hydrocarbons in the raw material enhances bitumen's ductility and brittleness temperature [5-6]. Another method involves paraffin modification, wherein paraffins in highly paraffinic oil residues (boiling point > 450°C) are partially destroyed, driven off, or isomerized into more reactive compounds using potassium persulfate, manganese acetate, or ozone.

However, traditional oxidation methods used to produce petroleum bitumen do not comply with existing standards, necessitating the improvement of bitumen properties. One approach to address this issue is obtaining bitumen through the oxidation of compound raw materials, allowing deliberate manipulation of performance characteristics. In this study, the method involved mixing paraffin tar with residue from the distillation of Orkhovitsk oil, followed by oxidation. The Orkhovitsk oil residue was introduced into the raw material at mass proportions of 10%, 30% and 50%.

Comparing the results presented in Table 1, it is evident that adding residue from the distillation of Orkhovitsk oil to paraffin tar yields bitumen with improved quality indicators. Specifically, elasticity increases from 35 (at 25°C) to 37 (at 25°C), while bitumen penetration decreases from 260x0.1 mm (at 25°C) to 165x0.1 mm (at 25°C). Thus, by altering the oxidation conditions of paraffin tar, petroleum bitumens with diverse properties can be obtained.

Table 1 – Properties of oxidized petroleum bitumen obtained on the basis of a mixture of paraffinic tar and residue from the distillation of Orkhovitsk oil

| Parameter                                   | The content of the residue from the distillation of Orkhovitsk oil , % мас. |      |      |      |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|------|------|------|
|                                             | 0                                                                           | 10   | 30   | 50   |
| Softening point,( ring-and-ball method), °C | 35                                                                          | 35   | 36   | 37   |
| Ductility at 25 °C, cm                      | 40                                                                          | 50   | 63   | 87   |
| Penetration at 25 °C, 0.1                   | 260                                                                         | 230  | 195  | 165  |
| Penetration index                           | -1,3                                                                        | -1,9 | -2,1 | -2,2 |
| Brittleness temperature, °C                 | -44                                                                         | -45  | -45  | -45  |

Notes: raw material – tar-0 (without modifier); process conditions: temperature – 250°C; volumetric air supply rate – 2.5 min<sup>-1</sup>, duration of oxidation – 3 h.

The influence of technological factors (temperature, duration of oxidation and air consumption) on the operational properties of oxidized petroleum bitumens was studied.

It has been established that bitumen with improved operational properties obtained from the residue of paraffinic oils can be used by adding to the raw materials the residue from the distillation of Orkhovitsk oil.

### References

1. Мала гірнича енциклопедія: у 3 т. / за ред. В. С. Білецького. – Д.: Донбас, 2004. – Т. 1 : А – К. – 640 с.
2. Особливості гудрона [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://homepage.com.ua/construction/osoblivosti-gudrona.html>.
3. Khlibyshyn Y. The study of the fabrication of bitumen from acid tars and oil residues/ Khlibyshyn Y., Pochapska I., Grynysyn O., Gnativ Z. // Питання хімії та хімічної технології. – 2018. – № 5 (120). – С. 161–167.
3. Donchenko M. Effect of modifiers of different classes on bitumen aging processes / Donchenko M., Grynysyn O., Khlibyshyn Y. // IOSR Journal of Applied Chemistry. – 2021. – Vol. 14, iss.12, series 1. – P. 16–21.
4. Гринишин О. Б. Модифікування дорожніх бітумів гумовою крихтою відпрацьованих шин / Гринишин О. Б., Нагурський А. О., Почапська І. Я., Хлібишин Ю. Я. // Екологічні науки. – 2017. – № 3/4 (18/19). – С. 64–70.
5. Почапська І. Використання відходів нафтовидобутку / Почапська І., Хлібишин Ю. // Поступ в нафтогазопереробній та нафтохімічній промисловості: матеріали XI Міжнародна науково-технічної конференції (Львів, 16–20 травня 2022 р.). – 2022. – С. 136–137.
6. Pochapska I. Study of technological parameters of acid tar processing/ I. Pochapska, Y. Y. Khlibyshyn, O. B. Hrynysyn. // Сучасні технології переробки паливних копалин: Тези доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції (Харків, 11-12 квітня 2023 р.). – 2023. – С. 94–96.



УДК 661.874

Дудченко О.В., магістр  
Бутенко О.О., докт. філософії

Київський національний університет технологій та дизайну, butenko.oo@knutd.edu.ua

## ОСОБЛИВОСТІ НАНЕСЕННЯ НІКЕЛЕВОГО ПОКРИТТЯ

Нікелеві покриття відносяться до захисно-декоративних. Товщина нікелевих покриттів сягає 0,5...300 мкм і обирається в залежності від умов експлуатації покриттів. Така властивість нікелю, як створення на своїй поверхні тонкої оксидної плівки, стійкої до дії кислот та лугів, дозволяє використовувати його для антикорозійного захисту деталей із сталі, бронзи, латуні, алюмінію, міді та інших матеріалів. Завдяки нікелюванню значно покращуються фізико-механічні та декоративні властивості виробів із металу.

Електролітичне нікелювання – це один з найбільш розповсюджених технологічних процесів гальванотехніки, що складає приблизно половину всіх покриттів, одержаних електрохімічним методом. Крім нанесення на металічні вироби нікель можна наносити також на неметалічні матеріали – кераміку, пластмасу, скло та інше [1]. Широке застосування нікелювання обумовлене схильністю нікелю до пасивації, це забезпечує стійкість покриття та збереження його зовнішнього вигляду як у атмосферних умовах, так і в багатьох органічних сполуках, в розчинах лугів та незначну розчинність у мінеральних кислотах.

Недоліком нікелю є здатність поглинати значну кількість газів, що погіршує його механічні властивості. Так як стандартний потенціал нікелю 0,25 В, то у всіх середовищах він являється по відношенню до заліза катодним покриттям, тому основною умовою для забезпечення захисту заліза від впливу зовнішнього середовища є зменшення пористості нікелевих покриттів. Чим тонший шар нікелю, тим більша пористість. Невидимі для ока пори стають зародками корозії, щойно в них потрапляє волога. Мікроелемент, що при цьому утворюється, у якому залізо є розчинним електродом, викликає корозію на поверхні нікелевого покриття [2]. Товщина шару нікелю, при якій покриття практично немає пор – 25-30 мкм. Тому для зменшення товщини шару нікелю, так як він відноситься до дорогих і дефіцитних металів, його зазвичай наносять на мідний підшар.

Електроосадження металів групи заліза (Ni, Fe, Cr) із розчинів простих солей має ряд особливостей в порівнянні з іншими металами. Розряд йонів металу протікає при високій катодній поляризації та низькій перенапрузі водню, що викликає деякі труднощі, так як на катоді разом з металом виділяється і водень.

При низьких значеннях рН (нижче 1 – 2) нікель майже не осідає і на катоді виділяється водень, а при високих значеннях рН осадження нікелю вести не можна, так як починається гідроліз. Продукти гідролізу сприяють затримці пухирців водню на поверхні катода, в результаті чого осаджений нікель стає поруватим, шорстким та тьмяним.

Для нікелювання застосовують сульфатні, хлоридні, сульфаматні, борфторидні, кремнефторидні та інші електроліти. Більш продуктивними являються сульфаматні та сульфатно-хлоридні електроліти [3].

### Список посилань

1. Wańkowicz-Lis A., Oleksiak B., Siwiec G., Wieczorek J., Tomaszewska A., Decorative metallic coatings applied with galvanic method. *Metalurgija*, 2018. 57(3), 165-167.
2. Якименко Г.Я. Технічна електрохімія. Ч.3. Гальванічні виробництва: Підручник/ За ред. д-ра техн. наук, проф. Б.І. Байрачного. – Харків: НТУ «ХПІ», 2005. – 312 с.
3. Xu Yang-tao, Dai Yujie, Zhang Wei. Microstructure and texture evolution of electrodeposited coatings of nickel in the industrial electrolyte. *Surface and Coating Technology*. 2017, Pages 170-177.

Sergii Verbytskyi, PhD, Engineering  
Larysa Borsoliuk, Researcher.  
Nataliia Patsera, Researcher

Institute of Food Resources of NAAS, Kyiv, Ukraine, tk140@hotmail.com

### ENHANCED PRODUCTION TECHNOLOGY OF RESTRUCTURED MEAT PRODUCTS WITH THE USE OF A MICROCUTTER

Comminuting raw meats is among the most important processes for the production of restructured meat products – boiled sausages, frankfurters, pâtés, etc. On the one hand, the comminuting process of raw meats ensures the sensorial properties of the product acceptable to consumers, on the other hand it significantly increases the energy intensity of the production process as a whole. A typical scheme for the preparation of meat staffs for these products consists in the use of mincers followed by the use of cutters with a rotating bowl, these providing the proper quality of size reduction and are well developed in terms of design [1-4]. However, are unnecessarily metal-intensive, energy-intensive and expensive. Therefore, in to-day meat processing practice, along with them / instead of them, microcutters (flow cutters) are used – effective continuous comminuting machines that differ from cutters in a simpler design and lower metal consumption [5,6]. For example, the technological scheme for size reduction of raw meats for the production of restructured products, which involves the consistent use of a mincer, a cutter with a rotating bowl and a microcutter, has shown its effectiveness. Such a scheme allows saving energy resources by combining short-term processing on an energy-intensive cutter with a rotating bowl and further processing on a microcutter, the energy intensity of which is much lower. Thus, it is possible to reduce the cost of production without compromising the quality of the restructured meat products.

Based on the above considerations, the Institute of Food Resources of NAAS developed the Ya5-FEM emulsifier (Fig. 1) with two pairs of multi-toothed rotor-stator working bodies, designed to equip small and medium-sized enterprises. The productivity of the device is up to 2.8 mt/h, the installed power is 22 kW, the rotation speed of the drive shaft is 3000 rpm [5,6].

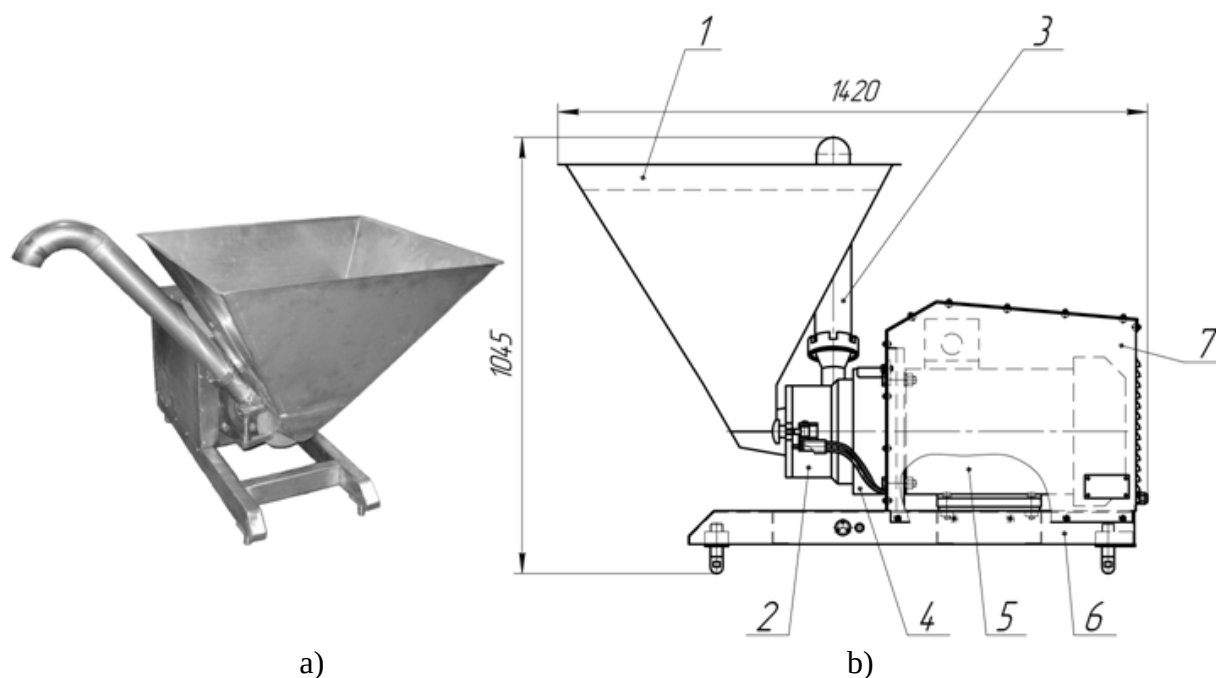


Fig. 1 – Photo (a) and scheme (b) of the Ya5-FEM emulsifier: 1) hopper; 2) body; 3) unloading pipeline; 4) support; 5) electric motor; 6) frame; 7) casing

Accordingly, technological schemes for the manufacture of restructured products using an emulsifier have been developed. Fig. 2 shows a process flow diagram for the production of restructured boiled sausages.

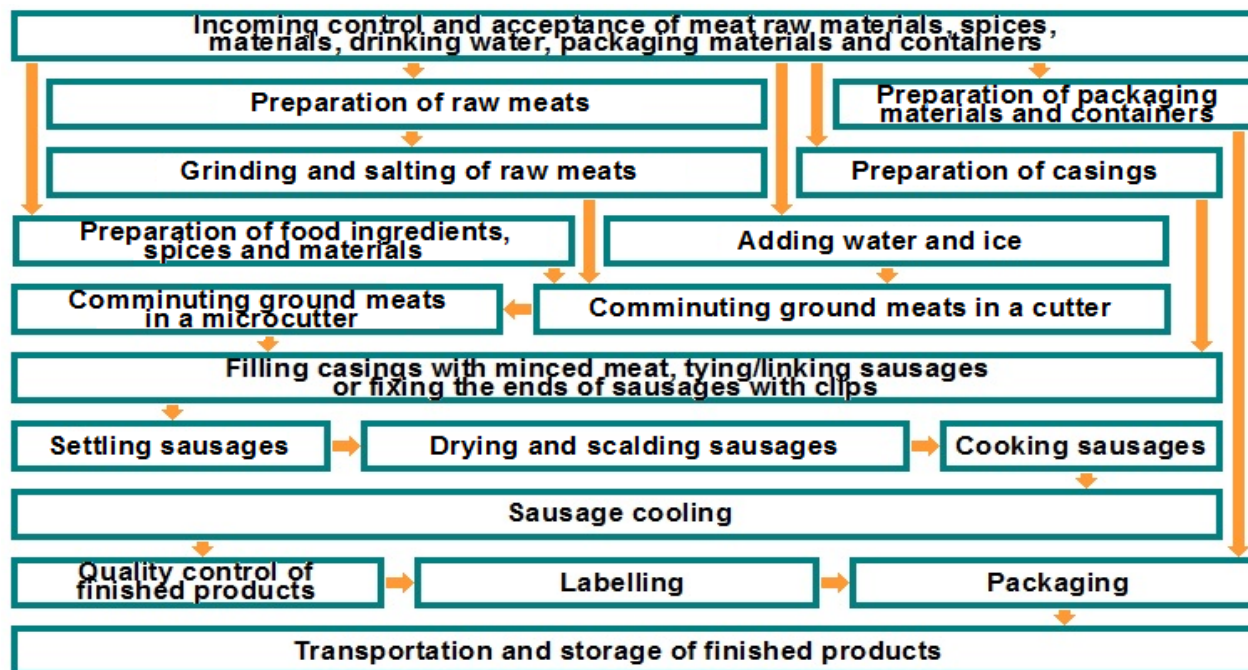


Fig. 2 – Process flow diagram for the production of restructured boiled sausages using a microcutter

The developed technology for the production of restructured boiled sausages using a microcutter complies with the national standard of Ukraine DSTU 4436:2005 [7]. The new technology provides for the possibility of assigning technological cycles of the microcutter operation in the process of comminuting minced meat with different contents of added water, based on the conditions for not exceeding the threshold values of the temperature of the processed minced meat.

### References

1. Hammer, G. Geschwindigkeit von Welle und Schüssel: Kutting mit einem und mit zwei Messern bei gleichen Verhältnissen von Wellen- zu Schüsselgeschwindigkeiten [Text] / G. Hammer, S. Stoyanov // Fleischwirtschaft: von der Erzeugung bis zur Vermarktung von Lebensmitteln tierischen Ursprungs. – 2010. – No 90. – S. 96-98.
2. Nekoz, A. Durability of cutter assemblies and its causative factors [Text] / A. Nekoz, O. Venglovsky, A. Batrachenko A. // Foods and Raw Materials. – 2018. – V. 6. – No 2. – P. 358-369.
3. Deinichenko, G.V. Improving the processing of meat raw materials at catering establishments: Monograph / G.V. Deinichenko, A.A. Prostakov, V.V. Dub // Kharkiv: Student Center, 2003. – 349 p.
4. Barbut, S. The science of poultry and meat processing [Text] / S. Barbut // University of Guelph Guelph, Ontario, Canada, 2015. – 764 p.
5. Verbytskyi, S.B. Upgrading the Mathematical Model of Raw Meat Comminuting Process in Flow Cutter [Text] / S.B. Verbytskyi, O.V. Batracenko, N.V. Filimonova // Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences. – 2019. – No 1 (32). P. 25-35.
6. Verbytskyi, S.B. Design and technological peculiarities of use of a flow cutter for meat [Text] / S.B. Verbytskyi, Ye.V. Kopylova, N.F. Usatenko, T.A. Kryzhskaya // Herald of SU named after Shkarim of Semey City. – 2019. – No 1 (85). – P. 18-22.
7. Boiled sausages, frankfurters, sardellas, meat loaves. General specifications: DSTU 4436:2005. – In force from 2006-07-01. – Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy. – 2006. – 32 p.

УДК 664.61

Хребтань О.Б., канд. техн. наук, доцент

Волкова Р.М., старший викладач

Національний університет «Чернігівська політехніка», [olenaborisovnahrebtan@gmail.com](mailto:olenaborisovnahrebtan@gmail.com)

## ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ПЕЧЕЙ ДЛЯ КРАФТОВИХ ПЕКАРЕНЬ

Останнім часом в м. Чернігові та Чернігівській області з'являється все більше крафтових пекарень, які суттєво допомагають забезпечити населення хлібобулочними виробами. Особливо це актуально сьогодні для нашого регіону, адже більшість хлібозаводів було зруйновано з початку війни з РФ, а в тих підприємствах, які були пошкоджені, тільки частково відновився виробничий процес.

Велику допомогу отримали мешканці м. Чернігова та області, які взяли участь в програмі «Власна справа» урядового проєкту «Робота». Мета цієї програми – допомогти людям створити власний бізнес або підтримати вже налагоджений. Так, в с. Новий Биків Бобровицького району відкрилася сімейна пекарня родини Могильних. Кожного дня в пекарні випікають понад 100 одиниць хлібобулочної продукції і повністю забезпечують мешканців свого села (три тисячі чоловік).[1] В м. Чернігові відкрилися і вже стали популярними крафтові пекарні: «Сімейна пекарня», «Маленька пекарня» та інші, розташовані у різних районах міста. Більшість крафтових пекарень м. Чернігова та області використовують конвекційні печі з функцією зволоження випічки в процесі приготування. Конвекційні печі – це ресторанне теплове обладнання, яке застосовується для випікання хлібобулочних виробів, смаження, розігрівання м'ясних, рибних, овочевих страв.

Для успішної роботи в крафтових пекарнях необхідно ретельно підібрати спеціальне обладнання: піч, вистійну шафу, виробничі столи, холодильне обладнання та ін. Безумовно, найважливішим питанням є вдалий добір печі для випікання хлібобулочних виробів. До хлібопекарського обладнання і печей, зокрема, висуваються високі технічні і технологічні вимоги тому, що від якості та функціональності обладнання залежить якість та обсяги готової продукції, мінімізуються відходи.

Принцип конвекції полягає в рівномірному розподілі гарячого повітря за допомогою елементів нагрівання – ТЕНів, які розташовуються в верхній і нижній частині робочої камери печей. Розподіл гарячого повітря в середині камери здійснюють вентилятори. Саме такий принцип роботи печей сприяє рівномірному пропеченню хлібобулочних виробів, зменшенню утворення дефектів під час випікання та підвищенню якості готової продукції.[2] Крім того, готові вироби не втрачають свої корисні речовини, адже час приготування в таких печах скорчується, а сам процес випікання «лагідно» впливає на хлібобулочні вироби.

Оскільки, нові види конвекційних печей з сенсорним управлінням (електронним) коштують дорого і, в більшості, недоступні маленьким пекарням, то крафтові підприємства використовують конвекційні печі з механічним управлінням. При механічному режимі роботи конвекційної печі, виробничі параметри завдаються пекарем вручну. Хоча обсяг функцій в таких печах значно менший, ніж в електронних, але при цьому пекар може ретельно підібрати і виставити всі необхідні параметри індивідуально для кожного виду виробів. Сьогодні, пропонується широкий асортимент різних за принципом роботи професійних конвекційних печей, для виробництва хлібобулочної продукції: 1) бойлерні – великі за габаритами, з функцією зволоження продукції; 2) інжекторні, призначені для швидкої теплової обробки замороженої продукції, напівфабрикатів; 3) без пароутворення – для випікання дрібної хлібобулочної продукції, нескладних других страв із заморожених напівфабрикатів.

### Список посилань

1. <https://economy.cg.gov.ua/index.php?id=6544&tp=1&pg=>
2. <https://technofood.com.ua/ua/stati/konveksionnaia-pech-dlia-obshchepita>

УДК 687.13

Рубанка А.І., канд.техн.наук, доцент  
Герасименко О.Д., докт.філ. наук, доцент  
Лобєко В.О., магістрант

Київський національний університет технологій та дизайну, [rubanka.ai@knu.edu.ua](mailto:rubanka.ai@knu.edu.ua)

## ВИКОРИСТАННЯ ПРИНЦИПІВ ТРАНСФОРМАЦІЇ ПРИ ПРОЄКТУВАННІ ДИТЯЧОГО ОДЯГУ

Проектування сучасного дитячого одягу є багатофакторною задачею, на яку впливають напрямки моди, статево-вікова група, характеристики використовуваних матеріалів, параметри носіння, сезонність, місце проживання, уподобання дитини і її батьків тощо [1]. Аналіз сучасного дитячого одягу вказує на те, що при його проектуванні досить широкого використання набуло застосування принципів трансформації. Так, відомими принципами є: «відділення – приєднання», «орієнтація», «згортання – розгортання», «зникнення – поява», «заміщення», «суміщення – вкладання», «перестановка», «розтягування – стискання», «регулювання – фіксування» [2].

Найбільш використовуваним у дитячому одязі є принцип «регулювання – фіксування», що забезпечує можливість адаптації одягу до швидкої зміни зросту та об'єму дитини та її морфологічних особливостей. Даний принцип, в тому числі, забезпечує унеможливлення потрапляння зниженої температури, вітру та дощу в підодяговий простір за рахунок використання куліс, внутрішніх та зовнішніх манжет, пат тощо.

«Відділення – приєднання» використовується переважно для збільшення функціональності виробу. Прикладом можна назвати використання з'ємних капюшонів, рукавів, утеплюючих підкладок, рукавиць тощо. Принцип «згортання – розгортання» найхарактерніший для новонароджених, дітей ясельної, дошкільної та молодшої шкільної групи, так як забезпечує адаптацію довжини виробів до швидкої зміни зросту дитини (наприклад, відвороти штанів та рукавів) [3].

Варто виокремити елементи, що підвищують видимість дитини в темну пору доби або при умовах поганої видимості. До цих елементів можна віднести світлоповертаючі або флюорисцентні вставки, що розміщують переважно на верхньому одязі. Також активно використовуються smart-технології у вигляді елементів з активним миготливим сигналом, які значно убезпечують дитину на проїзній частині.

Таким чином, охарактеризовано основні принципи трансформації, що використовуються при проектуванні сучасного дитячого одягу. Встановлено, що вони досить широко використовуються при проектуванні дитячого одягу, так як забезпечують можливість збільшення функціональності виробів, терміну їх носіння, зміну візуального сприйняття та ін.

### Список посилань

1. Герасименко О. Д. Дитяча мода в Україні ХХ – початку ХХІ століть: еволюція, тенденції, проєктна практика :дис. ... д-ра філософії : спеціальність 022 - Дизайн ; галузь знань 02 - Культура і мистецтво : захист 03.06.2021 / Герасименко Олена Дмитрівна ; наук. кер. К. Л. Пашкевич ; КНУТД. – Київ, 2021. – 350 с.
2. Назарчук Л. В. Якість та комфортність дитячого одягу з елементами трансформації [Текст] / Л. В. Назарчук // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Технічні науки. - 2016. - № 3 (98). - С. 148-153.
3. Гриценко О. С. Особливості дотримання фешн-стилів у творчих колекціях дитячого одягу / О. С. Гриценко // Збірник матеріалів II Міжнародної наукової конференції текстильних та фешн технологій Kyiv Tex & Fashion / за заг. ред. Л. І. Зубкової : (1-2 листопада 2018 рр., м. Київ). - Київ : КНУТД, 2018. - С. 150-153.

УДК 664.1

Самохвалова О.В., канд. техн. наук, професор

Касабова К.Р., канд. техн. наук, доцент

Бабасєв С.О., аспірант

Державний біотехнологічний університет, м.Харків, babaev173@gmail.com

## ПЛОДООВОЧЕВА ПАСТА ЯК ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ ІНГРЕДІЄНТ У ТЕХНОЛОГІЇ РАХАТ-ЛУКУМУ

За останні роки у всьому світі зростає кількість споживачів, які піклуються про своє здоров'я, обираючи продукти харчування з «чистою етикеткою» чи функціонального призначення. Цукристі кондитерські вироби за рахунок значного вмісту цукру характеризуються високою калорійністю та відмінними споживчими якостями. Проте, попит на здорові продукти харчування змінює напрям у бік розробки функціональних кондитерських виробів, особливо тих, що пов'язані з імунною та серцево-судинною системами. Пастильно-мармеладні вироби мають деякі переваги перед іншими цукристими кондитерськими виробами за рахунок наявності у складі фруктового пюре, але і недоліки, а саме наявність барвників та ароматизаторів, що імітують натуральні, та висока кількість цукру, що погано впливає на здоров'я людини.

Поряд з пастильно-мармеладними виробами споживачі також віддають перевагу такому представнику східних солодошів, як рахат-лукум. Сировиною для його виробництва є фруктовো-ягідна сировина, велика кількість цукру та крохмалю. Проте, вироби характеризуються низьким вмістом вітамінів, макро- та мікроелементів, та інших біологічно активних речовин.

Рахат-лукум, як традиційні турецькі солодоші, швидко поширились по всьому світу та, наразі, користуються попитом як у Європейських країнах, так і східних. У низці країн, зокрема нашої, згідно до нормативної документації використовують плодово-ягідне пюре, промислове виробництво якого залишає його збіднілим на корисні речовини. Так, науковцями із всього світу було запропоновано використання м'якоті кизилу та айви, гранату та продуктів його переробки, пуллуану у якості заміни крохмалю, тощо.

Відомо, що найпоширенішими проблемами у світі є хронічні захворювання такі як діабет, серцево-судинні захворювання, ожиріння, тощо. Одними з причин виникнення яких є підвищене споживання рафінованої їжі, жирів тваринного походження, трансжирних кислот, цукрів, а також знижене споживання овочів і фруктів. Однією із тенденцій у світі є виробництво продуктів рослинного походження, що виготовлені низькотемпературним способом для збереження більшої кількості вітамінів, макро- та мікроелементів, та інших біологічно активних речовин. Які все більше знаходять застосування у різноманітних технологіях кондитерських виробів як функціональні інгредієнти так і заміники барвників, що імітують натуральні. Зробивши висновок можна сказати, створення продукту на основі низькотемпературного способу виробництва плодовоовчевої пасти з подальшим використанням її у виробництві лукуму є актуальним.

Метою дослідження є удосконалення технології лукуму функціонального призначення шляхом внесення розробленої багатокомпонентної плодовоовчевої пасти. Це дозволить розширити асортимент рослинних добавок, які є джерелом корисних нутрієнтів та надати лукуму функціональні властивості з одного боку а з іншого оригінальні органолептичні властивості.

Нами на основі дослідів, було обрано склад багатокомпонентної плодовоовчевої пасти з яблука, айви та грабуза у співвідношенні 30:50:20 відповідно. Данний зразок має насичений жовтопомаранчевий колір та приємний смак айви.



Для подальших дослідів було обрано як контрольний зразок технологію рахат-лукума, який виготовляється з цукру, крохмалю, пюре (ягідного, фруктового або цитрусового) з додаванням лимонної кислоти, барвника та ароматизатору. Запропонована повна заміна пюре (ягідного, фруктового або цитрусового) на розроблену багатокомпонентну плодоовочеву пасту з яблук, айви та гарбуза. Структуроутворювачем під час приготування є крохмаль, а за рахунок високого вмісту пектинових речовин у плодоовочевій пасті. Попередніми дослідженнями [1] було встановлено доцільність зменшення його рецептурної кількості у системі на 80%.

Таблиця 1. Показники якості дослідного зразку лукуму

|                                                       | Смак                                                         | Запах                                       | Колір                        | Форма та стан поверхні                                                        |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Контроль (рахат-лукум)                                | Властивий лукуму, без стороннього присмаку                   | Властивий лукуму, без стороннього запаху    | Світло-жовтий                | Правильної форми, з виразним контуром та рівномірно обсипаною цукровою пудрою |
| Лукум з плодоовочевою пастою та вмістом крохмалю 80 % | Властивий лукуму, кислувато-солодкий з гарним присмаком айви | Властивий лукуму, з відчутним ароматом айви | Насичений жовто-помаранчевий | Правильної форми, з виразним контуром та рівномірно обсипаною цукровою пудрою |

Важливими характеристиками якості готових виробів є органолептичні (табл. 1) та фізико-хімічні показники (рис. 1).

Під час пробних лабораторних приготувань рахат-лукуму з плодоовочевою пастою було відмічено, що аромат та колір має насичений сформований букет. Тож у дослідному зразку також запропоновано виключення з рецептури барвника та ароматизатора. Також були проведені дослід з визначення вязкості лукуму результати показали що, зразок лукуму зі 100%-ою заміною пюре на плодоовочеву пасту має максимальну в'язкість незруйнованої структури на початку прикладення зсувного зусилля – 907 Па·с. При зменшенні відсоткового вмісту крохмалю відбувається зменшення в'язкості зразків лукумної маси. При вмісті крохмалю 70 % в'язкість становить менше ніж у контрольного зразка, тому подальше її зменшення не є доцільним. Оптимальним відсотковим значенням кількості крохмалю є 80% при в'язкості – 690 Па·с, що підтверджує попередні дослідження.

Можна зробити висновки, що рецептурне співвідношення плодоовочевої пасти має найкращий показник ефективної в'язкості порівняно з яблучною пастою та іншими дослідними зразками, що сприятиме кращому структуроутворенню лукума та гарними органолептичними показниками, а саме кисло-солодким смаком з приємним запахом айви, насиченим жовто-помаранчевим кольором, драглеподібною, злегка тягучою, в'язкою консистенцією та правильною формою з чітким контуром. Крім того, сприятиме збагаченню рахат-лукуму функціональними інгредієнтами.

#### Список посилань

1. Kasabova, K., Samokhvalova, O., Zagorulko, A., Zahorulko, A., Babaiev, S., Bereza, O., Ponomarenko, N., Tesliuk, H., Yukhno, V. (2022). Improvement of turkish delight production technology using a developed multi-component fruit and vegetable paste. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6 (11 (120)), 51–59.

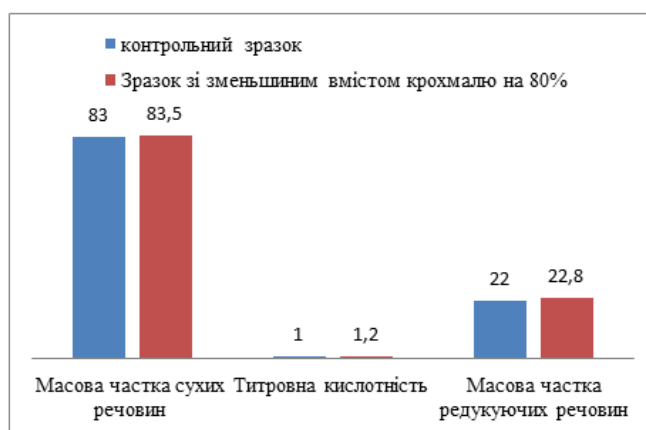


Рисунок 1. Фізико-хімічні показники якості лукумної маси

УДК 677.023.23

Кайдаш М.Д., канд. техн. наук, доцент

Національний університет «Чернігівська політехніка», [0203kmdcn@gmail.com](mailto:0203kmdcn@gmail.com)

## АНАЛІЗ МЕХАНІЗМУ УТВОРЕННЯ КРАТНОГО БАЛОНА ПРИ ОСЬОВОМУ ЗМОТУВАННІ НИТКИ З ТЕКСТИЛЬНОГО ПАКУВАННЯ

Однією зі складових виробництва та перероблювання текстильних волокон і ниток є процес їх осьового змотування з пакувань. При змотуванні нитка здійснює позовжний рух і водночас обертається навколо осі пакування. Внаслідок такого складного руху нитка набуває форми просторової кривої, яка при обертанні утворює фігуру, що називається балоном.

Характерною особливістю балонуючої нитки є утворення так званого кратного балона. Кратність балона, його геометрія та натягнення в ньому нитки зумовлені великою кількістю факторів різної природи: конструктивних, технологічних та фізико-механічних. Деякі з них, як радіус пакування  $r$ , висота балона  $h$  та довжина нитки в балоні  $l$ , в процесі змотування безперервно змінюються. Інші – як лінійна щільність нитки  $N$  та швидкість змотування залишаються сталими.

Якщо в процесі осьового змотування нитки кратність балона змінюється, то це призводить до нестабільності його форми. В результаті підвищується амплітуда коливань натягнення нитки, що є причиною її підвищеної обривності.

Проблема боротьби з обривністю нитки при її осьовому змотуванні не є новою. Проте, не зважаючи на свою давнину, вона набуває особливої важливості з огляду на тенденцію збільшення швидкостей перемотування на сучасному обладнанні.

Дослідженню балона при осьовому змотуванні ниток присвячена велика кількість робіт. А втім, внаслідок складності процесу, автори відомих робіт не мають єдиного підходу щодо природи утворення кратного балона. Так, за однією з наявних теорій, основною причиною утворення кратного балона є позовжний рух нитки [1]. Інші автори вважають, що характер контуру балона визначається головним чином дією сил Коріоліса [2], або частотою обертання балона  $n$  [3].

Існує також точка зору, що ґрунтується на хвильовій концепції балонуючої нитки [3, 4, 5].

Отже, подальше вивчення механізму утворення кратного балона та його фізичної сутності на сьогодні також залишається актуальним.

Математична модель процесу осьового змотування нитки може бути представлена у вигляді системи диференціальних рівнянь, де враховано дію відцентрових сил інерції, сил Коріоліса та сил аеродинамічного опору [6, 7]. Але практичний розв'язок такої системи є суттєво ускладненим, оскільки потребує визначення геометричних та силових граничних умов, необхідних для визначення констант інтегрування. З цієї причини виникає необхідність побудови спрощених математичних моделей, що в максимальній мірі відповідають фізичній сутності процесу змотування.

Для візуальних спостережень за стаціонарним процесом змотування нитки було створено експериментальний стенд, що дає можливість відтворювати такий процес для різних комбінацій його параметрів (за винятком контурного руху нитки).

Серія проведених експериментів показала, що кінематичне збудження нижньої точки нитки на вибраному радіусі  $r$  при довільному виборі інших параметрів ( $l$ ,  $h$ ,  $N$ ,  $n$ ) викликає хаотичні коливання нитки без чітко визначених форми балона та його кратності. Тільки при певних сполученнях названих параметрів конфігурація нитки чітко стабілізується. Відповідну форму балона заведено називати стаціонарною. Особливість стаціонарної форми балона полягає в тому, що вона утворюється тільки при певній частоті обертання  $n^*$

і після утворення зберігає свою форму при переході до будь-яких інших частот, більших від  $n^*$ .

Таку особливість можна пояснити природою вільних коливань механічної системи, а саме: будь-який складний невпорядкований коливальний рух, що здійснює система без періодичного зовнішнього впливу, можна сприймати, як сукупність ряду власних коливань. Кожне з таких коливань відбувається з різною частотою і має свою власну форму. Отже, власні форми можна розглядати, як деякі натуральні характеристики системи, що можуть проявляти себе в певних умовах статичного або динамічного впливу.

Відомо, якщо в початковий момент часу коливальна система не має визначеної форми, то з часом, при відсутності зовнішнього впливу, характер коливань може суттєво змінюватися, набуваючи чіткої конфігурації відповідно до однієї з нижчих власних форм системи [8]. Сутність такого явища полягає в тому, що разом зі згасанням початкового складного коливання зникають компоненти руху високих власних частот. Так при зниженні частоти обертання нитки утворюється одна зі стаціонарних форм балона малої кратності.

Для власної форми коливань системи характерною ознакою є її висока стійкість. Стосовно балона ця властивість полягає в тому, що утворення його стаціонарної форми певної кратності можливо лише за наявності чітко визначеної сукупності геометричних, кінематичних та силових параметрів процесу змотування. Однак, якщо така форма вже виникла, то вона є стійкою для достатньо широкого діапазону вищезазначених параметрів. Такий висновок підтверджується експериментальними результатами: утворена стаціонарна конфігурація балона зберігається при переході до інших (вищих) частот обертання.

Нечутливість стаціонарної форми балона до частоти його обертання фізично обумовлена пропорційністю згинальної жорсткості при збільшенні параметра  $n$ . У разі переходу до низьких частот обертання  $n$ , коли згинальна жорсткість стає співмірною із величиною натягнення нитки, форма балона може змінюватися, переходячи у бік збільшення його кратності.

До причин, що визначають кратність балона і просторовий характер нитки відносять також сили Коріоліса та сили аеродинамічного опору. В більшості відомих робіт, де розглядається процес осьового змотування, цим силам відводиться домінуюча роль в утворенні просторового розташування нитки. Проте експериментальні дослідження показують, що вплив цих сил на геометрію балона не є визначальним.

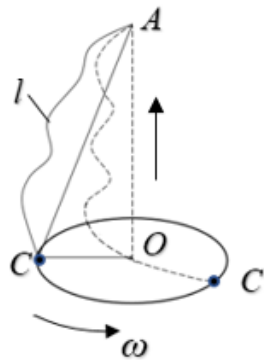


Рис. 1 – Утворення балона відповідно до хвильової концепції

Окрім зазначених, існує принаймні ще одна причина просторового розташування нитки в балоні. При круговому кінематичному збудженні із кутовою швидкістю  $\omega$  нижньої точки  $C$  нитки, що рухомо закріплена вгорі (точка  $A$ ), в ній виникає поздовжня згинально-крутильна хвиля, що рухається у вертикальному напрямку (рис.1).

Якщо не брати до уваги сили, що діють на нитку, то, відповідно до хвильової концепції, вона має бути розташована по складній гвинтовій лінії. Спостереження за балоном з використанням стробоскопа показують, що, незалежно від наявності поздовжнього руху

нитки, її опуклість орієнтована в напрямку обертання балона. Разом з тим просторове розташування нитки виглядає суттєво відмінним від гвинтової лінії: зі зниженням кратності балона обрис нитки мало відрізняється від плоскої форми. Головною причиною цього слід вважати відцентрові сили інерції, що діють паралельно горизонтальній площини та приводять нитку в балоні до найбільш компактної форми з максимальним натягінням. Теоретично такий стан відповідає відомому принципу «максимального натягіння дійсної форми балона» [9]. Таким чином, сили інерції можна розглядати, як деякий «механічний фільтр», що дозволяє розповсюдження поперечної хвилі тільки в площинах їх дії.

Важливим показником геометрії кратного балона є радіуси шийок, що відділяють одну півхвилю від іншої. За результатами експериментальних досліджень було встановлено: чим далі шийка розташована від площини кінематичного збудження балона, тим меншим є її радіус. Для практичного застосування можна рекомендувати наближену формулу

$$r_k = r \cdot \frac{k}{i},$$

де  $r$  – радіус кінематичного збудження нитки в балоні;

$k$  – номер шийки балона при відліку від вершини балона;

$i$  – кратність балона.

Проведеними аналітичними та експериментальними дослідженнями підтверджено хвильову концепцію утворення кратних балонів нитки в процесі осьового змотування. Встановлено, що при математичному описанні натягіння нитки в балоні малої кратності можливо використання її плоскої форми, яка обумовлена дією відцентрових сил.

Результати досліджень можуть бути використані для створення нових і удосконалення існуючих технологічних процесів у виробництві текстильних ниток.

#### Список посилань

1. Якубовский Ю.В. Еще раз о кратном баллоне / Ю.В. Якубовский // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1964. – № 2. – С. 155–160.
2. Гинзбург Л.Н. Некоторые вопросы формы и натяжения нити в баллоне / Л.Н. Гинзбург // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1955. – №6. – С. 23-26.
3. Гласионова Т.М. К вопросу о критериях перехода к одноволновому баллону / Т.М. Гласионова, Н.А. Кудрина // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1966. – №6. – С. 63-70.
4. Зак М.А. Условия образования кратных баллонов в баллонирующих нитях / М.А.Зак // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1968. – №3. – С. 135-139.
5. Курилко В.М. Исследование баллонирования нити: Автореф. дис. ...канд. техн. наук. – М.: 1970. – 15с.
6. Исаков Н. П. О натяжении нити в баллоне / Н. П. Исаков // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1961. – №2. – С. 88-95.
7. Минаков А.П. О форме баллона и натяжении нити на крутильных машинах. / А.П.Минаков // Изв. МТИ, 1929. – Т.2. – С. 5-35.
8. Бишоп Р. Колебания. Пер. с англ. – М.: Наука, 1979. – 160 с.
9. Мигушов И.И. Механика текстильной нити и ткани. / И.И. Мигушов. – М.: Легкая индустрия, 1980. – 160 с.

***ДЛЯ НОТАТОК***

## НАУКОВЕ ВИДАННЯ

### **ХІІ Міжнародна науково-практична конференція «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем»**

**25 – 26 травня 2023 року, м. Чернігів**

#### **Том 1**

Відповідальний за випуск

А.М. Єрошенко

Редактор

С.П. Сапон

Комп'ютерна верстка і макетування: О.С. Сапон, В.В. Гайовий

Прийнято 24.05.2023. Здано до друку 24.05.2023 р.

Формат 60×84/16. Гарнітура Times New Roman.

Ум.-друк. арк. 13,95. Тираж 100 пр. Зам. № 18/23

---

Редакційно-видавничий відділ Національного університету «Чернігівська політехніка»

14035, Україна, м. Чернігів, вул. Шевченка, 95.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців,  
виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції  
серія ДК № 7128 від 18.08.2020 р.