

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)
 ТОВ «ПЕТ Технолоджиз» (Україна)
 Академія наук вищої освіти України
 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 XIV міжнародної науково-практичної конференції «КОМПЛЕКСНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ»

Том 1

23 - 24 травня 2024 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 № 6 від 27.05.2024)*

К63 Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2024) : матеріали тез доповідей XIV Міжнародної науково-практичної конференції (м. Чернігів, 23–24 травня 2024 р.) : у 2 т. / Національний університет «Чернігівська політехніка» [та ін.] ; відп. за вип.: Єрошенко Андрій Михайлович [та ін.]. – Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2024. – Т. 1. – 336 с.

ISBN 978-617-7932-46-7

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Андрій Єрошенко, канд. техн. наук, доцент

Ірина Прибисько, канд. техн. наук, доцент

Анатолій Приступа канд. техн. наук, доцент

Микола Корзаченко, канд. техн. наук, доцент

Сергій Степенко, канд. техн. наук, ст. дослідник

Ольга Сапон студентка

Відповідальний координатор конференції:

канд. техн. наук, доцент Сергій Сапон, тел. (097) 3844197, e-mail: s.sapon@gmail.com або

kzyatps@gmail.com

<https://www.facebook.com/kzyatps/>

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 (BBEengineering 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 (Бакінський слов'янський університет, Азербайджан)
д.т.н., проф. Радзевич С.П., (EATON Corp., США)
проф. Сандал Ян-Урбан (Ректор інституту ім. д-ра Яна-Урбана Сандаля, 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. Зінько 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. Лавріненко 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. держ. упр., проф. Левченко Н.М. (м. Запоріжжя, Національний університет «Запорізька політехніка»)
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 І.В. (м. Суми, Сумський державний університет)
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. Серета 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. Юзефович Р.М. (м. Львів, Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України)
д.т.н., проф. Яремчук Л.А. (м. Львів, Національний лісотехнічний університет України)
д.т.н., проф. Яхно О.М. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)

Організатори конференції висловлюють щирі 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.** On the evolution of conjugate action law (in scientific theory of gearing) 20
EATON Corp., USA
- Slipchuk A., Novitskyi M.** Investigation of the axial tool feed effect on the geometric parameters of the chips in power skiving processing 22
Lviv Polytechnic National University, Lviv
- Volodymyr Chupryna,** Research of the metal cutting equipment dynamics in parts 23
State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification, Cherkasy, Ukraine
- Петраков Ю.В.¹, Охріменко О.А.¹, Сапон С.П.², Сікайло М.О.¹** Визначення анти-вібраційного режиму різання при кінцевому фрезеруванні 24
¹ *Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ*
² *Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів*
- Клименко С.А., Манохін А.С., Копейкіна М.Ю., Клименко С.Ан., Чумак А.О.** 27
Надтверді композити інструментального призначення, отримані з порошків cBN із покриттям
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, м. Київ
- Лавріненко В.І.¹, Скрябін В.О.¹, Солод В.Ю.², Кашинський І.С.²** Сучасні 29
розробки в нанесенні покриттів на алмазні зерна з метою зміни механохімічної активності їх поверхні
¹ *Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, м. Київ*
² *Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське*
- Шахбазов Я. О.¹, Широков В. В.¹, Паламар О.О.¹, Мельников О.В.², Олянишен Т.В.³** 31
Встановлення технологічних параметрів процесу правки шліфувальних кругів методом точіння
¹ *Українська академія друкарства, м. Львів*
² *IT STEP University, м. Львів*
³ *Національний лісотехнічний університет, м. Львів*
- Мироненко Є.В., Міранцов С.Л.** Дослідження та удосконалення конструкцій 33
відрізних різців
Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ
- Шевченко О.В., Пирч В.М.** Орієнтація пружної системи інструменту токарного верстата 34
Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ
- Пермяков О.А.¹, Яковенко І.Е.¹, Пермяков О.О.², Przemysław Józkowicz²** 36
Реверсивний інжиніринг деталей на основі адитивних технологій екструзійного 3d-друку констукційними термопластиками
¹ *Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків*
HERMES TECHNIC, м. Легница, Польща
- Яковенко І.Е., Пермяков О.А.** Моделювання процесу проектування системи 38
базування портативних верстатів
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків

Калафатова Л. П., Носов Р. О. Перспективи розвитку виробництва деталей типу тонкостінних оболонок з важкооброблюваних матеріалів	40
<i>ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», м. Покровськ, м. Луцьк</i>	
Данильченко Ю.М., Щоголь А.О., Петришин А.І. Оцінка похибок схем формоутворення зубчастого профіля черв'ячним інструментом	42
<i>Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ</i>	
Пальчевський Б. О. Принципи побудови інтелектуальних систем пакування	44
<i>Луцький національний технічний університет, м. Луцьк</i>	
Бабенко М.О., Махніборода Ю.В. Програмування координатної роботи у складі роботизованого технологічного комплексу	46
<i>ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», м. Покровськ, м. Луцьк</i>	
Нечаєв В.П., Рязанцев А.О. Оцінка впливу поверхневого плазмового зміцнення на міцність та пластичні властивості сталі	47
<i>Криворізький національний університет, м. Кривий ріг</i>	
Васильєв Є.А., Васильєв А.В. Спосіб пасивного шліфування на токарному верстаті	49
<i>Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», м. Полтава</i>	
Стецько А.Є. Вплив Ni-Co-P хімічного покриття на морфологію зміцнювальних поверхневих шарів	50
<i>Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів</i>	
Петров О.Д., Корбут Є.В. Перспективи застосування свердел з дискретно модифікованими робочими поверхнями для забезпечення якості отворів в деталях з волокнистих полімерних композиційних матеріалів	51
<i>Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ</i>	
Лапковський С.В., Фролов В.К., Гладський М.М., Шаповалов Г.Ю. Формалізація визначення структури робототехнічних систем за допомогою морфологічного класифікатора	52
<i>Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ</i>	
Фролов В.К., Лапковський С.В., Гладський М.М., Данилова Л.М. Застосування розмірного аналізу при проектуванні роботизованого складального виробництва	54
<i>Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ</i>	
Приходько В.П., Данилова Л.М., Лапковський С.В., Фролов В.К. Оцінка взаємокомпенсації похибок технологічних розмірів	56
<i>Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ</i>	
Лапковський С.В., Фролов В.К., Гладський М.М., Приходько В.П. Розмірний аналіз при роботизації складальних систем	58
<i>Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ</i>	
Медведєв В.В.¹, Фролов В.К.¹, Лапковський С.В.¹, Сапон С.П.² Модульний телескопічний підйомник	60
¹ <i>Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ</i>	
² <i>Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів</i>	
Кошель С.О.¹, Кошель Г.В.² Аналіз плоского механізму третього класу з двома структурними групами ланок	62
¹ <i>Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ</i>	
² <i>Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна», м. Київ</i>	

Бельмас І.В., Швачка А.В. Діагностика та врахування впливу поривів на міцність тросів канату зі змінним поперечним перетином <i>Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське</i>	64
Степура О.М., Кондрашев П.В. Оптимізація процесу лазерного різання меббдичного ендопротеза <i>Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ</i>	66
Скиба О.В., Брянкін С.С., Заяць М.Й., Рибачок Д.В. Технічні аспекти для враховування при проектуванні та виробництві навісного обладнання машин розмінування <i>Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Черкаси</i>	68
Білоус О.І., Танцура Г.І., Рябенко Є.С. Дослідження розподілу сил поміж опорами печі відпалювання руди <i>Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське</i>	69
Коломієць Л.В.¹, Лимаренко О.М.² Побудова математичної моделі телескопічної стріли автомобільного крану ¹ <i>Державний університет інтелектуальних технологій і зв'язку, м. Одеса</i> ² <i>Національний університет «Одеська політехніка», м. Одеса</i>	71
Тулупов В.І., Онищук С.Г. Забезпечення життєвого циклу виробів машинобудування комбінованими способами обробки <i>Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ</i>	73
Циганов В.В., Сахнюк Н.В., Кривих Ю. І., Лазарєва О. О. Моделювання фізичних процесів зношування бандажних полиць робочих лопаток ГТД <i>Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя</i>	74
Яблонський П.М.¹, Вірченко Г.А.¹, Роговський І.Л.², Волоха М.П.¹, Воробйов О.М.¹ Варіантні комп'ютерні геометричні моделі відвалів полицевого плуга ¹ <i>Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ</i> ² <i>Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ</i>	76
Ігнатенко П.Л., Ігнатенко О.А. Вплив токарної обробки на округлість деталей з порошкових спечених матеріалів, <i>Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів</i>	78
Дядя С.І., Козлова О.Б., Яхно Д.А., Карамушка Д.Р. Вплив зубцевої частоти на стійкість кінцевого фрезерування <i>Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя</i>	80
Валецький Б.П., Залета О.М. Застосування мехатронного модуля для 3D сканування <i>Луцький національний технічний університет, м. Луцьк</i>	81
Балака М.М., Бабський В.Р., Міщук Д.О., Санкін І.Є. Дослідження зносу шин скрепера в експлуатаційних умовах <i>Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ</i>	83
Філатов Ю.Д.¹, Бояринцев А. Ю.², Сідорко В.І.³, Ковальов С.В.¹, Ковальов В.А.⁴, Юрчишин О.Я.⁴ Полірування напівпровідникових матеріалів для оптотехніки ¹ <i>Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, м. Київ</i> ² <i>Інститут сцинтиляційних матеріалів НАН України, м. Харків</i> ³ <i>ДП «Інженерно-виробничий центр АЛКОН» НАН України, м. Київ</i> ⁴ <i>Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ</i>	84

Бабенко А.Є., Трубачев С.І., Лавренко Я.І. Розрахунок динамічних характеристик машинобудівних конструкцій	86
<i>Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ</i>	
Рябченко С.В. Шліфування зубчатих коліс кругами з рубін-корунду	87
<i>Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ</i>	
Пилипенко В.О., Стельмах Н.В. Метод вдосконалення конструкцій на основі генеративного дизайну	88
<i>Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ</i>	
Rudkovskiy I.E., Stelmakh N.V. Review and analysis of object distance estimation algorithms in rescue drone control systems	90
<i>National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv</i>	
Вовк О.В. Підвищення ефективності шліфування плоских поверхонь шляхом регулювання температури різання	92
<i>Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів</i>	
Шеремет О.М. Підвищення продуктивності шліфування циліндричних поверхонь шляхом керування площею контакту інструменту і заготовки	92
<i>Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів</i>	
Завертанний Б.С., Пасов Г.В., Аксьонова О.О. Створення дизайну та візуалізація тривимірних моделей у галузевому машинобудуванні та автомобілебудуванні як спосіб просування продукту	93
<i>Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів</i>	
Гриб В.В., Дегула А.І. Дифузійні покриття в машинобудуванні	95
<i>Сумський державний університет, м. Суми</i>	
Кисельова Т.В., Шолудько О.В. Етапи акредитації випробувальної лабораторії відповідно до ISO/IEC 17025:2017	97
<i>Національний авіаційний університет, м. Київ</i>	
Четербух О.Ю. Дослідження величини деформацій кулачків та роликів в плоскоштанцювальному пресі	99
<i>Українська академія друкарства, м. Львів</i>	
Четербух О.Ю. Встановлення необхідної твердості робочих контактних поверхонь деталей	100
<i>Українська академія друкарства, м. Львів</i>	
Биков М.С., Дегтярьов І.М., Нешта А.О., Щербина М.В. Перспективи розроблення пристроїв для затягування стику відцентрових насосів методом осьового видовження шпильок	101
<i>Сумський державний університет, м. Суми</i>	
Плис В.С., Дегтярьов І.М., Метенко О.М. Перспективи розроблення швидко переналагоджуваних гнучких верстатних пристроїв із застосуванням принципу розтискної цанги	102
<i>Сумський державний університет, м. Суми</i>	
Лещенко О. І. Дослідження точності позиціонування машин термічного різання з ЧПК і метод її підвищення	103
<i>Приазовський державний технічний університет, м. Маріуполь (м. Дніпро)</i>	
Романенко В.В., Кагляк О.Д., Блощин М.С., Романенко М.В., Євсюкова Є.В. Розробка технології газолазерної різки з вигладжуванням поверхні різів	105
<i>Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ</i>	

Чухліб В.Л., Колісник К.Д. Якість кованих гаків <i>Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків</i>	107
Мельник В.Б., Леусенко Д.В., Титаренко В.В. Підвищення зносостійкості вузлів тертя аерокосмічної техніки утворенням на поверхнях тертя фторвмісних нано - мікро - розмірних антифрикційних протизносних структур <i>Національний авіаційний університет, м. Київ</i>	108
Матюхін А.Ю.¹, Бенъ А.М.¹, Терентієв О.В.², Арцибашева М.С.¹ Аналіз процесу деформації кілець підшипника ¹ <i>Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя</i> ² <i>АТ «Мотор Січ», м. Запоріжжя</i>	111
Качан О. Я., Уланов С. О., Шаломєєв А. В., Шаломєєв В. В. Вплив умов деформування на поверхню пера лопаток компресора ГТД з титанових сплавів <i>Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя</i>	113
Михайлов О. В., Михайлов А. О., Штерн М. Б. Моделювання прямого видавлювання пористих заготовок, матеріал яких містить жорсткі включення <i>Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, м. Київ</i>	115
Мозговий О.В. Накопичення пошкоджень при термічній дії на композит алюміній-бор <i>Вінницький державний педагогічний університет імені М. Коцюбинського, м. Вінниця</i>	117
Пилипець М.І., Пилипець О.М., Грабовський А.П. Використання витих заготовок для виготовлення пружних зубчастих коліс <i>Тернопільський державний технічний університет ім. І. Пулюя, м. Тернопіль</i>	118
Чава К.С. Кисневе обладнання систем життєзабезпечення військово-транспортних літаків <i>Національний авіаційний університет, Київ</i>	119
Пасов Г.В., Кологойда А.В., Завертанний Б.С. Комп'ютерна обробка помилкових дослідів у галузевому машинобудуванні та автомобілебудуванні за допомогою Microsoft Excel <i>Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів</i>	121
Третяк О. В. Розрахунок напружено-деформованого стану бандажного вузла турбогенератора <i>Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», м. Харків</i>	123
Ковальов В.Д., Клименко Г.П., Васильченко Я.В., Шаповалов М.В. Розробка і дослідження гідростатичної черв'ячно-рейкової передачі для важких токарних верстатів підвищеної точності <i>Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ</i>	125
Огінський Й.К.¹, Власов А.О.¹, Гречаний О.М.¹, Васильченко Т.О.¹, Таратута К.В.¹, Шевченко І.А.¹, Грідин О.Ю.² Новий напрямок виробництва заготовок для металургії та машинобудування на основі метода валкової прошивки-прокатки <i>Запорізький національний університет, м. Запоріжжя</i> <i>Падерборнський університет, Німеччина</i>	127
Огінський Й.К.¹, Огінський О.Й.², Ремез О.А.², Бояркин В.В.² Нові технічні рішення у виробництві профільних труб <i>Запорізький національний університет, м. Запоріжжя</i> ² <i>Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро</i>	129

Волошин В.Н. Привод затиску від електрошпинделя головного руху токарного верстата з ЧПК <i>Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя, м. Тернопіль</i>	131
Шевченко О.А., Панасюк А.А., Нитка С.М. Випробування посудин під тиском покритих композитною оболонкою <i>Національний авіаційний університет, Київ</i>	133
Кужельний Я.В., Галенко Д.А., Палій І.М. Особливості конструкції та роботи гібридних автомобілів <i>Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів</i>	135
Ковалевський С.В., Ковалевська О.С., Сидюк Д.М. Математичне моделювання магнітно-резонансної обробки матеріалів для машинобудування <i>Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ</i>	137
Павленко П.М. Цифрові двійники адитивних технологій в металообробних галузях промисловості <i>Національний авіаційний університет, Київ</i>	139
Ivanko Andrii, Zenkin Mykola, Kolinko Illia Designing a device for making cardboard templates <i>National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv</i>	143
Четвержук Т.І., Повстяной О.Ю., Редько Р.Г., Полінкевич Р.М. Залежність жорсткості радіально-упорного кулькового підшипника шпиндельного вузла верстата від співвідношень зовнішніх навантажень <i>Луцький національний технічний університет, м. Луцьк</i>	144
Зінько Р.В., Глобчак М.В., Демчук І.Б. Виготовлення безповітряного колеса з еластичного поліуретану <i>Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів</i>	146
Кохановський В. О., Гуца В. В. Вплив експлуатаційних характеристик зволожувальних апаратів на якість друку <i>Національний технічний університет України «КПІ ім. І. Сікорського», м. Київ</i>	148
Цивінда Н.І., Пікільняк А.В., Зуєв І.О. Основні напрямки зниження трудоемності ремонту гідроциліндрів <i>Криворізький національний університет, м. Кривий рік</i>	149
Кологойда А.В., Пасов Г.В., Сіра Н.М. Аналіз високотехнологічних конструкцій різального інструменту та особливостей процесу різання <i>Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів</i>	152
Денисюк В.Ю. Підвищення точності обробки системи автоматичного керування врізним шліфуванням <i>Луцький національний технічний університет, м. Луцьк</i>	154
Венжега В.І., Пасов Г.В., Кологойда А.В. Підвищення точності обробки на двосторонніх торцешліфувальних верстатах варіюванням функції формоутворення <i>Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів</i>	156
Венжега В.І., Машковцев Д.С. Порівняння верстатів для шліфування зі схрещеними осями <i>Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів</i>	157
Козирєв О.С., Кагляк О.Д., Ритіков Є.О. Зворотна теплова задача при лазерному згинанні <i>Національний технічний університет України «КПІ ім. І. Сікорського», м. Київ</i>	159

- Козирєв О.С., Кагляк О.Д., Чухліб С.В.** Моделювання процесу нагрівання при лазерному згинанні 161
Національний технічний університет України «КПІ ім. І. Сікорського», м. Київ
- Мікосянчик О.О., Мельник В.Б., Герасимов В.О.** Розробка та обґрунтування напрямків розвитку процесів вигладжування деталей з титанових сплавів 163
Національний авіаційний університет, м. Київ
- Яровий Ю.В.¹, Жеглова В.М.¹, Кібаков О.Г.², Хомяк Ю.М.²** Аналіз технологічних процесів виготовлення вантажних барабанів 164
¹ Національний університет «Одеська політехніка», м. Одеса
² Одеський національний морський університет, м. Одеса
- Гончар Н.В., Гребенніков М.О., Криворученко В.Л.** Механізація фінішного етапу виробництва складнопрофільних деталей авіаційного двигуна 166
Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя
- Ступак В.В., Задоя Н.О.** Проблеми адгезії пластику при друці на 3D-принтері 168
Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя
- Лесик Д. А.^{1,2}, Грушка М.³, Кочерга А. С.¹, Джемелінський В. В.¹** Поліпшення якості поверхневого шару конструкційних сталей роботизованою лазерною системою термозміцнення 170
Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ
Інститут металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України, м. Київ
Університет Західної Богемії, м. Пльзень, Чехія
- Авраменко С.Є., Євдокимов О.Д., Дегтярьов І.М., Нешта А.О.** Розробка та модернізація затискних верстатних пристроїв з використанням епіциклоїдальних редукторів 171
Сумський державний університет, м. Суми
- Майборода В.С., Джулій Д.Ю., Слободянюк І.В.** Розподіл магнітного поля по поверхні інструменту в залежності від його конструкції 172
Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ
- Молнар М.М.¹, Деревянко А.І.², Гаврушкевич Н.В.³, Саленко О.Ф.³** Абразивна обробка вуглець-вуглецевих композитних матеріалів 173
¹ ТОВ "Самсунг РнД Інститут Україна",
² ДП "Конструкторське бюро "Південне" ім. М.К. Янгеля", м. Дніпро
³ Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ
- Діденко Р.П., Гаврилова К.О., Саленко О.Ф.** Переваги багатоосевого FDM друку над трьохосовим FDM друком 175
Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ
- Сохан Д.В.** Створення кінцево-елементної моделі для визначення радіусу нейтрального шару при чистому згині 176
Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ
- Волоткевич Д.С., Степанов Д.М.** Особливості фінішної обробки сектора лопаток соплових апаратів турбіни 177
Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя
- Грабовський А.П., Бондарець О.А.** Деформаційна модель пошкоджуваності конструкційних матеріалів 178
Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ

Онисько О.Р., Лукань О.А. Основи розробки експертної PLM-системи ходових гвинтів	180
<i>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ</i>	
Олійник Я.О., Некрасов С.С. Визначення шорсткості з зображень за допомогою нейромереж	181
<i>Сумський державний університет, м. Суми</i>	
Проц Л.А., Дудаш В.Ф. До питання статичного аналізу на міцність вилки карданного валу	182
¹ <i>Ужгородський національний університет, м. Ужгород</i>	
² <i>ПрАТ «Єврокар», м. Ужгород</i>	
Григоренко Р.А.¹, Чжу Уцин², Саленко О.Ф.², Гаврушкевич А.Ю.² Забезпечення якості водокрижаного розкромлювання тонких пластин електротехнічного та мікроелектронного призначення	184
¹ <i>Товариство з обмеженою відповідальністю «ДАК»</i>	
² <i>Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ</i>	
Чернишов О.В.¹, Музичка Д.Г.¹, Устименко К.А.¹, Музичка В.А.¹, Коваленко К.О.¹, Дербаб В.А.² Експериментальні дослідження дроблення металевої стружки	186
¹ <i>Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське</i>	
² <i>Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро</i>	
Колочко О.М.¹, Сюе Сяньдін², Саленко О.Ф.², Гаврушкевич А.Ю.², Габузян Г.В.³ Адаптивна система керування процесом струминно-абразивного різання різнотовщинних заготовок	188
¹ <i>Товариство з обмеженою відповідальністю «ДАК»</i>	
² <i>Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ</i>	
³ <i>Відокремлений структурний підрозділ «Фаховий коледж Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського», м. Кременчук</i>	
Гаряжа А.О., Блощин М.С., Головка Л.Ф., Романенко В.В. Застосування лазерних систем в кардіології	191
<i>Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ</i>	
Голишев Є. О., Блощин М.С., Головка Л.Ф., Романенко В.В. Застосування лазерних систем для підвищення ресурсу велосипедних касет	192
<i>Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ</i>	
Крисан С.О., Блощин М.С., Головка Л.Ф., Романенко В.В. Розробка мобільної фокуруючої системи лазерного випромінювання для лікування ран	194
<i>Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ</i>	
Садик О.А.¹, Головка Л.Ф.¹, Блощин М.С.¹, Романенко В.В.¹, Романенко М.В.² Виготовлення біметалів з використанням концентрованих джерел енергії	195
¹ <i>Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ</i>	
² <i>ТОВ «ТРЦ Республіка», Київ</i>	
Мельниченко І. Т., Головка Л.Ф., Блощин М.С., Романенко В.В. Лазерне наплавлення покриттів на деталі виробів подвійного призначення застосуванням рідинно-в'язких сумішей порошкових матеріалів	196
<i>Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ</i>	
Панченко А.В., Довгополов А.Ю. Підвищення твердості поверхні загартованої порошкової сталі K490MC методом карбонітрації	197
<i>Сумський державний університет, м. Суми</i>	

Кайдаш М.Д., Сухицький О.М. Вплив сили тяжіння на умову руху в поступальній кінематичній парі	198
<i>Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів</i>	
Хомяк Ю.М.¹, Ярова І.А.², Жеглова В.М.² Оптимізація розподілу напружень в плоских кришках посудин високого тиску	200
¹ <i>Одеський національний морський університет, м. Одеса</i>	
² <i>Національний університет «Одеська політехніка», м. Одеса</i>	
Бадовський О.Б. Дослідження коливань при підрізуванні торців методом врізання	202
<i>Національний університет «Одеська політехніка», м. Одеса</i>	
Баланюк Г.В. Визначення зусиль затиску деталей при коливаннях	203
<i>Національний університет «Одеська політехніка», м. Одеса</i>	

СЕКЦІЯ 2.

ТЕХНОЛОГІЇ ДЕРЕВООБРОБКИ І МЕБЛЕВОГО ВИРОБНИЦТВА

Shchupakivskyu R., Andrashek J., Shchupakivskyu Ya., Savchak O. Life cycle assessment of thermally treated ash wood due to modification in nitrogen atmosphere	206
<i>Ukrainian National Forestry University, Lviv</i>	
Андрашек Й.В., Щупаківський Р.Б., Савчак О.В., Щупаківський Я.Б. Термічне модифікування деревини – короткий аналіз технологій та проблематика стану питання	208
<i>Національний лісотехнічний університет України, м. Львів</i>	
Гайда С.В., Подібка Т.І. Формостійкість меблевих щитів із сосни звичайної	211
<i>Національний лісотехнічний університет України, м. Львів</i>	
Гайда С.В., Медвідь Л.В. Міцність звичайних столярних плит із вживаної деревини	213
<i>Національний лісотехнічний університет України, м. Львів</i>	
Гайда С.В., Лесів Л.Е. Порівняльний аналіз комбінованих столярних плит із вживаної деревини	215
<i>Національний лісотехнічний університет України, м. Львів</i>	
Грицак С.А., Грицак С.С. Особливості процесу гнуття букових меблевих заготовок після пресування	217
<i>Національний лісотехнічний університет України, м. Львів</i>	
Мазурчук С.М., Касянчук І.О. Вплив мінеральних речовин покриття на ефективність захисту деревини від дії полум'я магнію	219
<i>Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ</i>	
Козак Р.О., Копанський М.О., Ортинська Г.Є., Кусняк І.І. Водопоглинання та розбухання за товщиною стружкових плит із вмістом стружки з сухостійної деревини	221
<i>Національний лісотехнічний університет України, м. Львів</i>	
Д'яконов В.І. Ефективний захист дерев'яного будинку від жуків-точильників під час реставрації	223
<i>Державний біотехнологічний університет, м. Харків</i>	
Д'яконов В.І. Деякі проблеми експериментального моделювання виготовлення паливних брикетів з рослинних відходів в мікрохвильовому електромагнітному полі	224
<i>Державний біотехнологічний університет, м. Харків</i>	
Каранда В.Г., Єрошенко А.М. Аналіз часових зв'язків деревообробних та меблевих виробництв	225
<i>Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів</i>	

- Буйських Н.В.¹, Марченко Н.В.²** Актуальні питання термінології в лісовій і 226
деревообробній промисловості
¹Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ
²Технічний комітет стандартизації (ТК) 18 «Лісові ресурси», м. Київ
- Луста Ю. Р., Мачуга О. С.** Підхід до визначення безпечних умов експлуатації 228
спеціалізованої техніки
Національний лісотехнічний університет України, м. Львів
- Росіцький А.Я., Деркач Д.В., Ференц О.Б., Кобринович М.С.** Щодо 230
ресурсоощадності виготовлення пиломатеріалів
Національний лісотехнічний університет України, м. Львів
- Чорнобай О.О., Ференц О.Б., Сторожук В.М.** Підвищення ефективності розкрою 231
відземкових листяних колод
Національний лісотехнічний університет України, м. Львів
- Калина А.А., Миськів Є.М.** Основні напрямки досліджень технологічних процесів 232
меблевих виробництв при використанні обладнання з CNC
Національний лісотехнічний університет України, м. Львів
- Іванина В.В., Ференц А.О., Копинець З.П.** Стан та перспективи виготовлення 233
піддонів в Україні
Національний лісотехнічний університет України, м. Львів
- Горбачова О.Ю., Мазурчук С.М., Ісаєв А.М.** Пошук шляхів підвищення 234
вологостійкості фанери
Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ
- Яремчук Л.А., Стримецький Т.К.** Визначення експлуатаційних характеристик 235
захисно-декоративних покриттів настилів підлоги
Національний лісотехнічний університет України, м. Львів
- Яремчук Л.А., Кропотов А.В.** Вплив температури термомодифікації деревини на 236
товщину захисно-декоративної плівки
Національний лісотехнічний університет України, м. Львів
- Валько С.М., Кшивецький Б. Я.** Щодо закономірностей формування міцності 238
клейових з'єднань деревини
Національний лісотехнічний університет України, м. Львів
- Кушпін М.А., Грицак С.А.** Гнуття масивної деревини та якісні показники процесу 240
гнуття
Національний лісотехнічний університет України, м. Львів
- Копанський М.М., Козак Р.О., Кусняк І.І., Ортинська Г.Є.** Альтернативні 241
джерела сировини у виробництві деревинних композиційних матеріалів
Національний лісотехнічний університет України, м. Львів
- Кіндзера А.Р., Кшивецький Б.Я.** Вплив факторів навколишнього середовища на 243
стан поверхні термомодифікованої деревини ясена у полівінілацетатних клейових
з'єднаннях «термомодифікована деревина ясена/сосна»
Національний лісотехнічний університет України, м. Львів
- Губар С. М.** Аналіз ринку меблів з деревинокомпозиційних матеріалів 245
Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ
- Пінчевська О.О., Давидов В.М.** Доцільність термомодифікування сухостійної 246
деревини ясеня
Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ

Мороз Р.О., Копинець С.В., Лань В.М., Маєвський В.О. Щодо впливу заболонної деревини дуба на об'ємний вихід заготовок	247
<i>Національний лісотехнічний університет України, м. Львів</i>	
Губер Ю.М., Копинець З.П., Гуменюк Ж.Я., Рубінський Ю.В. Дослідження тривалості процесу сушіння соснових необрізних пиломатеріалів	248
<i>Національний лісотехнічний університет України, м. Львів</i>	
Ортинська Г.Є., Лютий П.В., Рубінський Ю. В. Властивості природніх клеїв на основі соєвого протеїну	250
<i>Національний лісотехнічний університет України, м. Львів</i>	
Манзюк А.О., Воронович С.В., Маєвський В.О. Обґрунтування вибору наповнювача для будівельних конструкцій	252
<i>Національний лісотехнічний університет України, м. Львів</i>	
Барабаш Р.Г., Миськів Є.М. Встановлення норми часу на метр погонний різку при виготовленні накладок дверних полотен	253
<i>Національний лісотехнічний університет України, м. Львів</i>	
Салабай Р.Г., Салабай І.І., Притула Б.М. Вплив параметрів режиму пресування на властивості фанери з термічно ущільненого шпону	254
<i>Національний лісотехнічний університет України, м. Львів</i>	
Салабай Р.Г., Салабай І.І., Лемешко І.О. Дослідження токсичності фанери, виготовленої з термічно ущільненого шпону	256
<i>Національний лісотехнічний університет України, м. Львів</i>	
Попівнич В.В., Сапон С.П. Технологічне оснащення для кутової шліфувальної машини в деревообробному та меблевому виробництві	258
<i>Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів</i>	
Козак Ю. О., Кушніт А.С. Фізико-механічні властивості деревини та їх вплив на міцність дерев'яних конструкцій	260
<i>Національний лісотехнічний університет України, м. Львів</i>	

СЕКЦІЯ 3.

ГІДРАВЛІЧНІ ТА ПНЕВМАТИЧНІ СИСТЕМИ

Ворожка А.С., Лобуренко М.В., Павленко І. В., Папченко А. А., Тягно О.В. Удосконалення конструкції напівзанурюваних вертикальних насосів для перекачування робочих середовищ нафтопереробної промисловості	262
<i>Сумський державний університет, м. Суми</i>	
Начовний І.І.¹, Павленко А.А.², Чуприна О.А.¹ Дослідження зносу ущільнення штока поршневого компресора у виробничих умовах	263
¹ <i>Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро</i>	
² <i>Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро</i>	
Udovytska M.¹, Udovytskyi O.² Mathematical modeling of the crushed wood particles movement in pneumatic transport systems	264
¹ <i>Technological College of the Ukrainian National Forestry University, Lviv</i>	
² <i>Ukrainian National Forestry University, Lviv</i>	
Іскович-Лотоцький Р. Д.¹, Іванчук Я. В.¹, Веселовська Н.Р.², Косаківський А.Ю.², Романов В.В.², Булига А.І.² Сучасні тенденції використання гідроімпульсних вібророзвантажувальних пристроїв на автомобільному транспорті	266
¹ <i>Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця</i>	
² <i>Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця</i>	

Погорлецький Д.С., Грицук І.В., Худяков І.В. Система очистки гідравлічного масла Kleentek elc-R25SP рульової машини Rolls-Royce Frydenbo	270
<i>Херсонська державна морська академія, м. Херсон</i>	
Ратушний О.В., Шерстюк В.М. Перспективи інтенсифікації процесу енергопередачі у відцентрових насосах	272
<i>Сумський державний університет, м. Суми</i>	
Ратушний О.В., Сукрут С.В. Підвищення технічного рівня відцентрового насоса низької швидкодії шляхом використання ущільнюючих елементів вихрового типу	273
<i>Сумський державний університет, м. Суми</i>	
Ковальов С.Ф., Кудін С.В. Створення уніфікованого прямооточного клапана	274
<i>Сумський державний університет, м. Суми</i>	
Харченко Є.В., Бутринський Д.І., Бутринський І.З. Моделювання поздовжніх коливань колони буринних труб у її взаємодії з потоком промивальної рідини	275
<i>Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів</i>	
Зінько Р.В., Войтик Я.М. Визначення зусиль в кріпильних елементах автоцистерни при гальмуванні автопоїзда	276
<i>Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів</i>	
Виноградов А.Г. Технічні аспекти застосування водяних завіс для екранування теплових потоків	278
<i>Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького, м. Черкаси</i>	
Шаповал М.В., Михайлик В.Г. Створення нових конструкцій комбінованих компенсаторів у поршневих розчинонасосах одинарної дії	279
<i>Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія. Кондратюка», м. Полтава</i>	
Аврунін Г.А., Подригало М.А., Подригало Н.М., Мороз І.І. Аналіз способів регулювання гідромотор-колів для трансмісій мобільних машин	281
<i>Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків</i>	
Шалапай В.В. Енергетичні характеристики механічних процесів ущільнюючих елементів в стисненому гідроциліндрі	282
<i>Національний лісотехнічний університет України, м. Львів</i>	
Шаргородський С.А.¹, Іванов М.І.², Кондратюк Д.А.¹ Стенд для дослідження гідроб'ємних систем рульового керування самохідних сільськогосподарських машин	285
¹ <i>Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця</i>	
² <i>Асоціація спеціалістів промислової гідравліки і пневматики, м. Вінниця</i>	

СЕКЦІЯ 4.

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

Бакалов В.Г., Сиза О.І. Конструювання барабану центрифуги та моделювання в ньому відділення вершків із молока	287
<i>Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т.Г. Шевченка, м. Чернігів</i>	
Орловський Б. В., Місяць М. В. Оптимізаційний синтез захоплювача деталей крою з текстилю зі стосу роботизованих швейних машин	290
<i>Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ</i>	
Орловський Б. В. Спосіб визначення жорсткості тканини при згині	293
<i>Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ</i>	
Крюкова О.А., Тіщенко Д.І. Особливості гальванічного покриття виробів нікелем	295
<i>Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ</i>	
Дворжак В. М. Застосування САД-технологій для дослідження цільових механізмів технологічних машин	296
<i>Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ</i>	
Федін В.М., Трус І.М. Оцінка ефективності антискаланту для стабілізаційної обробки природної води	298
<i>Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського», м. Київ</i>	
Ночніченко І.В. Явища переносу при мало амперному електролізі води	300
<i>Ягеллонський університет, м. Краків, Польща</i>	
Ковальов Ю.А., Плешко С.А., Рубанка М.М. Удосконалення фрикційної передачі в приводі машин галузі	301
<i>Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ</i>	
Савченко Б.М., Савчук Б.П. Методи вторинної переробки полімерних відходів	303
<i>Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ</i>	
Орловський Б. В. Розробка швейного напівавтомату з мехатронним керуванням для переміщення спецрукавиць по контуру	304
<i>Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ</i>	
Савченко Б. М., Слєпцов О. О., Булгаков Є. С. Використання програмного оптичного аналізу зображення для оцінки розподілу діаметрів волокон нетканих матеріалів	305
<i>Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ</i>	
Ріпка Г.А., Березненко С.М. Аналіз теплозахисних властивостей пакетів матеріалів для виготовлення предметів бойового екіпірування військовослужбовців	307
<i>Східноукраїнський національний університет імені В. Даля, м. Северодонецьк</i>	
Грищенко Р.В., Андрієнко М.О. Обчислювальний експеримент потужності теплообміну з використанням пакету прикладних програм ANSYS	309
<i>Національний університет харчових технологій, м. Київ</i>	
Шинкарик М.М., Кравець О.І., Паперняк Р.В. Комплексний підхід до оцінки якості технологічного процесу виробництва сиру кисломолочного неперервним способом	310
<i>Тернопільський національний технічний університет ім.Івана Пулюя, м. Тернопіль</i>	

- Хребтань О.Б., Селінний М.М.** Органічне виробництво пшениці спельти у фермерських господарствах чернігівської області 312
Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів
- Петруша О.О., Арсеньєва Л.Ю., Логінова А.О.** Формування порівняльної шкали кольору праженого молока та ряжанки 314
Національний університет харчових технологій, м. Київ
- Панчук А.М.** Оптимізація процесу торефікації біомаси 315
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ
- Молодан А.М., Лазарів Є.М., Мамченко Я.О., Рубанка А.І.** Особливості розробки моделей віртуального одягу в програмі Clo3D 316
Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ
- Сова Н.В., Розвора Л.В.** Полімерні композитні матеріали з високим ступенем наповнення 318
Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ
- Набережна О.О., Волошина К.Р., Бондарєв П.О.** Вплив розміру включень на термостійкість графітопластів на основі фенілону 319
Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське
- Іваненко О.І.¹, Трипольський А.І.², Фатєєв Д.С.¹** Використання біогазової установки в процесі одержання моторного палива 320
Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського», м. Київ
² *Інститут фізичної хімії ім. Л.В. Писаржевського НАН України, м. Київ*
- Mykola Rubanka¹, Oleh Polishchuk², Svitlana Demishonkova¹** Keyless connection of light industry machine parts to shafts 322
¹*Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv*
²*Khmelnyskyi National University, Khmelnytskyi*
- Новаківський О.В., Дзюблик О.В., Кіндзера Д.П.** Сучасні технологічні рішення щодо сушіння залізоокисних пігментів 324
Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів
- Вербицький С.Б., Пацера Н.М., Старчевой С.О.** Раціональні методи масування м'ясної сировини задля забезпечення належної якості цільном'язових продуктів 326
Інститут продовольчих ресурсів НААН, м. Київ
- Проданчук О.О.** Застосування роботизованого комплексу при литті під тиском виробів медичного призначення 328
Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів
- Бондаренко О.П.¹, Цапко Ю.В.², Цапко О.Ю.²** Вплив інтумесцентного покриття на ефективність захисту тканини від дії полум'я пальника 329
¹ *Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ*
² *Український державний науково-дослідний інститут «Ресурс», м. Київ*
- Ляшок І.О., Іщенко О.В., Федорчук Д.Ю., Хоменко О.Ф.** Модифікація поліпропілену екологічним мінеральним наповнювачем 331
Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ

СЕКЦІЯ 1. ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ТА СИСТЕМИ МАШИНОБУДІВНОГО ВИРОБНИЦТВА

UDK 621.9.02

Stephen Radzevich, Dr.Sci, Professor
EATON Corp., USA, radzevich@usa.com

ON THE EVOLUTION OF CONJUGATE ACTION LAW (IN SCIENTIFIC THEORY OF GEARING)

This research deals with gearing, with crossed-axes gearing (C_a – gearing) in particular.

The *scientific theory of gearing* is based on three fundamental laws of gearing, namely, on [1]:

1. **The law of contact of tooth flanks of a gear, $\mathcal{G}$, and of a mating pinion, $\mathcal{P}$.** This, in nature, is the *first fundamental law of gearing*.

2. **The conjugate action law**, which is commonly referred to the *second fundamental law of gearing*.

3. **The law of equal base pitches in gearing.** This is the *third fundamental law of gearing* that generalizes the first two laws (clauses 1 and 2) [1].

In the rest of text that immediately follows, evolution of the *conjugate action law* is discussed in more detail.

For a simplified case of *parallel-axes gearing* (P_a – gearing), the conjugate action law has been formulated, and has been proven in the mid of 18th century. Three names are credited with the discovery of the conjugate action law. They are (in a chronological order):

- Charles Etienne Louis **Camus** (1699–1768) – a French mathematician and mechanic;
- Leonhard **Euler** (1707 – 1783) – a pioneering Swiss mathematician and physicist;
- Felix **Savary** (1797 – 1841) – a French mathematician and mechanic.

Lots of efforts were undertaken by *Camus* to formulate, and to prove the conjugate action law for P_a – gearing. Despite *Camus* failed to solve this challenging problem, he made significant contribution to the theory of gearing.

The problem under consideration was solved by *Euler*. The derived solution to the problem was published in two famous papers by *Euler* [2] and [3]. In about 50 years later, that same problem was independently of *Euler* solved by *Savary*. The representation of the results of the research obtained by *Savary*, is very close to that used in the nowadays theory of gearing.

Taken in a whole the contribution by *Camus*, *Euler*, and *Savary*, to the developments in the field of conjugate action law, the second fundamental law of P_a – gearing is referred to the *Camus-Euler-Savary fundamental law of parallel-axes gearing* (of just *CES – fundamental law of P_a – gearing*, for simplicity).

The *CES – fundamental law of parallel-axes gearing* is known in European countries mainly due to the 1841 book by *Robert Willis* [4]:

Fundamental theorem of parallel-axes gearing (according to R. Willis [4]): *The angular velocities of the two pieces are to each other inversely as the segments into which the “line of action” divides the line of centers, or inversely as the perpendiculars from centers of motion upon the line of action.*

This theorem is loosely called *Willis’ theorem of parallel-axes gearing*, which is incorrect, as no contribution by *Willis* to the *CES – fundamental law of parallel-axes gearing* is known. Moreover, *Willis* himself never claimed to be the author of this theorem.

After the *CES – fundamental law of parallel-axes gearing* was formulated, and has been proven, an evolution of this law of gearing to the case of intersected-axes gearing (I_a – gearing), and to the crossed-axes gearing (C_a – gearing), becomes natural.

Two gear researchers deserve to be credited for the discovery of *conjugate action law* for I_a – gearing. The first valuable portion of the research in this area has been undertaken by *George Barnard Grant* (1849 – 1917) in his USA patent of 1887 [5]. *Grant* has investigated rolling with no slippage of a cone of revolution over a plane. The geometry of tooth flank of geometrically-accurate bevel gear was derived on the premise of this investigation. However, the task was not been complete, as the rolling of only one cone of revolution was investigated. [*Grant* is considered one of the founders of gear-cutting industry in the USA]. The problem under consideration got a complete solution (~2008) by Prof. *S.P. Radzevich*, who investigated a timed rotation with no slippage of two cones of revolution over a plane. Rolling of two cones of revolution was interpreted by *Radzevich* as a kind of “*equivalent pulley-and-belt transmission*”.

A solution to the problem of *conjugate action law* for C_a – gearing was resolved (~2008) by Prof. *S.P. Radzevich*. The derived solution is based on the proposed “*equivalent pulley-and-belt transmission*” [1], that was evolved to the case of C_a – gearing.

In the most general case of *crossed-axes gearing*, the *second fundamental law of gearing* is formulated as follows:

The second fundamental law of gearing (general case): *In order to smoothly transmit a uniform rotary motion from a driving shaft to a driven shaft by means of gear teeth, the perpendicular to the tooth flanks of the interacting teeth at all points of their contact must intersect the axis of instant rotation in the gear pair.*

The *second fundamental law of gearing* is analytically represented as a set of two expressions:

$$\begin{cases} \boldsymbol{\omega}_{pl} \times \mathbf{V}_m \cdot \mathbf{n}_g = 0 \\ \mathbf{p}_{ln} \times \mathbf{n}_g \neq 0 \end{cases} \quad (1)$$

Here, in Eq. (1), is designated:

$\boldsymbol{\omega}_{pl}$ – is the vector of instant rotation in the C_a gear pair

$\mathbf{p}_{ln}$ – is the unit vector along the axis of instant rotation, P_{ln}

$\mathbf{V}_m$ – is the linear velocity vector of point of interest, m , taken within the instant line of contact, LC_{inst} , between the interacting tooth flanks, $\mathcal{G}$ and $\mathcal{P}$, of a gear and a mating pinion

$\mathbf{n}_g$ – is the unit normal vector (common perpendicular) to the gear tooth flank, $\mathcal{G}$ (to the pinion tooth flank, $\mathcal{P}$), that passes through the point of interest, m

Important to stress here that there is no need to verify whether or not the *first fundamental law of gearing* is fulfilled when the *second fundamental law of gearing* is fulfilled.

References

1. Radzevich, S.P., *Theory of Gearing: Kinematics, Geometry, and Synthesis*, 3rd Edition, revised and expanded, CRC Press, Boca Raton, FL, 2022, 1208 pages.
2. Euler, L., “De Aptissima Figura Rotarum Dentibus Tribuenda” (“On Finding the Best Shape for Gear Teeth”), in: *Academiae Scientiarum Imperiales Petropolitae, Novi Commentarii*, 1754-55, t. V, pp. 299-316. (E249 in *Opera omnia* II, 17, pages 119-135). [1751/54]
3. Euler, L., “Supplementum. De Figura Dentium Rotarum”. *Novi Commentarii ad academiae Petropolitanae* 11, 1767, pp. 207-231. (E330, *Opera omnia*, 17, pages 196-219). [1762/65; pp. 299–317].
4. Willis, R., *Principles of Mechanisms, Designed for the Use of Students in the Universities and for Engineering Students Generally*, London, John W. Parker, West Stand, Cambridge: J. & J.J. Deighton, 1841, 446 pages.
5. Pat. No. 407.437, (USA). *Machine for Planing Gear Teeth.*/G.B. Grant, Filed: January 14, 1887 (serial No. 224,382), Patented: July 23, 1889.s.

УДК 621.7; 621.9

Slipchuk A., PhD, associate professor

Novitskyi M., postgraduate student

Lviv Polytechnic National University, andrii.m.slipchuk@lpnu.ua

INVESTIGATION OF THE AXIAL TOOL FEED EFFECT ON THE GEOMETRIC PARAMETERS OF THE CHIPS IN POWER SKIVING PROCESSING

In today's flexible manufacturing environment, the search for new and productive methods of gear machining is a pressing issue for business technologists.

Today, Power Skiving is such a process. In recent decades, it has been increasingly used and developed by the world's leading companies. The progress of this method of gear cutting is mainly due to the invention of servo motors and the development of computer numerical control machines [1-3].

The main objective of this work is to determine the parameters of the undeformed chips formed during the cutting of the external gear rim by means of geometric modelling. Finding all the geometrical parameters of this chip will provide answers to the necessary forces and power for cutting teeth, temperature indicators during machining both on the gear and on the tool edge. Based on the results of the study, the most rational technological parameters can be determined and recommended to the technologist for machining a given gear.

Once the simulation is complete and all the sections of undeformed chips have been obtained at each fixed cutter position, a 3D chip model can be created. Knowing the trajectory of the tool movement and the known shape of the chip cut at each step, it is possible to reconstruct its three-dimensional shape. The proposed algorithm allows this to be implemented using CAD. Particular attention should be paid to the chip thickness at each of these positions, as well as the change in the cross-sectional area of the chip during the cutting process. The chip thickness is determined on the cross-section of the undeformed chip for each position and for each part of the cutter (leading, upper, trailing).

Table 1 – Thickness and cut area of undeformed chips for different axial tool feed

		Axial tool feed mm/rev			
		0,25	0,5	0,75	1,0
leading edge	thickness, mm	0,004	0,017	0,036	0,065
	cutting area, mm ²	0,007	0,028	0,058	0,098
upper edge	thickness, mm	0,013	0,051	0,116	0,207
	cutting area, mm ²	0,014	0,058	0,136	0,260
trailing edge	thickness, mm	0,011	0,041	0,091	0,155
	cutting area, mm ²	0,029	0,118	0,264	0,458

In all the simulations performed, the effect of axial tool feed on the thickness and cutting area of the undeformed chip is the greatest, demonstrating the direct relationship between feed rate and chip shape. In many cases, the free flow zone around the gear is limited, so large tilt angles are not always achievable.

References

1. Bergs T., Georgoussis A., Löpenhaus C. Development of a numerical simulation method for gear skiving. *Procedia CIRP*. 2020. Vol. 88. P. 352-357. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.05.078>
2. Klocke F., Brecher C., Löpenhaus C., Ganser P., Staudt J., Krömer M.. Technological and simulative analysis of power skiving. *Procedia Cirp*. 2016. Vol. 50. P. 773-778. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.05.052>
3. Hrytsay I., Slipchuk A., Bosansky M. Justification of the choice of parameters for the gear power skiving operation based on computer simulation. *Journal of Mechanical Engineering – Strojnický Casopis*. – 2023. – Vol. 73(2), P. 33–44. DOI:10.2478/scjme-2023-0020.

UDC 621.9.06

Volodymyr Chupryna, Doctor of Engineering Sciences

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

RESEARCH OF THE METAL CUTTING EQUIPMENT DYNAMICS IN PARTS

Wide use of cooperation in the creation of machine structures is an actual development direction of the world mechanical engineering. Modern metal-cutting equipment (machines, robots and other machines) are also assembled from individual units (modules) manufactured centrally. In the world, there are many centralized productions of complete assemblies for various machines, including metalworking ones.

Important nodes of machine tools, robots and other technological machines are spindle nodes, rotary tables, mechatronic modules, which largely determine the quality of these machines, especially dynamic ones.

In nodal studies of elastic systems of processing machines, it is necessary to have reliable information about the dynamic characteristics of their nodes [1]. Existing methods do not allow obtaining experimental characteristics of nodes, because they are mainly intended for computational studies.

The purpose of the conducted research is the development of methods for the analysis of elastic systems of machines and, based on it, methods for the nodal experimental and computational determination of their dynamic characteristics (in the form of amplitude-phase frequency characteristics and others) [2].

Based on the conducted research, the following were developed:

- methods and techniques of nodal analysis of dynamic characteristics of metalworking machines (machines, robots and others);
- technical means, which are necessary for the experimental implementation of the developed methods of nodal research of machines;
- practical recommendations regarding the use of the specified methods for nodal studies of metalworking machines.

The developed methods of analysis ensure the reliability of experimental static and dynamic characteristics of both individual nodes and machines as a whole, which is necessary for a reliable assessment of their dynamic quality [3].

The use of the developed methods of research of metalworking equipment by parts (nodes) will allow to increase the accuracy of determining the dynamic characteristics of machines, which will ensure the high quality of manufactured structures during their aggregate production.

References

1. Kudynov V.A., Chupryna V.M. Nodal analysis of the dynamic characteristics of the elastic system of the machine tool. // Machine tools and instruments. M. Mashinostroenie. 1989, No. 11. - pp. 8-11
2. Strutynskyi V.B., Chupryna V.M., Yurchyshyn O.Ya. Construction of a dynamic tensor-geometric model of the spatial stiffness of a metal-cutting machine according to the main subsystems // Bulletin of the National Technical University "KhPI", Series: Technologies in mechanical engineering - Kharkiv: KhNTU "KhPI", 2016. - No. 5 (1177) - P.55-60 .
3. Chupryna V. Modeling of Technological Machines Spatial Rigidity by Subsystems / Mathematical Modeling and Simulation of Systems (MODS'2021), Lecture Notes in Networks and Systems. Selected Papers of 15th International Scientific-practical Conference, MODS, 2021 June 29 – July 01, Chernihiv, Ukraine – Pages 151-160

УДК 621.941.9.06-529

Петраков Ю.В., докт. техн. наук, професор,
Охріменко О.А., докт. техн. наук, професор,
Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,
ypetrakov.86@gmail.com
Сапон С.П., канд. техн. наук, доцент,
Національний університет «Чернігівська політехніка» s.sapon@gmail.com,
Сікайло М.О., аспірант
Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»

ВИЗНАЧЕННЯ АНТИ-ВІБРАЦІЙНОГО РЕЖИМУ РІЗАННЯ ПРИ КІНЦЕВОМУ ФРЕЗЕРУВАННІ

Будь-який процес обробки різанням супроводжується вібраціями, які призводять до негативних наслідків на обробленій поверхні, збільшення шорсткості, хвилястості, деформації, передчасного зношування інструменту та вузлів верстата. Важливість дослідження вібрацій під час обробки пояснюються тим, що вони стають основним обмеженням продуктивності процесу.

Всі заходи щодо управління вібраціями та зменшення амплітуди коливань можна поділити на три напрямки. По-перше, це пасивні методи управління (РСС), які полягають у зміні динамічних властивостей вихідної динамічної структури за рахунок приєднання додаткових мас з пристроями, що демпфірують. До пасивних методів відносять також програмне управління частотою обертання шпинделя, наприклад, за гармонійним законом, що побічно підтверджує основну причину виникнення регенеративних коливань – «саморозкачування» системи при обробці слідом. При цьому зміна частоти обертання призводить до зміни частоти збурення, яка вже відрізнятиметься від частоти головної гармоніки динамічної системи обробки.

По-друге, це активні методи (АСС), що полягають у примусовому введенні в динамічну систему коливань із фазою, протилежною до регенеративних коливань, які потрібно погасити.

Всі такі методи потребують певних, іноді дуже затратних заходів щодо модернізації діючого обладнання. У той самий час дослідження причин виникнення коливань при різанні сприяли формуванню висновку, що зміна режиму різання впливає на сталість процесу. Тому виникли методи управління режимом різання, що полягають у проектуванні так званої діаграми сталості (Stability Lobes Diagram – SLD), що визначає зони стабільності системи обробки.

Проведений аналіз літературних джерел показує, що, незважаючи на велику кількість публікацій на тему дослідження, більшість із них присвячені управлінню процесами периферійного фрезерування через призначення режиму різання відповідно до діаграми стабільності. Проте відсутність надійного критерію сталості обробної системи ускладнює проектування діаграми стабільності, яка розраховується за допомогою багатокрокового алгоритму. Причому запропонований підхід ґрунтується на алгебраїчних критеріях, пов'язаних з коренями характеристичного рівняння, яке отримують з диференціального рівняння із запізненням і яке принципово не має аналітичного рішення. Користуються наближеними методами, які не можуть бути представлені у вигляді алгоритму, придатного для комп'ютерного використання.

Тому створення надійного алгоритму проектування діаграми сталості при кінцевому фрезеруванні при представленні динамічної обробної системи у вигляді двомасової моделі інструмента і заготовки, що взаємодіють через процес різання є актуальною науково-технічною проблемою.

З урахуванням зворотного зв'язку процесу різання в пружній обробній системі, яка представлена двомасовою динамічною моделлю з двома ступенями свободи, обробкою за слідом і за двома керованими координатами модель усієї системи представляється у вигляді структурної схеми рис. 1.

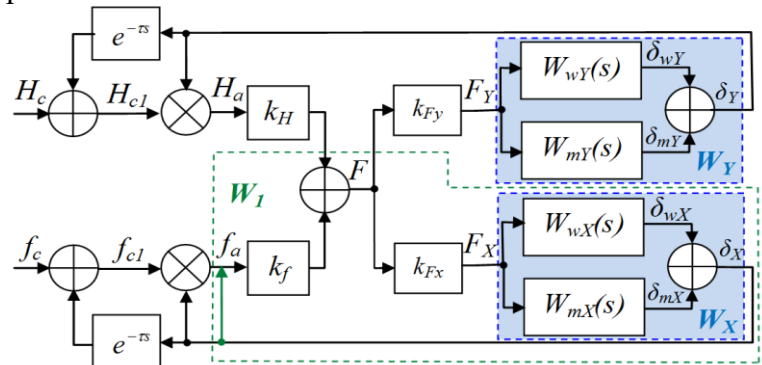


Рис. 1 – Структурна схема обробної системи

Зрозуміло, що моделювання вимагає попереднього визначення динамічних параметрів системи обробки. До таких параметрів відносяться частота власних коливань та жорсткість системи «інструмент» у двох напрямках по осях координат, частота власних коливань та жорсткість системи «заготовка» також у двох напрямках. Ці параметри повинні бути ідентифіковані в системі обробки, де буде проводитися експеримент (рис.2).

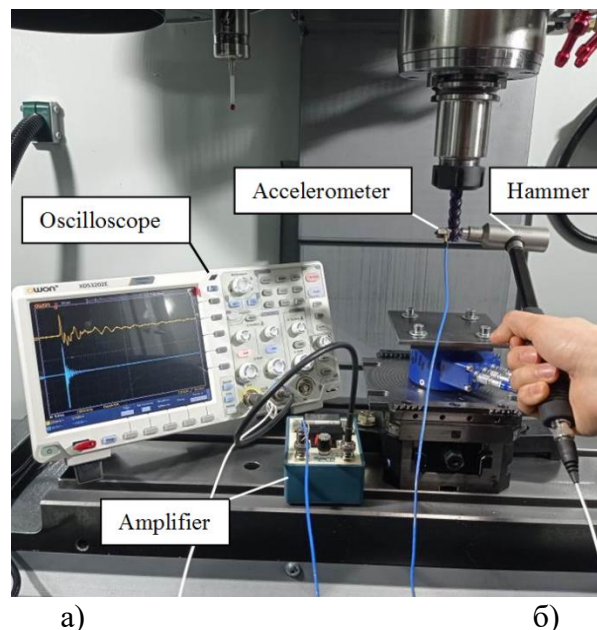


Рис. 2 – Визначення динамічних параметрів обробної системи:
а) – визначення жорсткості; б) – визначення частотних характеристик

Відповідно до мети дослідження розроблена методика повинна передбачати автоматичне визначення діаграми сталості. Для вирішення такого завдання необхідно скористатися новим прийомом, який ґрунтується на аналізі частотних характеристик систем, що описуються диференціальними рівняннями із запізненням [1]. Рішення базується на новому критерії сталості таких систем із запізненням у позитивному зворотному зв'язку. Система буде сталою, якщо графік її діаграми Найквіста на комплексній площині не охоплює точку з координатами $[+1,0]$.

Математична модель обробної системи має восьмий порядок, тому для цифрового моделювання створено спеціальну прикладну програму. Моделювання перехідних

характеристик виконується при інтегруванні стандартною процедурою Рунге-Кутта 4-го порядку. Проектування діаграми Найквіста системи, що описується диференціальними рівняннями із запізненням, також виконується стандартною процедурою, а проектування діаграми сталості – за спеціальним алгоритмом [1].

Діаграма сталості (рис.3) поділяє всю область можливих значень на дві зони: сталий та несталий процес різання. Важливість отриманих результатів призначення безвібраційного режиму різання очевидна: залежно від швидкості шпинделя при однаковій подачі (650 мм/хв) можна отримати як сталий так і несталий режим обробки. Відповідність новому критерію сталості обробних систем із запізненням у позитивному зворотному зв'язку підтверджується аналізом процесу виділених на діаграмі точках.

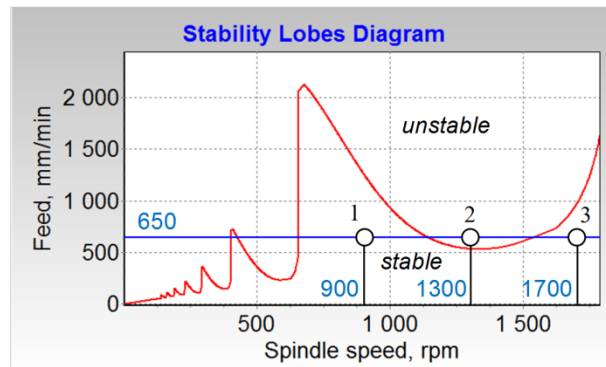
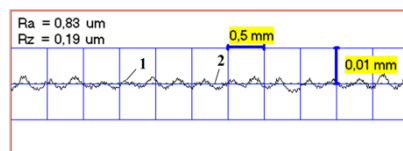


Рис. 3 – Діаграма сталості

В процесі експериментів виконувалося фрезерування заготовки у вигляді квадрата, закріпленої на столі динамометра (див. рис. 2). Динамометр встановлений на столі фрезерного верстата із ЧПУ фірми HAAS TM Op. Таке розташування заготовки дозволяє проводити фрезерування всіх чотирьох сторін при зміні режимів різання без її зняття з верстата. Фрезерування виконувалося на режимах різання відповідно до точок діаграми сталості (рис. 3). Було оброблено 3 деталі з різними режимами різання на 12 поверхнях кожної деталі. На рис. 4 показані профілограми поверхонь, оброблених на режимах різання, відповідних точках 1, 2 і 3 на діаграмі сталості.



а)

б)

в)

Рис. 4 – Профілограми оброблених поверхонь: а) $f=650\text{mm/min}$, $n_s=900\text{rpm}$; б) $f=650\text{mm/min}$, $n_s=1300\text{rpm}$; в) $f=650\text{mm/min}$, $n_s=1700\text{rpm}$;

Висновок. Розроблений алгоритм проектування діаграми сталості вбудований у прикладну програму, яка є інструментом технолога-програміста при призначенні режиму різання. Запропоновано методику ідентифікації необхідних для проектування динамічних параметрів системи інструменту та системи заготовки. Запропоновано метод оцінки рівня вібрацій через аналіз шорсткості обробленої поверхні. Експериментально доведено ефективність запропонованої методики, коли вибір швидкості шпинделя при кінцевому фрезеруванні дозволяє зменшити параметр R_a з 3,17мкм до 0.64мкм при однаковій подачі 650мм/хв.

Список посилань

1. Petrakov, Y., Danylchenko, M. (2022). A time-frequency approach to ensuring stability of machining by turning. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6 (2 (120)), 85–92. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.268637>

УДК 621.9.02

Клименко С.А., чл.-кор. НАН України, докт. техн. наук, професор
Манохін А.С., канд. техн. наук, ст. дослідник
Копейкіна М.Ю., канд. техн. наук, ст. наук. співробітник
Клименко С.Ан., канд. техн. наук, ст. дослідник
Чумак А.О., канд. техн. наук

Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, м. Київ, atmu@meta.ua

НАДТВЕРДІ КОМПОЗИТИ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ, ОТРИМАНІ З ПОРОШКІВ cBN ІЗ ПОКРИТТЯМ

Надтверді композити на основі кубічного нітриду бору (РсBN) є важливим компонентом сучасних високотехнологічних систем у машинобудівній промисловості, які дозволяють забезпечувати високу якість, точність та ефективність обробки виробів з найбільш важкооброблюваних конструкційних матеріалів. Світові тенденції в створенні таких інструментальних матеріалів спрямовані на розробку складних за структурою та технологією виготовлення композитів, застосування яких робить можливою реалізацію високошвидкісного різання при високій здатності чинити опір термотрибоактивованим механізмам зношування, які призводять до швидкого виходу з ладу будь-яких інших інструментальних матеріалів. Разом з тим необхідно відзначити, що керамічні компоненти композитів обумовлюють певний недолік міцності таких надтвердих матеріалів. Вказане обумовлює актуальність пошуку підходів до створення таких модифікацій цих матеріалів, які поряд із вказаними характеристиками одночасно володіли б підвищеними механічними властивостями. Це можливо реалізувати за рахунок міждисциплінарного підходу із застосуванням вакуум-плазмових технологій для модифікації вихідної шихти для спікання композитів, визначення властивостей і основних закономірностей контактної взаємодії при різанні інструментами, оснащеними такими матеріалами, оптимізації режимів їх застосування [1–3].

Ефект впливу наявності покриттів на вихідних порошках cBN, з яких в апаратах високого тиску спікаються надтверді композити, на фізико-механічні і експлуатаційні властивості отриманих РсBN пов'язаний із дією сукупності факторів.

Покриття на вихідних зернах порошку у процесі спікання виконують роль зв'язки між частинками отриманого композиту. Традиційно для цього використовуються порошки тугоплавких сполук d -перехідних металів 4-й групи таблиці Менделєєва, наприклад TiN, які додаються до шихти у процесі її формування механічним змішуванням. В РсBN групи BL кількість керамічної складової 40–55%. При цьому, структура отриманих композитів, має суттєвий недолік – при приготуванні шихти і подальшому спіканні дрібнозернистий (< 2 мкм) порошок кераміки внаслідок високої когезії утворює конгломерати розміром до 20 мкм, що спричинює неоднорідність структури композиту. Для РсBN інструментального призначення наявність неоднорідних ділянок із зернами розміром більше надтвердої фази може ініціювати утворення тріщин та крихке руйнування композитів сколюванням у процесі їх застосування. З огляду на це, важливо одержати РсBN зі структурою, однорідною на рівні розміру зерна надтвердої фази. Можливий варіант реалізації такої структури – використання порошків cBN, попередньо покритих спеціальними плівками. Регулювання складів і режимів нанесення покриттів дозволяє одержувати необхідну товщину плівки, і як наслідок керувати товщиною прошарків керамічної зв'язки та її процентним вмістом у складі композиту. Рівномірність розподілу структурних компонентів (основна надтверда фаза та керамічна зв'язка) у складі композиту буде сприяти підвищенню їх механічних властивостей – міцності, тріщиностійкості та твердості.

Рівномірна інкапсуляції окремих зерен надтвердої фази у керамічної складової РсBN має вплив на параметри фізико-хімічної взаємодії на контактних поверхнях інструменту з

оброблюваним матеріалом у зоні різання, що дуже важливо за умов високошвидкісної обробки. Такий розподіл зв'язки у композиті створює захисний шар на поверхнях зерен cBN, внаслідок чого інтенсивність зношування інструменту, обумовленого термотрибоактивованою хімічною взаємодією, значно знижується.

Порівняльні дослідженнями структури, фізико-механічних та експлуатаційних властивостей композитів, отриманих із використанням різних підходів, встановлено, що застосування методу газотранспортного осадження Ti на поверхню вихідних зерен cBN дозволяє отримати рівномірний розподіл керамічної матриці між зернами cBN при умові інкапсуляції в ній окремих зерен надтвердої фази. Структура матриці складається з субмікронних зерен TiN та TiB₂, а ширина прошарків керамічної матриці у таких композитах, у залежності від кількості нанесеного на порошки матеріалу, знаходиться в діапазоні від 0,4 мкм (на міжзеренних границях) до 12 мкм (в зонах потрійних та більше стиків). Мікротвердість одержаних полікристалів становить 32–41 ГПа.

Результати досліджень працездатності інструментів показують, що використання у них композитів, отриманих з вихідних порошків cBN із покриттям, дозволяє знизити швидкість зношування інструменту при високошвидкісному різанні загартованої сталі у порівнянні з інструментом, оснащеним стандартним композитом PcBN групи BN та знаходиться на рівні інструменту, оснащеного композитом групи BL з вмістом керамічної складової 40% (об.). При високошвидкісній обробці в умовах динамічних ударних навантажень інструменті (зі зміцнювальною фаскою) зі створеними композитами, на відміну від інструментів, оснащених PcBN групи BL, зберігають працездатність при подачах до 0,4 мм/об та забезпечують отримання шорсткості обробленої поверхні Ra 0,4–0,6. Найбільшою ефективністю при цьому характеризуються інструменти, оснащені PcBN-3% Ti.

З використанням статистичної теорії екстремальних значень і оцінки ймовірного рівня мікропошкоджень в фазах кераміки, із застосуванням методу МКЕ, проведено модельні дослідження впливу мікроструктури на напружений стан, пружні модулі та крихку міцність дво- і трифазної кераміки, прикладом якої є створені PcBN. Розраховані параметри демонструють, що міцність композитів, виготовлених із порошків з покриттям, за інших рівних умов є вищою, у 1,1–1,3 рази у порівнянні з PcBN того ж фазового складу, але із структурою, яка виникає при спіканні вихідних порошків, отриманих з використанням традиційної технології механічного змішування компонентів.

Таким чином, формування надтвердих композитів з використанням вихідних порошків cBN із покриттям є одним з перспективних напрямків вдосконалення матеріалів для оснащення різальних інструментів. Створені PcBN мають комплекс фізико-механічних і хімічних властивостей, якій дозволяє використовувати їх в інструментах, перспективних під час фінішної обробки та в умовах обробки з динамічним навантаженням при виготовленні виробів з загартованих сталей з високими швидкостями різання.

Список посилань

1. Беженар, М. П. Одержання надтвердих композитів з однорідною структурою при спіканні в умовах високого тиску порошків cBN, вкритих титаном / М. П. Беженар, С. М. Коновал, Т. О. Гарбуз, В. Т. Весна, В. М. Ткач, Я. М. Романенко // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. – 2015. – Вып. 18. – С. 360–365.
2. Lee, Y.-S. Improving wear resistance of cBN-based cutting tools using TiN coating on cBN powder surface / Y.-S. Lee, T.-W. Kang, S.-W. Shin, D.-W. Kim // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. – 2021. – № 631. – P. 127758.
3. Манохін, А. С. Інструмент, виготовлений із порошків кубічного нітриду бору з CVD покриттям / А. С. Манохін, Ю. О. Мельничук, С. А. Клименко, М. П. Семенко, Г. А. Петасюк, А. Г. Филипович, С. Ан. Клименко, Ю. Е. Рижов // Інструментальне матеріалознавство : зб. наук. праць. – К. : ІНМ НАН України, 2023. – Вип. 26. – С. 305–314.

УДК 621.923

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

Скрябін В.О., заст. завідувача відділу

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

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське, v_solod@ukr.net

СУЧАСНІ РОЗРОБКИ В НАНЕСЕННІ ПОКРИТТІВ НА АЛМАЗНІ ЗЕРНА З МЕТОЮ ЗМІНИ МЕХАНОХІМІЧНОЇ АКТИВНОСТІ ЇХ ПОВЕРХНІ

Покриття зерен алмазів є важливим фактором впливу на зміну їх властивостей та підвищення утримання у зв'язуючому робочому шару шліфувального круга. Враховуючи, що цей напрямок активно розвивається, в даній роботі нами приділено увагу саме на сучасних напрацюваннях, які є у наукових публікаціях за 2023-2024 р. Вкажемо, що тут нас найбільше цікавили розробки у напрямку нанесення покриттів на алмазні зерна, які би змінювали механохімічну активність поверхні зерен, як з боку контакту з оброблюваним матеріалом, так із боку контакту зі зв'язкою, яка утримує зерна алмазів.

Алмазні плівки (АП) мають високу твердість і хімічну інертність, що ускладнює їх обробку. В статті [1] запропоновано шліфувати АП за допомогою шліфувального круга, що містить нікельовані (Ni) алмазні абразиви на основі механохімічного ефекту. Максимальна середня швидкість видалення матеріалу алмазної плівки досягла 2469 нм/хв. при зусиллі шліфування 600 Н при швидкості 600 об/хв., а мінімальна середня шорсткість поверхні алмазної плівки досягла 3,93 нм. Швидкість видалення алмазної плівки пояснюється каталітичним ефектом покриття Ni, яке викликає графітизацію алмазної плівки в контактних точках під дією високої температури під час тертя. Згодом її можна видалити механічною дією абразивів.

В роботі [2] розглядається інший варіант шліфування АП, заснований на застосуванні механохімічного впливу при покритті алмазних абразивів титановим (Ti) покриттям, напиленням у вакуумі. Шар покриття утворює структуру алмаз-TiC-Ti, що простягається від алмазної матриці у напрямку Ti-покриття. Швидкість зйому матеріалу (MRR) АП значно збільшується в результаті наявного активного Ti-покриття на алмазних абразивах, що реагує з АП в місцях контакту. Підтримання швидкості шліфування 600 об/хв при збільшенні тиску шліфування з 300 Н до 600 Н приводить до підвищення MRR з 388 нм/хв. до 1662 нм/хв. Основним механізмом видалення матеріалу є реакція між Ti-покриттям і АП, а також графітизація АП.

В статті [3] запропонований ще один варіант прискорення шліфування АП на основі механохімічного ефекту. Застосовувався метод вакуумного випарювання для нанесення каталітично активного покриття Cr на алмазні абразивні зерна. Під час шліфування покриття Cr на активних абразивах вступало у реакцію з алмазною плівкою з утворенням Cr_3C_2 або викликало графітизацію у точках контакту при високій температурі з-за тертя. Показано, що шліфувальний круг із хромовим покриттям продемонстрував вищий MRR порівняно з алмазним шліфувальним кругом без покриття. Максимальний MRR алмазної плівки досяг 1438 нм/хв. за умови шліфування 700 Н та 600 об/хв.

У роботі [4] звернена увага на між алмазом і мідною матрицею. Експериментальні результати показують, що шар W-покриття може ефективно покращити змочуваність поверхні алмазу та зменшити кут змочуваності зі $108,6^\circ$ до $13,2^\circ$. Шар W може значною мірою запобігати графітації поверхні алмазу. Теплопровідність композиту з W-покриттям з вмістом алмазу 18,4 об.% досягає 575 Вт/(м·К), що на 43,3% вище, ніж у чистої Cu.

Введення проміжного шару є ефективним методом покращення міжфазної теплопровідності (G) межі Cu/алмаз. В статті [5] представлено шар на цій межі аморфного вуглецю (a-C) за допомогою бомбардування іонами Ag, збагачений киснем за допомогою бомбардування іонами суміші Ag/O₂ і зв'язок C-O шляхом обробки кислотою на межі розділу Cu/алмаз. Порівняно з попередньо очищеним інтерфейсом Cu/алмаз, збільшення G на 35% досягається шляхом вставлення проміжного шару a-C товщиною 4,5 нм між Cu та алмазом, що в основному відбувається завдяки ефекту вібраційного мостика.

Низька міжфазна міцність між матрицею на основі заліза та алмазами призводить до того, що частинки алмазу передчасно відпадають, що суттєво впливає на ефективність різання алмазних композитів. Робота [6] була спрямована на оптимізацію міжфазної мікроструктури та механічних властивостей композитів алмаз/Fe-Ni-WC шляхом нанесення шару Mo₂C на частинки алмазу. Алмази з Mo₂C-покриттям були отримані за допомогою методу розплавленої солі. Композити Алмаз/Fe-Ni-WC були спечені методом гарячого пресування під вакуумом. Енергодисперсійне спектроскопічне сканування показало, що шар покриття Mo₂C змінив міжфазний склад між матрицею та алмазами зі сплаву Fe-C на Mo₂C, покращуючи міцність розділу. Крім того, висоту алмазного виступу композитів було збільшено за рахунок додавання інтерфейсу Mo₂C, що призвело до покращення ефективності різання просочених алмазних інструментів. Тобто, в даній роботі досліджений вплив шару Mo₂C на механічні властивості і міцність композитів алмаз/Fe-Ni-WC. Показано, що додавання шару Mo₂C приводить до зміни складу межі розділу алмаз-матриця зі сплаву Fe-C на Mo₂C. Ця зміна складу інтерфейсу приводить до збільшення міжфазної міцності, про що свідчить міцність на згин 996 МПа, що на 24% вище, ніж у композита алмаз/Fe-Ni-WC без покриття. Підвищення міжфазної міцності поліпшує тримальну здатність матриці на алмазі, що збільшує висоту виступу алмаза, і ефективність різання композитів алмаз/Fe-Ni-WC з покриттям Mo₂C збільшується.

Тобто наведене вище свідчить про те, що саме застосування при покритті алмазних абразивів ефекту подальшого механохімічного впливу, як на межу алмаз-зв'язка, так і на контакт поверхні алмазного зерна із оброблюваним матеріалом, дозволяє підвищити ефективність застосування алмазно-абразивного інструменту.

Список посилань

1. Rapid grinding diamond film using a grinding wheel containing nickel-plated diamond abrasives based on mechanochemical effect / Yingke Zhou, Yanhui Wang, Shengyao Su, Lixiang Zhao, Menghui Zhao, Yungang Yuan, Jianbing Zang, Jing Lu, Xipeng Xu, Pingwei Zhang. *Diamond and Related Materials*. Volume 139, November 2023, 110389.
2. Mechanochemical grinding diamond film using titanium-coated diamond active abrasives prepared by vacuum micro-evaporation coating / Yingke Zhou, Jianbing Zang, Shengyao Su, Chaoyang Zhang, Lixiang Zhao, Yungang Yuan, Yanhui Wang, Jing Lu, Xipeng Xu, Pingwei Zhang. *Applied Surface Science*. Volume 638, 30 November 2023, 158094.
3. Efficient grinding diamond film using chromium-coated diamond grinding wheel based on mechanochemical effect / Yingke Zhou, Jianbing Zang, Shengyao Su, Lixiang Zhao, Chaoyang Zhang, Yungang Yuan, Yanhui Wang, Jing Lu, Xipeng Xu, Pingwei Zhang. *Journal of Materials Processing Technology*. Volume 320, November 2023, 118123.
4. Highly conductive diamond skeleton reinforced Cu-matrix composites for high-efficiency thermal management / Zengkai Jiao, Long Zhang, Zejun Deng, Haichao li, Xiang Wang, Yuan Gang, Yijia Wang, Li Ma, Kechao Zhou, Qiuping Wei. *Applied Surface Science*. Volume 645, 1 February 2024, 158829
5. Amorphous carbon interlayer modulated interfacial thermal conductance between Cu and diamond / Yongjian Zhang, Ziyang Wang, Ning Li, Fangyuan Sun, Jinpeng Hao, Haijun Wu, Hailong Zhang. *Applied Surface Science*. Volume 638, 30 November 2023, 158001.
6. Mo₂C interface layer: effect on the interface strength and cutting performance of diamond/Fe-Ni-WC composites / Xinyue Mao, Qingnan Meng, Mu Yuan, Sifan Wang, Shiyin Huang, Baochang Liu. *Journal of Materials Research and Technology*. Volume 25, July–August 2023, Pages 2029-2039.

УДК 621.923.02

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
Мельников О.В., докт. економ. наук, професор,
IT STEP University, м. Львів
Олянишен Т.В., канд. техн. наук, доцент,
Національний лісотехнічний університет, м. Львів, olyanyshen_t@nltu.edu.ua

ВСТАНОВЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ПРАВКИ ШЛІФУВАЛЬНИХ КРУГІВ МЕТОДОМ ТОЧІННЯ

В дрібносерійному і ремонтному виробництвах, в процесі шліфування деталей, правку кругів виконують переважно методом точіння алмазними інструментами. Процес правки відбувається в основному крихким руйнуванням зерен поверхневого шару шліфувального круга. Можливими різновидами руйнування можуть бути: субмікроруйнування, мікро- або макроруйнування зерна круга та руйнування його зв'язки.

Інформацію про характер руйнування поверхневого шару шліфувального круга при його правці визначали аналізом продуктів руйнування на відповідних технологічних режимах. Отримані частки, після звільнення від зв'язки, просівали через стандартні сита на вібраційному пристрої. Шляхом розмірного аналізу встановлено, що продукти руйнування шліфувального круга містять незначну кількість зерен основної зернистості. Водночас присутня значна кількість дрібних зерен, які в шліфувальному крузі відсутні. Із загального складу продуктів руйнування, значну кількість складають частки з розмірами в десятки разів меншими, ніж вихідний склад абразивних зерен. За результатами візуального спостереження продуктів руйнування виявили різноманітність їх форми, що пояснюється закономірностями руйнування крихких неметалевих матеріалів.

При відомій характеристиці шліфувального круга нами встановлено значення поперечної подачі алмазного правлячого інструменту, чим забезпечується глибина правки, для управління руйнуванням робочого поверхневого шару шліфувальних кругів та їх різальними властивостями на різних операціях шліфування.

З метою остаточного встановлення впливу глибини правки на ступінь руйнування робочої поверхні шліфувального круга та встановлення його придатності застосування на різних операціях шліфування, за сприяння спеціалістів Магдебурзького технічного університету проведено дослідження 3D моделі різального рельєфу робочої поверхні шліфувальних кругів на лазерному скануючому приладі "Perthometer S8P" з лазерним датчиком моделі FOCODYN. Діапазон вертикальної роздільної здатності якого становив ± 250 мкм, що цілком достатньо для вимірювання висотних параметрів рельєфу робочої поверхні кругів зернистістю 16 – 40 та опорної поверхні круга, які наведені на рис.1 і 2. Аналіз реплік рельєфу робочої поверхні абразивного круга показує, що в процесі формування рельєфу відбувається крихке руйнування основної маси зерен, тобто параметри рельєфу після його формування значно відрізняються від рельєфу спрацьованого круга. Візуально можна спостерегти (рис. 1), що із підвищенням глибини правки відбувається різна ступінь руйнування робочої поверхні шліфувального круга, а це буде впливати на кількість робочих зерен, і як висновок, на шорсткість обробленої поверхні. За результатами лазерного сканування робочої поверхні шліфувального круга отримані відносні опорні поверхні, які характеризуються кількістю контактуючих абразивних зерен з обробленою поверхнею, при різних глибинах правки, закономірності зміни яких за глибиною січної площі наведені на рис. 2. Зростання опорної поверхні пояснюється

збільшенням кількості робочих зерен, що у свою чергу викликає зниження шорсткості обробленої поверхні та підтверджується експериментальними дослідженнями.

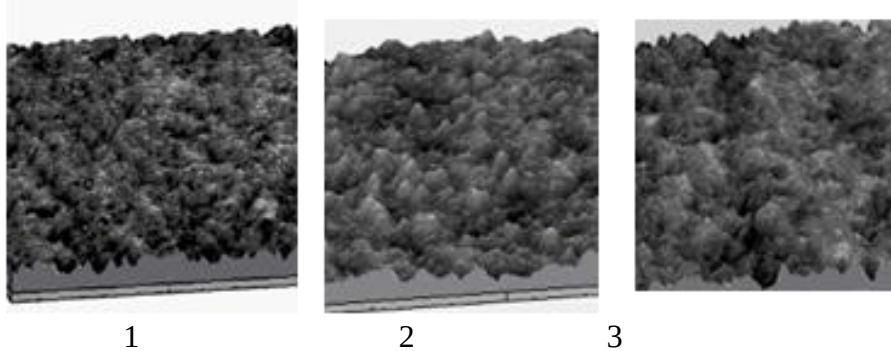


Рис. 1 – 3D модель рельєфу робочої поверхні шліфувального круга зернистості 25 після правки: при 1 – $h=0,005$ мм; 2 – $h=0,01$ мм; 3 – $h=0,03$ мм.

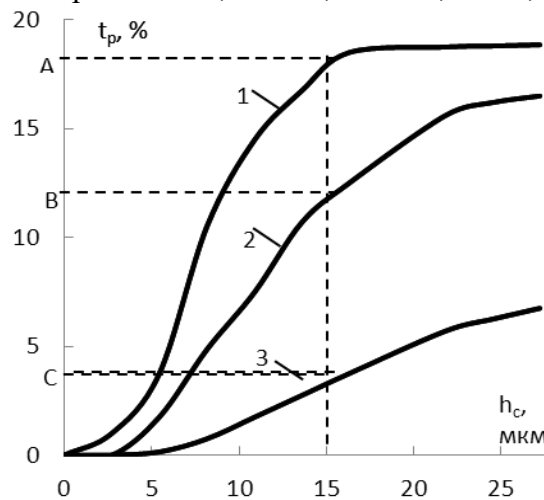


Рис. 2 – Закономірності зміни відносної опорної робочої поверхні (t_p) шліфувального круга зернистості 25 по глибині по січній площині при різних глибинах (h_c) правки: 1 – $h=0,005$ мм; 2 – $h=0,01$ мм; 3 – $h=0,03$ мм.

Обговорення результатів досліджень. В процесі правки шліфувального круга його зв'язці передається частина сили удару, що викликає значно менші напруження, які не викликають руйнування зв'язки круга, тому керування різальними властивостями круга можна здійснювати в основному за рахунок ступеню руйнування абразивних зерен кристалом алмазу правлячого інструменту. Для цього в дослідженнях необхідно враховувати контактну міцність матеріалу абразивного зерна та часові характеристики ударної контактної системи «абразивне зерно – кристал алмаза», за якими можна визначити величину сили удару, яка передається зв'язці круга. Це дозволяє визначити її напружений стан та закономірності руйнування робочої поверхні шліфувальних кругів на різних операціях шліфування. Чим нижче ступінь руйнування робочої поверхні шліфувального круга тим менш вона є розвиненою, тим нижче шорсткість обробленої поверхні при шліфуванні, чого і вимагає обробка на чистових операціях.

Список посилань

1. Шахбазов Я.О. Встановлення технологічних умов правки шліфувальних кругів алмазним інструментом / Шахбазов Я.О., Широков В.В., Федорович В.О. // Надтверді матеріали. – 2019. – №4. – С. 76–82.
2. Шахбазов Я. О. Визначення фізико- технологічних параметрів правки шліфувальних кругів алмазним інструментом / Шахбазов Я. О., Широков В. В., Василів Х. Б., Федорович В. О. // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2022. – №4. – С. 86 – 91.

УДК 621.941-229.3:531.133

Мироненко Є.В., докт. техн. наук, професор

Міранцов С.Л., канд. техн. наук

Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ,

evgeny.mironenko@dgma.donetsk.ua

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ ВІДРІЗНИХ РІЗЦІВ

Підвищення продуктивності механічної обробки на важких токарних та карусельних верстатах обмежується деякими технологічними операціями, до яких відносяться відрізання та прорізання глибоких пазів шириною $b = (12 \dots 20)$ мм за допомогою відрізних різців. Процеси відрізання та прорізання глибоких пазів являють собою невільне різання, яке характеризується рядом особливостей. Відрізні різці працюють з великими питомими навантаженнями на різальну частину інструменту в умовах ускладненого відводу стружки.

Для проведення досліджень використовувалися повнорозмірні 3D моделі збірних конструкцій відрізних різців для важких верстатів токарної групи (рис. 1) для обробки деталей типу тіл обертання масою до 10 т.

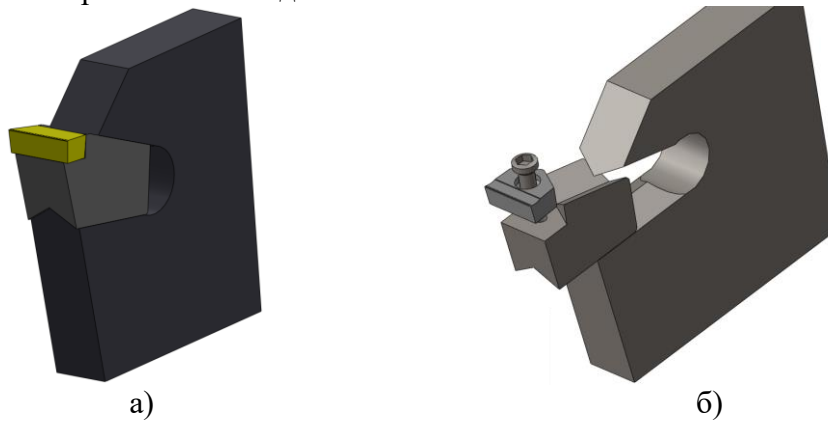


Рис. 1 – 3D моделі конструкцій збірних відрізних різців

Об'єктом досліджень є процес різання збірними відрізними різцями на важких токарних верстатах. Предмет дослідження – функціональні зв'язки між конструктивними параметрами різальних пластин й елементів вузла закріплення та характеристиками напружено-деформованого стану збірної конструкції.

У якості методів досліджень застосовувалося моделювання тривимірного напружено-деформованого стану збірних конструкцій відрізних різців за допомогою прикладного програмного пакету Ansys Workbench, моделювання перехідних процесів, що відбуваються при врізанні інструменту в деталь та його виході з роботи та гармонічний аналіз збірної конструкції з метою отримання амплітудно-частотних характеристик.

На основі проведених аналітичних досліджень удосконалені конструкції збірних відрізних різців для важких верстатів. Розроблені конструкції збірних відрізних різців, у порівнянні з аналогами, характеризуються достатньою жорсткістю вузла механічного закріплення різальної пластини за рахунок застосування похилих опорних і притискних поверхонь.

Застосування розроблених конструкцій збірних інструментів у порівнянні з аналогами та запропонованої адаптивної системи керування коливаннями, згідно теоретичних розрахунків, дозволяє підвищити у середньому на 8-10% ефективність прорізання канавок на важких верстатах.

УДК 621.9.048.6

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

Пирч В.М., магістр

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,
o.shevchenko@kpi.ua**ОРІЄНТАЦІЯ ПРУЖНОЇ СИСТЕМИ ІНСТРУМЕНТУ ТОКАРНОГО ВЕРСТАТА**

Основною причиною виникнення автоколивань при різанні є зміна площі зрізу та сили різання внаслідок відносного коливального руху інструменту і оброблюваної деталі з урахуванням наявності координатного зв'язку між процесом різання та рухом за різними координатами пружної системи верстата [1]. При токарній обробці траєкторія руху вершини різця має форму наближену до еліпсу, головні вісі якого зазвичай не співпадають з узагальненими координатними осями верстата. Крім того, радіальна податливість системи інструменту є різною при різних напрямках навантаження, що обумовлює наявність осей мінімальної та максимальної податливості. Якщо напрямки цих осей прийняти у якості головних або нормальних координат пружної системи інструменту з центром в точці різання, то рухи за цими осями можна вважати незалежними, що дозволяє повністю розділити змінні, які визначають рух інструменту в довільній в площині yOz .

Крім того, параметри податливості, або жорсткості, пружної системи та напрямки осей головних координат є характеристиками пружної системи і не залежать від напрямку зовнішнього навантаження. Для забезпечення вібростійкості пружної системи верстата рекомендується щоб її жорсткість була можливо більшою в напрямку нормалі до оброблюваної поверхні, або в напрямку сили різання, а в інших напрямках жорсткість системи повинна бути менше, щоб не сприяти втраті вібростійкості системи внаслідок координатного зв'язку.

Властивості пружної системи інструменту можна визначити на основі розрахункової схеми (рис. 1), яка представлена у вигляді приведеної маси m , що зв'язана з базою верстата ланками з пружними властивостями c_{η_1} і c_{η_2} , орієнтованими під кутом β до узагальненої системи координат yOz . На масу m діє сила різання P , прикладена до вершини різця під кутом α . Припускається, що маса рухається тільки в напрямках головних осей координат $O\eta_1$ і $O\eta_2$.

Розрахункова схема дозволяє визначити пружне переміщення вершини різця в радіальному та тангенціальному напрямках від дії сили різання. Радіальне переміщення різця найбільше впливає на точність обробки, змінюючи відстань між вершиною різця і оброблюваною поверхнею деталі. Переміщення різця в тангенціальному напрямку може мати вплив на точність тільки при обробці деталей малих діаметрів через зміну кутів різання.

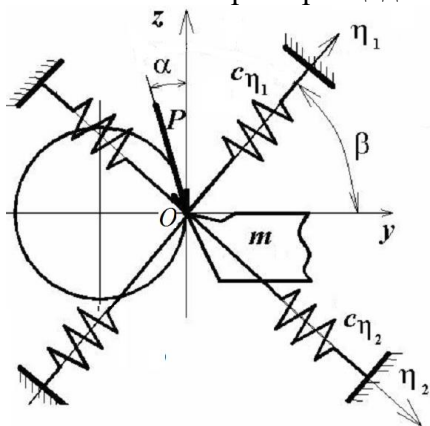


Рис. 1 – Розрахункова схема пружної системи інструменту токарного верстата в площині yOz

Статичну характеристику пружної системи інструменту можна визначити за виразом [1, 2]:

$$K_{ПС} = y/P = \cos(\beta - \alpha) \cdot \sin \beta / c_{\eta_2} - \sin(\beta - \alpha) \cdot \cos \beta / c_{\eta_1} . \quad (1)$$

Якщо встановити діапазон значень коефіцієнтів жорсткості c_{η_1} і c_{η_2} пружної системи інструменту в напрямку головних осей координат $O\eta_1$ і $O\eta_2$, то за допомогою виразу (1) є можливість визначити діапазон значень кута β розвороту головних осей координат пружної системи, при якому ця система буде мати найменшу радіальну податливість і відповідно буде забезпечена найбільша точність обробки.

Якщо в конструкції базового верстата при певних умовах обробки виникає втрата вібростійкості, є можливість за допомогою різцетримачів з орієнтованою жорсткістю змінити напрямки головних осей пружної системи інструменту на рекомендовані для вібростійкої обробки. На рис. 2 наведено загальний вигляд різцетримача токарно-револьверного верстата, в конструкції якого зроблено спробу реалізувати основні способи підвищення вібростійкості токарної обробки.

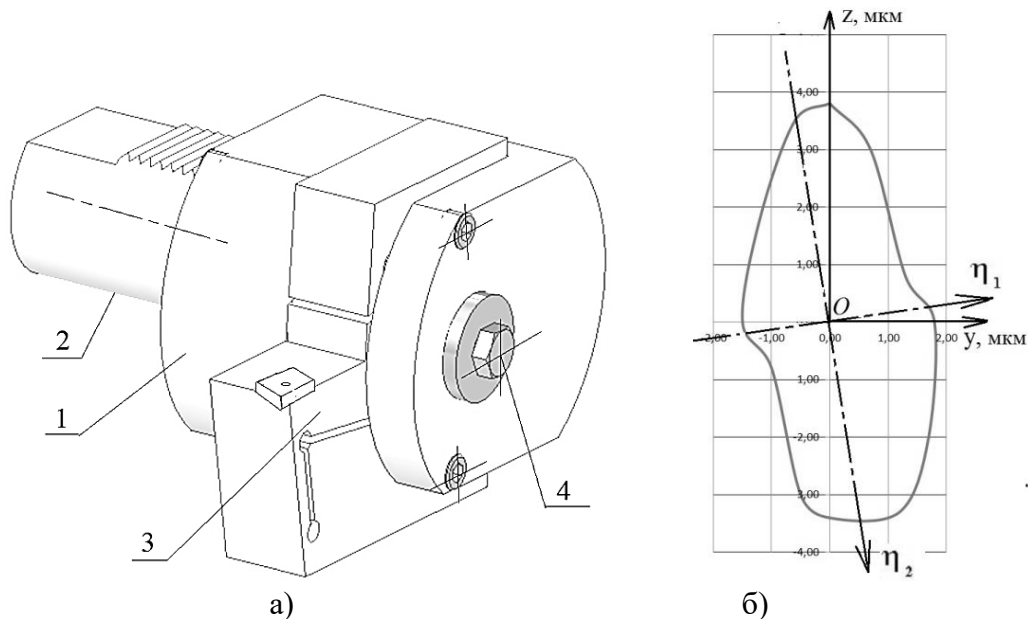


Рис. 2 – Загальний вигляд різцетримача (а), де: 1 – корпус, 2 – хвостовик для кріплення в револьверній головці, 3 – пружна частина з різцевою пластиною, 4 – вісь демпфера; розрахункова полярна діаграма податливості пружної частини різцетримача (б) від навантаження силою 100 Н по колу через 30° в площині OYz

Конструктивно пружна частина різцетримача має декілька пружних шарнірів, які розміщені таким чином, що вершина різця при навантаженні силою різання буде рухатись переважно в тангенціальному напрямку (вісь Oz), забезпечуючи умову більшої жорсткості в напрямку нормалі до оброблюваної поверхні (вісь Oy). Для зменшення впливу тангенціальних коливань різця на якісні характеристики оброблюваної поверхні в конструкції різцетримача встановлюється демпфер для гасіння енергії автоколивань при різанні.

Використання різцетримачів з орієнтованою жорсткістю та демпфером дозволяє підвищити вібростійкість та продуктивність токарної обробки, забезпечуючи умову захисту від втрати вібростійкості пружної системи інструменту внаслідок координатного зв'язку між процесом різання та рухом за координатами пружної системи інструменту. Різцетримачі такого типу можуть бути використані для підвищення продуктивності токарної обробки литих та штампованих заготовок, переривчатих поверхонь, важкооброблюваних матеріалів, тощо.

Список посилань

1. Орліков М.Л. Динаміка верстатів: Навч. посіб для вузів. – Київ: Вища школа, 1989. – 272 с.

2. Шевченко О.В. Вплив радіальної податливості пружної системи інструменту токарного верстата на точність обробки / Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції "Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта", секція: Прогресивна техніка та технологія машинобудування – Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського: 06-09.10.2020. – с. 106-109.

УДК 621.9

Пермяков О.А., докт. техн. наук, професор

Національний технічний університет «ХПІ», perm_a@i.ua

Яковенко І.Е., канд. техн. наук, професор

Національний технічний університет «ХПІ», igor.dych59@gmail.com

Пермяков О.О.

Н

Przemysław Józkowicz

Н

М

РЕВЕРСИВНИЙ ІНЖИНІРИНГ ДЕТАЛЕЙ НА ОСНОВІ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ЕКСТРУЗІЙНОГО 3D-ДРУКУ КОНСТРУКЦІЙНИМИ ТЕРМОПЛАСТИКАМИ

Р

М

Е

Б

Сучасний розвиток інформаційних технологій у машинобудуванні надає нові можливості та альтернативу існуючим підходам до проектування технологічних процесів виготовлення або відновлення деталей. Завдяки розвитку сучасних технологій та сучасного обладнання машинобудування отримало такий потужний інструмент, як реверсивний інжиніринг.

Реверсивний інжиніринг (реверс інжиніринг, зворотне проектування, reverse-engineering) потрібен, 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 значно прискорює та спрощує виробничі процеси. 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-друк) значно спрощує процес технологічного проектування та виготовлення деталі [1].

Польська фірма HERMES TECHNIC [2] є компанією з багаторічним досвідом, яка займається широкими послугами в галузі металообробки, серійним і несерійним виробництвом, у тому числі регенерацією та ремонтом. Звичайною практикою став саме реверсивний інжиніринг деталей за багаторазово перевіреною послідовністю. Приклад створення точної копії об'єкта за вже існуючим зразком продемонстрований на рис.1 при виготовленні VoWex®-муфти. VoWex® - штепсельна зубчаста муфта з круговими зубцями з пластмаси є гнучким з'єднанням валів, передає момент, що крутить, геометричним замиканням і застосовується для компенсації осьового, радіального і кутового зміщення. VoWex®-муфти відрізняються високою зносостійкістю, оскільки завдяки принципу дії кругових зубів можна уникнути тиску кромки в зубчастому зачепленні при радіальному і кутовому зміщенні. Може передавати момент, що крутить, 5-24 Нм в залежності від типорозміру. Не вимагає обслуговування завдяки поєднанню матеріалів пластмаса-сталь. Осьове штепсельне з'єднання – простий монтаж. Діапазон температур від -25 до + 100 °С.

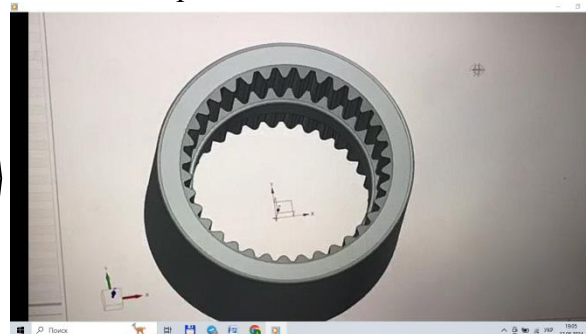
Для виготовлення VoWex®-муфти методом екструзійного 3D-друку використовувався конструкційний термопластик ABS. ABS-пластик (акрилонітрилбутадієнстирол) зарекомендував себе на ринку як надійний і безпечний матеріал для друку на 3D-принтері. Модифікована версія для 3D-друку відрізняється вищою міцністю. Не має різкого запаху, не плавиться за високих температур, тому вважається максимально безпечним для застосування в побутових умовах. Технічні характеристики ABS-пластику: зносостійкий та

ударостійкий; має високу еластичність; має «іmunітет» до технічних масел, лугу та різних миючих речовин; здатний витримати температуру нагрівання до 103 градусів.

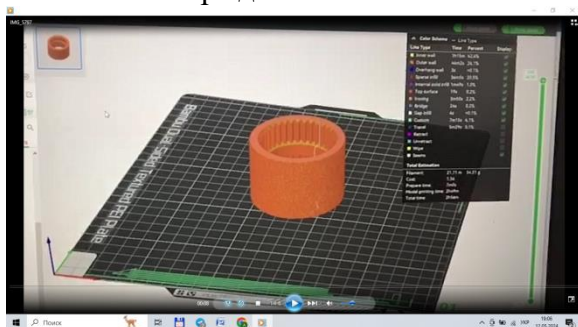
Аналіз деталі



Створення 3D CAD моделі



Експорт до САМ системи



Використання методів

адитивного виробництва (3D-друк)

або

традиційного субтрактивного
виробництва
(на основі верстатів з ЧПК)

Виробництво (3D-друк)

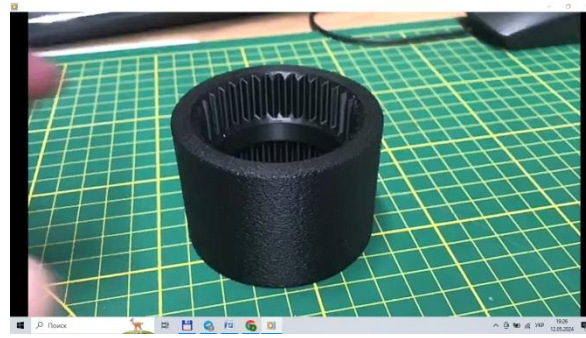


Рис. 1 – Реверсивний інжиніринг - створення точної копії об'єкта за вже існуючим зразком на прикладі виготовлення VoWex®-муфти

Запропоновано підхід до реверсивного інжинірингу деталей шляхом створення точної копії за вже існуючим зразком методом екструзійного 3D-друку конструкційними термопластиками.

Список посилань

1. Реверсивний інжиніринг та впровадження сучасних методів і засобів контрольних операцій / Пермяков О.А., Яковенко І.Е., Калініченко В.А., Скиба О.С., Южкович П. //Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні– Харків:НТУ «ХПІ», 2023. № 2 (8) 2023. – С. 84–92.
2. <https://www.hermes-technic.pl/>

УДК 621.9

Яковенко І.Е., канд. техн. наук, професор
Пермяков О.А., докт. техн. наук, професор

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
igor.dych59@gmail.com

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ БАЗУВАННЯ ПОРТАТИВНИХ ВЕРСТАТІВ

Особлива увага в сучасному верстатобудуванні приділяється проектуванню та виробництву спеціальних портативних верстатів, що дозволяє підвищити якість виконуваних робіт з одного боку, а з іншого, значно скоротити терміни виконання модернізації та ремонту. Така підвищена увага пов'язана насамперед із необхідністю модернізації та ремонтом великогабаритних вузлів, агрегатів та систем, демонтаж яких утруднений, потребує значних витрат або неможливий у принципі. Актуальність використання такого обладнання зростає у теперішній час у зв'язку з необхідністю відновлення енергетичної системи України після агресії рф.

Порівняно зі стаціонарними верстатами мобільні портативні мають кілька важливих відмінностей [1, 2]: не заготовка доставляється до верстата, а верстат транспортується до деталі; верстат базується та закріплюється на вже існуючій деталі, разом з інструментом та силовими агрегатами; портативний мобільний верстат практично завжди призначений для виконання однієї конкретної операції; компоновання портативного верстата має на увазі простоту транспортування, монтажу та демонтажу вузлів (при необхідності забезпечувати необхідну точність обробки), оскільки він монтується безпосередньо на оброблюваній деталі.

Різноманітність конструкцій та розмірів об'єктів обробки, методів технологічного впливу та вимоги до точності формоутворення поверхонь викликають необхідність враховувати різні способи базування та монтажу верстата безпосередньо на місці експлуатації. Тому розгляд питань базування основи верстата та її подальшого закріплення представляє важливу дослідницьку задачу при моделюванні процесу проектування структури портативних верстатів.

Автори проаналізували варіанти схем базування та закріплення при використанні основних типових конструкцій портативних верстатів провідних світових виробників та Українських підприємств, на підставі чого були встановлені та класифіковані основні фактори, які визначають вибір тієї чи іншої схеми базування та закріплення портативного верстата. До таких характеристик відносяться:

- геометричні параметри безпосередньо об'єкта обробки та геометричні параметри оброблюваної поверхні;
- методи технологічного впливу та кінематика формоутворення поверхні;
- наявність типових (уніфікованих) систем базування та закріплення.

Особливу увагу, на відміну від розгляду традиційної системи базування в механообробці, необхідно приділяти формі та геометричним параметрам вільних поверхонь об'єкта обробки, які розташовані в зоні обробки. Це дозволяє розробити систему базування та закріплення, яка здатна забезпечити максимальну жорсткість технологічної системи у процесі обробки та полегшити доступ у зону обробки.

Проведені дослідження дозволили авторам розробити математичну модель вибору теоретичної системи базування та закріплення портативних верстатів (рис. 1), що увійшла як окрема модель при розробці системи проектування модульних портативних верстатів на базі уніфікованих вузлів та агрегатів. Вибір систем базування та закріплення портативного верстата виконується з використанням бази типових компоновальних рішень портативних верстатів, де на базі системи кодування компоновання верстата, кінематики

формування, параметрів оброблюваної поверхні та наявності вже існуючих уніфікованих елементів базування та закріплення обираються варіанти компоувальних рішень.

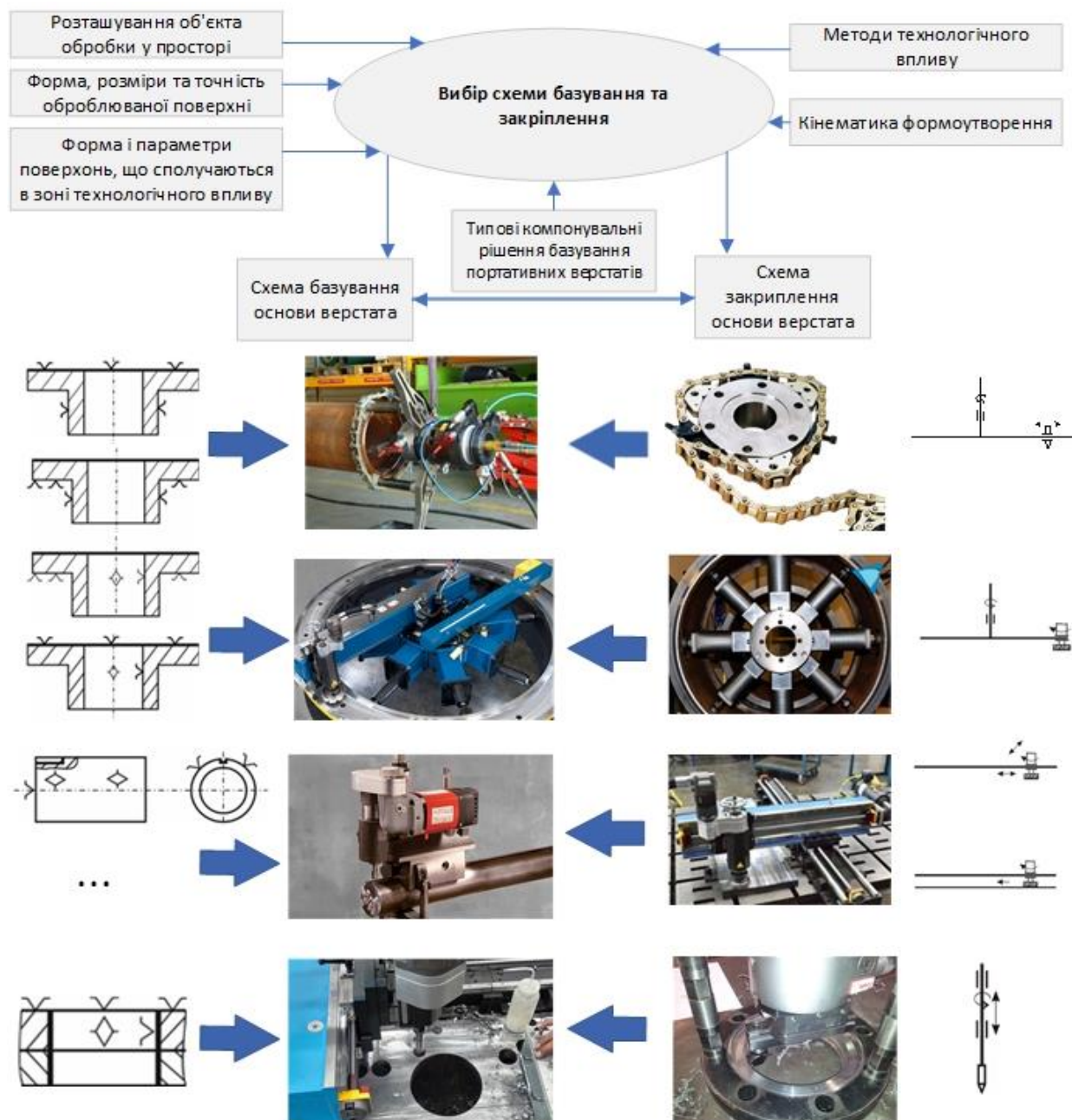


Рис. 1 – Схема моделі проєктування системи базування портативних верстатів

Список посилань

1. Yakovenko I. *Analysis and Synthesis of Mobile Portable Machine Tools Layouts* / I. Yakovenko, D. Shepeliev, V. Sharlay, A. Permyakov, S. Slipchenko, Yu. Havryliuk. // International Conference on Reliable Systems Engineering (ICoRSE) - 2022 pp. 160–171.
2. Yakovenko I.E. *Development of the component base of unified assembly and parts of installation clamping devices* / Yakovenko I.E., Permyakov A.A., Kharchenko O.S. // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні: зб. наук.пр. / Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». – Харків : НТУ «ХПІ», 2022. - № 1 (2022): с.21-26.

УДК 621.38

Калафатова Л. П. докт. тех. наук, професор
Носов Р. О. магістр

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», м. Покровськ, м. Луцьк
lydmila.kalafatova@gmail.com

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛЕЙ ТИПУ ТОНКОСТІННИХ ОБОЛОНОК З ВАЖКООБРОБЛЮВАНИХ МАТЕРІАЛІВ

Інтенсивний розвиток авіакосмічної і ракетної галузей у сучасних умовах супроводжується виникненням проблем, пов'язаних з необхідністю інноваційного розвитку технологій, що використовуються для виробництва відповідальних елементів літальних апаратів, до яких у повній мірі відносяться головні обтічники ракет, снарядів, літальних апаратів (ЛА). Деталі такого класу виробляються з важкооброблюваних матеріалів різної природи і відносяться до категорії тонкостінних складно-профільних оболонок, поверхня яких може складатися з елементів циліндру, параболи, конусу, сфери. До цих виробів пред'являються підвищені вимоги як по точності геометричних розмірів, так і по формі та якості їх поверхонь.

Згідно з умовами експлуатації виробів можна відмітити наступне. Обтічники ЛА і ракет [1, 2], в яких необхідна присутність радіолокаційної системи наведення і управління, виготовляються з радіопрозорих матеріалів, до яких відносяться крихкі неметалеві матеріали (КНМ) - різні види кераміки, в тому числі і склокераміка – ситали, що мають високі міцність на стиск, зносостійкість, термічну і корозійну стійкість.

Існуючі технології виготовлення складно профільних керамічних виробів, які включають формоутворення і випал, не дозволяють це забезпечити без додаткової механічної обробки. У зв'язку з неможливістю на сьогодні забезпечити точність форми виробу і потрібну якість його поверхонь на етапі отримання заготовки (здебільшого це шлікерна технологія або відцентрове литво) виріб піддається багатоетапній механічній обробці, а саме шліфуванню алмазними кругами, в основному на металевій зв'язці.

До недавнього часу шліфування обтічників ЛА реалізовувалося за два установа на модернізованих токарних верстатах, оснащених високошвидкісними шліфувальними агрегатними головками і системами силового копіювання (рис. 1).

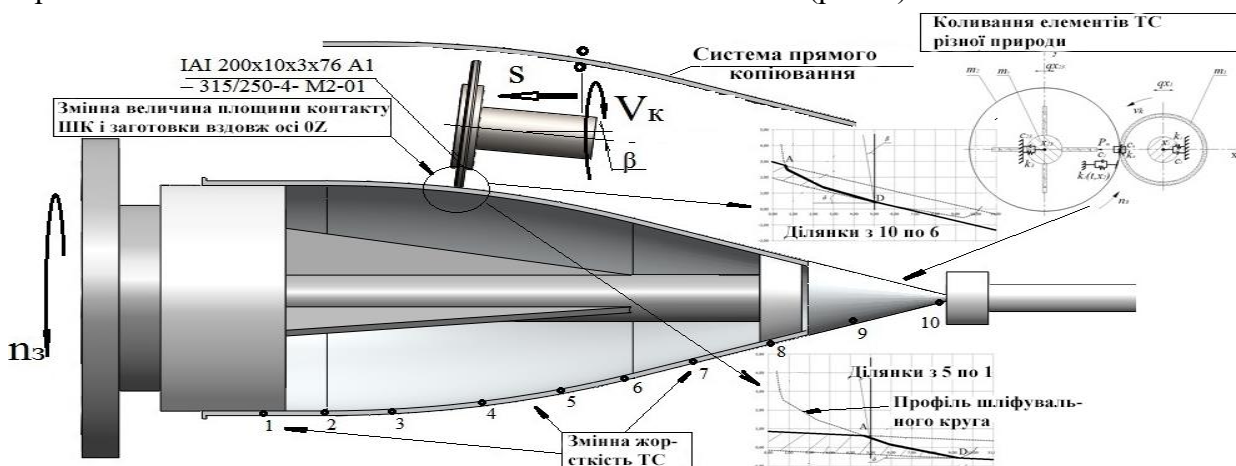


Рис. 1 – Схема зовнішнього шліфування оболонки обтічника [2]

З причин підвищених крихкості і твердості КНМ їх механічна обробка утруднена і тому процес шліфування є багатоетапним. До його складу входять чорнові і чистові операції шліфування внутрішнього і зовнішнього контурів. При цьому видаляється основний припуск величиною до 8-10 мм на сторону, який є нерівномірним вздовж усього профілю

деталі. Алмазно-абразивна обробка ведеться способом глибинного шліфування (глибина різання 0,5...1,5 мм), яке супроводжується крихким руйнуванням оброблюваного матеріалу і формуванням порушеного обробкою дефектного шару, шорсткістю і хвилястістю сформованої поверхні, що є неприпустимим з точки зору забезпечення експлуатаційних характеристик обтічників. При цьому використання такого принципу обробки не дозволяє забезпечити необхідну точність стінки оболонки по товщині, що після попереднього виміру отриманих після шліфування розмірів деталі досягається на операціях «вирізки» і доводки алмазними брусками, які здійснюються вручну і вимагають значних витрат часу і високої кваліфікації верстатника.

Тому наступний етап удосконалення технології абразивної обробки оболонок з КНМ пов'язаний з її реалізацією на сучасних верстатних системах з ЧПК, які дозволяють відмовитися від принципу використання копіїв для формоутворення профілю виробу. За рахунок цього підвищуються жорсткість технологічної системи, якість і точність сформованих поверхонь, що дозволяє відказатися від операції ручної доробки і суттєво підвищити продуктивність процесу механічної обробки.

Результати аналізу існуючих технологічних процесів виготовлення деталей типу великогабаритних оболонок дозволили зробити висновок [2], що їх ефективність залежить від способу отримання заготовки. Максимальне наближення конфігурації і точності розмірів заготовки до відповідних параметрів деталі дозволяє у значній мірі відмовитися від трудомістких і витратних операцій механічної обробки. Це можливо за рахунок використання сучасних 3D-технологій друку [3], за якими майбутнє. Прикладом подібних технологій є селективне лазерне спікання (Selective Laser Sintering, SLS), що є методом адитивного виробництва і використовується для створення високоточних виробів з кераміки практично необмеженої геометричної складності з точністю друку до 20 мкм.

Поява 3D-друку також відкрила нову еру дизайнерських можливостей при використанні різних матеріалів, у тому числі металів, для виготовлення головних обтічників снарядів і ракет. За допомогою цієї технології (для металів це здебільшого селективне лазерне спікання, SLS або селективне лазерне плавлення – Selective Laser Melting, SLM) можуть створюватися відповідальні деталі надскладної геометрії та форми, які раніше неможливо було виготовити традиційними методами виробництва [4].

Використання технологій 3D-друку дозволяє докорінним чином змінити технологічний процес виготовлення деталей типу оболонок з важкооброблюваних матеріалів у порівнянні з існуючими процесами їх виробництва, а саме, виключити цілу низку складних і малопродуктивних операцій – від заготівельних до операцій механічної обробки. Адитивні технології дозволяють також удосконалювати конструкції елементів літальних апаратів з метою підвищення ефективності їх обробки і надійності ЛА в експлуатації.

Список посилань

1. Ромашин А.Г. Радиопрозрачные обтекатели летательных аппаратов. Проектирование, конструкционные материалы, технология производства, испытания: учебное пособие / А.Г. Ромашин, В.Е. Гайдачук, Я.С. Карпов та ін. – Харьков: Изд. центр «ХАИ», 2003. – 240 с.
2. Калафатова Л.П. Перспективи підвищення ефективності обробки складнопрофільних виробів із крихких неметалевих матеріалів / Л.П. Калафатова // Різання та інструменти в технологічних системах: зб. наук. праць. – Харків: НТУ «ХП», 2019. – Вип. 91 (2019). – с. 69-77.
3. [3D Printed Rockets: How New Manufacturing is Transforming Spacecraft Design. 2023: www-tomorrow-bio.translate.google/post/3d-printed-rockets-how-new-manufacturing-is-transforming-spacecraft-design-2023-06-45701](https://www.tomorrow-bio.translate.google/post/3d-printed-rockets-how-new-manufacturing-is-transforming-spacecraft-design-2023-06-45701)
4. Yuan Gao On Manufacturing Process of Guided Rocket Fairing / GAO Yuan, ZHAO Xiaogang, SUN Jianbang // International Symposium on Advanced Launch Technologies (ISALT 2022). J. Phys.: Conf. Ser. 2460 (2023) 012074 doi:10.1088/1742-6596/2460/1/012074

УДК 621.833:621.9.07

Данильченко Ю.М., докт. техн. наук, професор

Щоголь А.О., магістр

Петришин А.І., канд. техн. наук

Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», yumd@i.ua

ОЦІНКА ПОХИБОК СХЕМ ФОРМОУТВОРЕННЯ ЗУБЧАСТОГО ПРОФІЛЯ ЧЕРВ'ЯЧНИМ ІНСТРУМЕНТОМ

Оцінка точності оброблення на металорізальних верстатах зазвичай базується на моделюванні геометричних похибок та їх прогнозуванні із використанням відомих методів теоретичної механіки та теорії механізмів, насамперед методу координатних перетворень теорії багатотільних систем [1].

Одним з рідновидів реалізації цієї теорії є метод оцінки точності формоутворення за функцією формоутворення, що пов'язує переміщення ланок формоутворювальної системи з траєкторією руху точок інструменту відносно оброблюваної деталі, тобто фактично є рівнянням оброблюваної поверхні із $n+m$ змінними, якими задаються рухи ланок і форма інструменту [2]. Отримана за методикою [2] функція формоутворення може використовуватись як для генерації множини компонувань верстатів з ідентичними формоутворювальними можливостями, так і для оцінки можливостей застосування альтернативних (неочевидних) схем формоутворення.

Проведено порівняння формоутворення прямозубого колеса черв'ячним інструментом (хоном) за класичною схемою оброблення за методом огинання на зубофрезерному верстаті (рис. 1, а) та універсальному консольно-фрезерному верстаті із установкою оброблюваного колеса на спеціальному пристосуванні, встановленому на столі верстату під кутом β до горизонталі та його обертанні інструментом за рахунок сил тертя в зачепленні (рис.1, б). Геометрична модель черв'ячного інструменту наведено на рис. 2.

З урахуванням порядку перетворення координат при послідовному переході від системи координат оброблюваного колеса до системи координат інструмента (рис. 1), математичні моделі формоутворюючої системи (ФС) верстатів будуть такими:

зубофрезерного верстата:

$$\vec{r}_0 = A^6(\varphi)A^3(S)A^2(-h)A^5(\beta)A^4(\psi_1)\vec{r}_1 \quad (1)$$

де φ – кут повороту оброблюваного колеса; ψ_1 – кут повороту інструменту; β – кут установки інструменту, рівний куту підйому гвинтової лінії черв'яка; s – рух вертикальної подачі стола верстату; h – міжосьова відстань інструмента і оброблюваного колеса, яка встановлюється висуванням пінолі фрезерного шпинделя.

універсального консольно-фрезерного із установкою оброблюваного колеса на спеціальному пристосуванні:

$$\vec{r}_0 = A^6(\varphi)A^5(\beta)A^3(S)A^2(h)A^4(\psi_1)\vec{r}_1 \quad (2)$$

де φ – кут повороту оброблюваного колеса; ψ_1 – кут повороту інструменту; β – кут установки пристосування на столі верстату, рівний куту підйому гвинтової лінії черв'яка; s – рух поздовжньої подачі стола верстату; h – міжосьова відстань інструмента і оброблюваного колеса, яка встановлюється вертикальним рухом консолі верстату

М

а

т

е

м

а

т

и

ч

н

а

$$\vec{r}_1 = A^4(\psi_2)A^1(x)A^3(R)A^5(\pm\alpha)A^3(-a)\vec{e}^4 \quad (3)$$

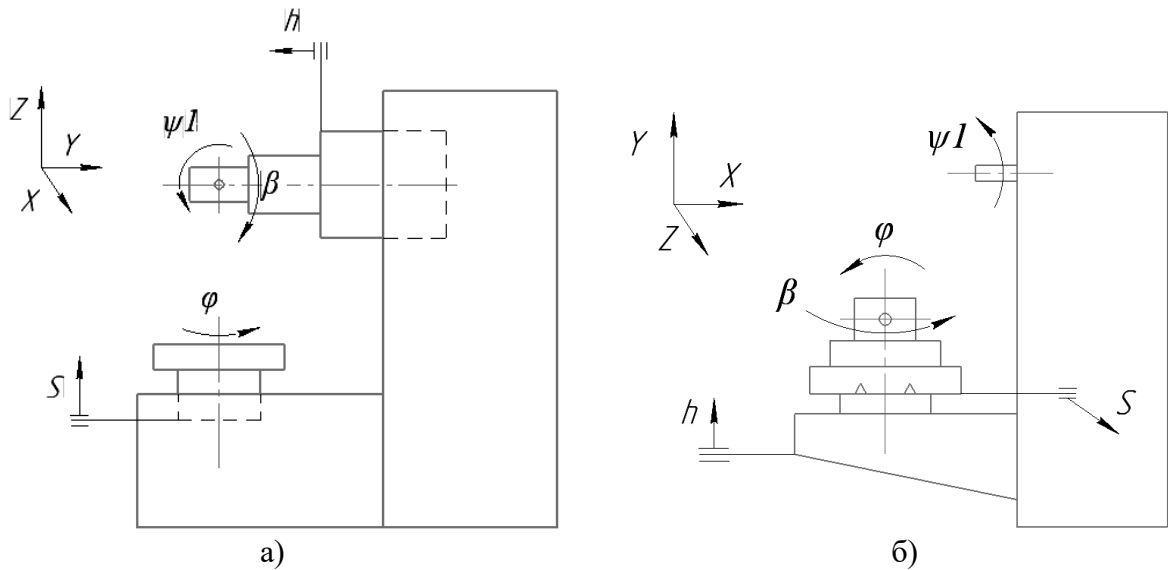


Рис. 1 – Компонування верстатів: а) зубофрезерного; б) універсального консольно-фрезерного із установкою оброблюваного колеса на спеціальному пристосуванні

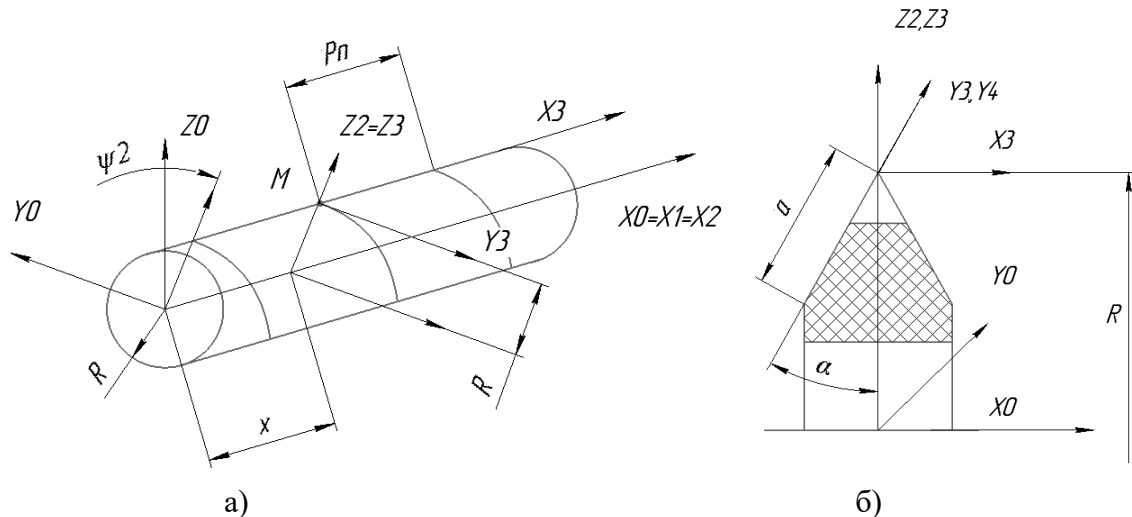


Рис. 2 – Геометрична модель черв'ячного інструменту: а) схема черв'яка; б) профіль черв'яка

Враховуючи те, що математична модель інструменту (3) для порівнюваних схем формоутворення однакова, висновок про умови ідентичності цих схем можна зробити за математичними моделями (1) і (2) формоутворюючої системи. В даному випадку ідентичність може бути досягнута лише за умови узгодження руху s поздовжньої подачі стола консольно-фрезерного верстату з обертанням ψ_1 інструменту, тобто потребує безступінчастого регулювання цих рухів.

Список посилань

1. Zhou Tan, Liao Yinghua, Jiang Jie et al. A Method of Sensitivity Analysis and Precision Prediction for Geometric Errors of Five-axis Machine Tools Based on Multi-body System Theory, 2022, <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1301469/v1>
2. Reshetov DN, Portman VT (1988) Accuracy of machine tools. ASME-Press, New York, p. 304.
3. Данильченко Ю.М. Формоутворення зубчастого профіля черв'ячним інструментом / Ю.М.Данильченко, А.В.Кривошея, А.О. Щоголь // КЗЯТПС – 2023: матеріали МНПК, НУ «Чернігівська політехніка», 2023. – Т. 1. – С.226-227.

УДК 004.896 (075.8) : 621.391.175

Пальчевський Б. О., докт. техн. наук, професор
Луцький національний технічний університет, bogdan_pal@ukr.net**ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ ПАКУВАННЯ**

Основою побудови інтелектуальних виробничих систем (ІВС) є використання в них однієї або декількох інтелектуальних технологічних машин. Під терміном «інтелектуальна або розумна машина» мають на увазі машину, яка має краще інформаційне підключення, є більш гнучкою, більш ефективною і безпечною в виробництві. Особливістю такої машини є наявність інтелектуальної системи керування, яка вбудована в машину.

Узагальнюючи міркування багатьох дослідників, можна стверджувати, що виробнича система стає інтелектуальною, якщо при вирішенні завдань виробництва, вона діє, не маючи точного алгоритму вирішення проблеми. Вона адаптується для роботи в зовнішніх умовах, що змінюються з часом опираючись на відповідну базу знань, які дозволяють створити алгоритм адаптації. Для цього системи автоматичного контролю (САК) повинні бути придатними для роботи з базами знань [1,2], тобто стати інтелектуальними САК.

Слід відзначити два напрями побудови інтелектуальних виробничих систем – по-перше, зверху вниз, шляхом приєднання нових компонент до існуючої інтелектуальної системи, і, по-друге, знизу вгору, шляхом надання інтелектуальних властивостей низовим компонентам, наприклад як це властиво для мехатронних агрегатів.

Інтелектуальні елементи першого рівня являють собою функціональні модулі - агрегати, які виконують одну просту функцію робочого процесу, однак мають можливість вибору варіанту її реалізації в залежності від зовнішніх впливів (сигнали від виробів, сусідніх модулів або системи управління вищого рівня) (рис.1). Об'єднання елементів найнижчого рівня, а саме функціональних мехатронних модулів, механізмів завантаження-вивантаження, датчиків і виконавчих пристроїв, керуючих і сигнальних пристроїв, програмованих логічних контролерів формує нижчу ланку ІВС, яка оперує з деталями, – програмовані технологічні машини і лінії, тобто механічний модуль ІВС.

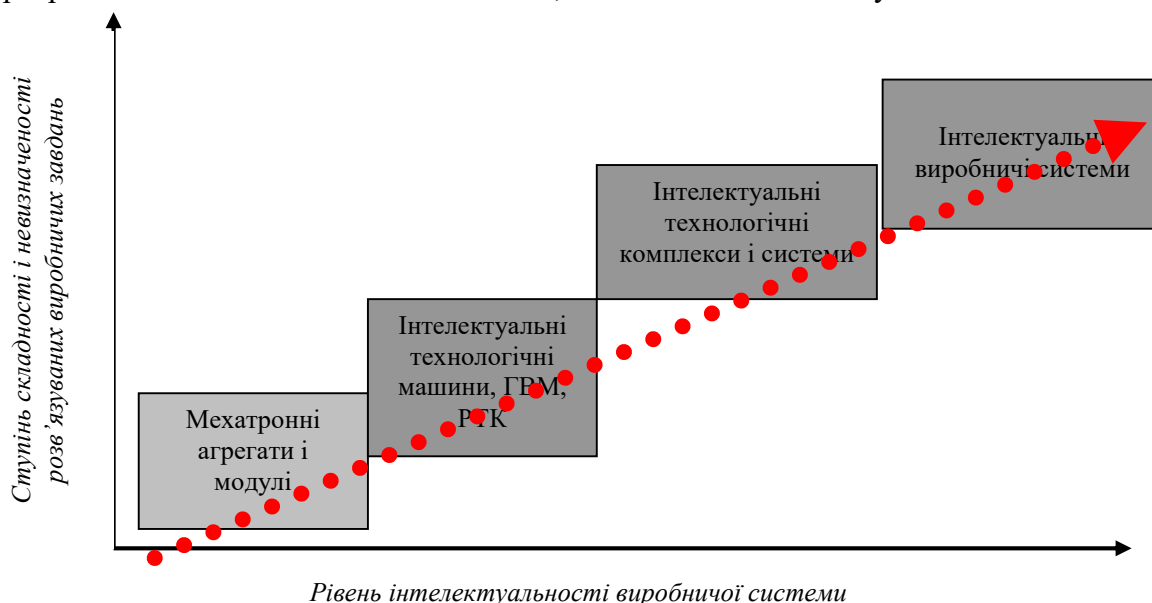


Рис.1 – Ієрархія складності ІВС

Найвищий ступінь інтелектуальності тоді буде мати ІВС, здатна до навчання, зміни структури і прогнозу можливих ситуацій. Далі за рівнем зменшення інтелектуальності вирішуваних завдань розміщуються виробничі системи з інтелектуальними САК

(наприклад, звичайна САК плюс проста база продукційних правил для вибору альтернативи) і їх структурні компоненти, тобто аж до найпростіших інтелектуальних мехатронних і адаптивних пристроїв.

Як приклад будови сучасної пакувальної машини, розглянемо особливості її будови.

Першою особливістю будови сучасних пакувальних машин є те, що на зміну одноцільовим конструкціям здійснюється перехід на мехатронні конструкції і модульне виконання машин.

Другою особливістю будови сучасних пакувальних машин є тенденція спрощення конструкції мехатронних агрегатів і систем управління за рахунок ускладнення програмної частини.

Прикладом переносу центру ваги із механічної конструкції на програмну є здатність до моделювання програми автоматизації без використання апаратної частини, що є суттєвою перевагою ІВС. Проілюструємо це на прикладі дозатора автомату для пакування паст в полімерні стаканчики [3], який з метою підвищення універсальності машини розділений на чотири секції Д1-Д4 (рис.2). Кожна секція дозатора може бути при роботі програмно включена або виключена. Одна секція дозатора подає 250 г продукту. В залежності від завдання при пакуванні спрацьовує одна, дві, три чи чотири секції дозатора в різній послідовності, видаючи відповідно одно- або багатокомпонентну дозу продукту в 250, 500, 750 чи 1000 г відповідно. Враховуючи, що доза продукту може набиратися із різних компонент та в різній послідовності (в залежності від структури продукту), то відповідні стани пакувального автомату зададуться множиною:

$$n = \{D1\}; \{D1, D2\}; \{D1, D3\}; \{D1, D4\}; \{D1, D2, D3\}; \{D1, D2, D4\}; \\ \{D1, D3, D4\}; \{D1, D2, D3, D4\}$$

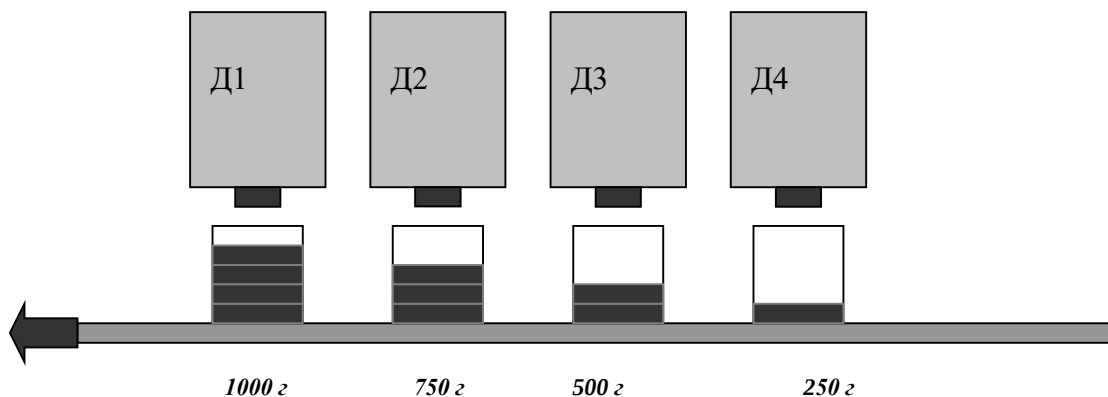


Рис. 2 – Чотирьохсекційний дозатор

Однією з істотних потреб інтелектуального виробництва є використання технологій передачі та аналізу даних. Потужним поштовхом для розвитку «розумних» упаковок послужила поява системи радіочастотної ідентифікації RFID, тобто технології, що ґрунтується на використанні мікрочіпу з антенною.

Список посилань

1. Intelligent Systems for Manufacturing -Multi-agent systems and virtual organizations / L.M. Camarinha-Matos, H. Afsarmanesh, V. Marik - Editores. - Kluwer Academic Publishers, 1998. - IFIP Vol. 130. - P. 137-140.
2. Groover M.P., Zimmers E.W., CAD/CAM: computer-aided design and manufacturing. New Jersey: Prentice-Hall, 1984.
3. Palchevsky B., Swic A., Krestianpol H., Computer integrated designing of flexible manufacturing systems, Lublin University of Technology, Lublin 2015.

УДК 621.9.0077:621.865.85

Бабенко М.О., канд. пед. наук

Махніборода Ю.В., студент

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», м. Покровськ, м. Луцьк

maryna.babenko@donntu.edu.ua

ПРОГРАМУВАННЯ КОЛОБОРАТИВНОГО РОБОТА У СКЛАДІ РОБОТИЗОВАНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ

Одним зі способів автоматизації процесів в умовах гнучкого виробництва є використання роботизованих технологічних комплексів (РТК), при проектуванні яких значущим є обрання робота, який має узгоджувати транспортування заготовок в межах РТК.

Колоборативні роботи (коботи) від Universal Robots – роботи для спільної роботи, які є інструментом автоматизації. Вони можуть виконувати завдання з обслуговування верстатів та працювати разом із операторами, пропонуючи високоякісні та стабільні результати 24/7 [1].

Переваги застосування коботів полягають у підвищенні ефективності за рахунок швидкої інтеграції і переналадження, значному скороченні часу простою виробництва, швидкій окупності протягом 6–9 місяців, зниженні кількості браку при отриманні більш якісних деталей, можливості вбудовування у верстати з ЧПК.

Програмування коботів Universal Robots можливе без створення коду завдяки використанню провідного програмного забезпечення PolyScore, за допомогою якого можна створювати програми, вибираючи вузли з меню та розміщуючи їх у порядку виконання операцій. Кожен вузол представляє інструкцію для робота, і його параметри можна налаштувати [2].

При використанні програмного забезпечення PolyScore за технологічним завданням щодо оброблення заготовки різанням в межах РТК було запрограмовано кобота UR10e. При використанні програмного забезпечення RoboDK [3] створено анімацію роботи кобота UR10e в межах спроектованого РТК (рис. 1).

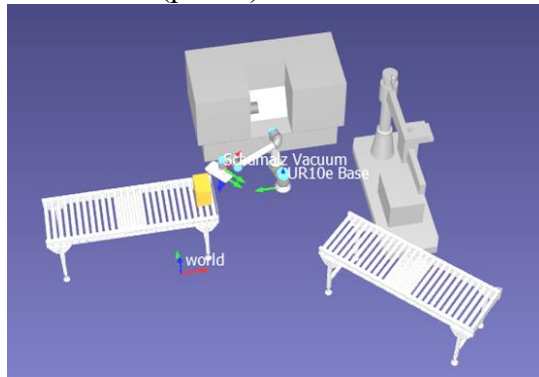


Рис. 1 – Фрагмент анімації роботи колоборативного робота UR10e у складі РТК відповідно до технологічного завдання

Роботу було виконано за результатами підвищення кваліфікації компанії Festo в рамках проекту “Розвиток трудового потенціалу для України”, що реалізуються ГО «Міжнародна фундація розвитку за сприяння Проекту USAID «Економічна підтримка України».

Список посилань

1. Робот, що допомагає, а не заважає [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://simaltex.com.ua/cobot>
2. Rethinking Automotive Manufacturing [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.universal-robots.com>
3. Simulate Robot Applications [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://robodk.com>

УДК 621.791.927.55

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

Криворізький національний університет, anton.ryazancev87@gmail.com

ОЦІНКА ВПЛИВУ ПОВЕРХНЕВОГО ПЛАЗМОВОГО ЗМІЦНЕННЯ НА МІЦНІСТЬ ТА ПЛАСТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СТАЛІ

На практиці дуже часто доводиться стикатися з ситуацією, коли виріб повинен мати високу поверхневу твердість і зносостійкість, яке серцевина – зберегти необхідний запас в'язкості. Для реалізації цієї мети застосовують різні методи поверхневого зміцнення, які знижують загальний рівень конструкційної міцності внаслідок низького рівня роботи зародження та поширення тріщин у зміцненому шарі. Враховуючи особливий структурно-фазовий стан сталі після плазмово-поверхневого зміцнення (ППЗ), проводили порівняльну оцінку його впливу на міцність та пластичні властивості сталевих зразків після різних видів попередньої термічної обробки. Метою поверхневого плазмового зміцнення є підвищення експлуатаційного ресурсу деталей машин за рахунок зміцнення їх поверхневого шару (товщиною в декілька міліметрів) термічною обробкою плазмовою дугою, що сканує, при незмінному загальному хімічному складі матеріалу та збереження у внутрішніх шарах первинних властивостей вихідного металу [1, 2].

Зразки сталі 70 у вихідному відпаленому стані, піддавали стандартному загартуванню в масло та воді й півгодинному відпуску при температурі 450°C. Після проведення плазмового зміцнення їх відпускали протягом півгодини при температурах: 150; 250; 250 і 450°C в муфельній печі.

Випробування зразків проводили на статичний вигин, запропонований для дослідження впливу хіміко-термічної обробки на міцність сталей високої твердості.

Глибина зміцненого шару становила половину товщини зразка і тому при аналізі результатів випробування слід враховувати, що вони відображають міцність та пластичні властивості композиції зміцнений шар-матеріал у тому чи іншому структурному стані.

Як і слід було очікувати, у порівнянні з відпаленим станом об'ємне загартування сталі 70 у воді значно знижує опір руйнуванню при згинанні. У меншій мірі цей ефект проявляється після загартування в олії, що забезпечує м'якіші умови охолодження в мартенситному інтервалі температур. Якщо відпалені зразки пластичні і при стрілі прогину 18 мм не зазнають руйнування, то після загартування в олії вони ламаються при пружному згині 4 мм. Відпуск при 450°C після об'ємного гартування в маслі значно підвищує міцність при згинанні.

Наявність твердого (8,6-9,0 ГПа) і крихкого шару після ППЗ у разі, якщо він працює на стиск, незначно знижує $\sigma_{\text{згин}}$ (межа міцності при згині) відпаленого зразка внаслідок зменшення роботи зародження тріщини у зміцненій зоні, але на відміну від об'ємного загартування в олії руйнуванню передують велика пластична деформація.

З підвищенням температури відпуску після ППЗ вплив міцної дії зміцненого шару знижується, межа міцності при згині монотонно зростає. Істотно зростає і пластична деформація, що передують руйнуванню.

Високих значень досягає межа міцності при згинанні зразків, попередньо загартованих в маслі і відпущених при температурі 350-450°C наступним ППЗ. Таким чином, цей режим дозволяє поєднувати отримання високої поверхневої твердості у зразку після ППЗ, міцності та пластичності, що, безумовно, позитивно відрізняє його від інших (цей висновок узгоджується з результатами роботи [3]). Такому поєднанню властивостей, очевидно, сприяє зона відпуску, розташована безпосередньо за загартованою, що виникає при плазмовому нагріванні в результаті існування градієнта температур, що не перевищують точки A_1 в зоні термічного впливу. Наявність такої зони зафіксованої (рис.1) на кривих

зміни мікротвердості за глибиною зразка є ефективним бар'єром для мікротріщин, що розвиваються в зміцненому шарі при випробуванні зразка. Значну частку загальної деформації, що передує руйнуванню, становить пружна складова, присутність якої можна пояснити вкладом невідпущеної частки перерізу зразка після загартування і середнього відпуску.

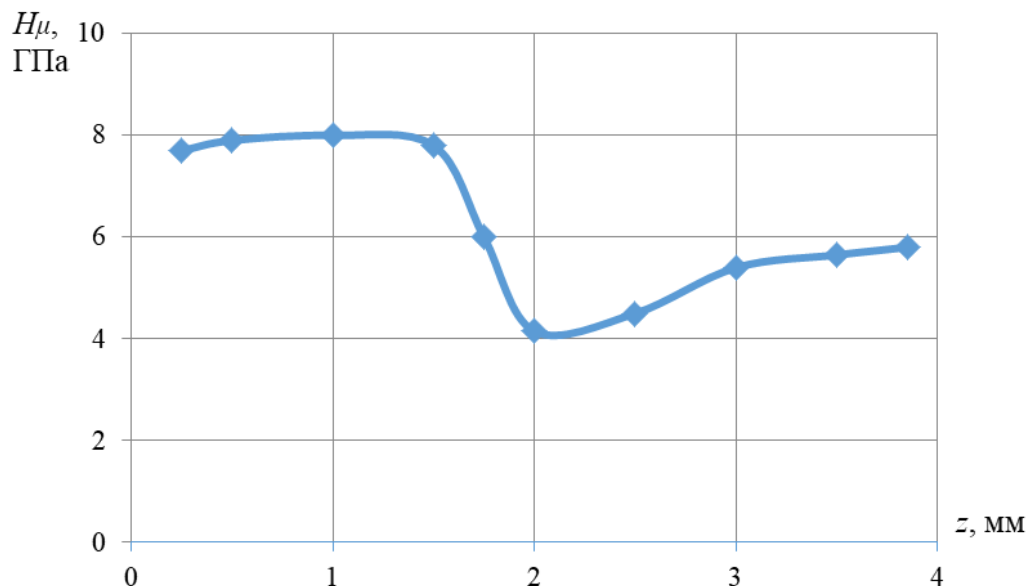


Рис. 1 – Зміна мікротвердості по глибині зразка сталі 70 після плазмового зміцнення, що попередньо підданий об'ємному загартуванню та відпуску 450°C

Очевидними є причини значного зниження межі міцності при роботі зміцненого шару на розтяг. Хоча відпуск після ППЗ помітно підвищує міцність і пластичність, ці показники виявляються у кілька разів меншими за розглянуті раніше.

Не дає істотного ефекту в цих умовах випробування і режим загартування в олії + відпуск 450°C + ППЗ, який добре показав себе при роботі на стиск. Низький рівень роботи зародження та розповсюдження тріщин у крихкому шарі після ППЗ під дією розтягувальних напруг, по суті, призводить до зменшення робочого перерізу зразка, оскільки вже при незначних зусиллях, що навантажують, у зміцненому шарі виникають тріщини на всю його глибину і, надалі, руйнуванню опору решта перерізу зразка.

Таким чином, наявність на поверхні зразка загартованого шару незначно знижує межу міцності при згинанні у випадку, якщо шар працює на стиск. Максимальну конструкційну міцністю при згині мають зразки сталі, що пройшли поверхневе зміцнення з нагріванням плазмовою дугою після попереднього об'ємного загартування і відпуску при температурі 350-450°C. Це пояснюється існуванням відпущеної зони між загартованим шаром та вихідною структурою перед ППЗ, яка виконує роль бар'єру при поширенні мікротріщин на початкових стадіях руйнування.

Список посилань

1. Ryazantsev A. Surface Hardening Technology with a Concentrated Energy Source [Електронний ресурс] / A. Ryazantsev, V. Nechaev, O. Bondar // International journal of integrated engineering. – 2019. – Vol. 11, no. 8. – P. 135–142. – Режим доступу: <https://publisher.uthm.edu.my/ojs/index.php/ijie/article/view/5014>.
2. Нечаєв В. Технологія поверхневого плазмового зміцнення навантажених поверхонь деталей / В. Нечаєв, А. Рязанцев // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. – 2019. – Т. 30 (69) № 2. – С. 18–23.
3. Плазменное поверхностное упрочнение /Л. Лещинский [та ін.]. – Київ: Техніка, 1990. – 109 с.

УДК 621.9.02

Васильєв Є.А., канд. техн. наук

Васильєв А.В, канд. техн. наук

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»,
vas.eugene@gmail.com

СПОСІБ ПАСИВНОГО ШЛІФУВАННЯ НА ТОКАРНОМУ ВЕРСТАТІ

Процес шліфування використовується для чистової обробки валів через його високу продуктивність і можливість досягнення необхідних техніко-економічних показників. Нами запропонований спосіб шліфування, який дуже легко запровадити без використання безпосередньо шліфувального верстата. Для його впровадження достатня наявність універсального токарного верстата. Обробка на токарному верстаті інколи потребує використання саме операції шліфування. Зрозуміло, що використання шліфувальних операцій на токарному верстаті вважається вкрай неприйнятною, і навіть, неприпустимою, оскільки залишки абразивного матеріалу руйнують направляючі токарного верстата. Але, незважаючи на існуючі заборони, все ж використовуються шліфувальні вузли, які додатково встановлюються на токарний верстат для здійснення шліфувальних операцій на ньому при дотриманні заходів захисту направляючих.

Використання шліфувальної головки, встановленої на токарному верстаті, наведене на рис. 1. Основою шліфувальної головки є вісь, яка на вальниціх закріплена у корпусі. Приводу обертання вісь не має і здатна вільно обертатись на вальниціх. На лівому кінці осі закріплений шліфувальний круг з потрібною зернистістю (у даному випадку – круг із алмазотримким шаром). Корпус голівки має можливість жорстко закріплюватись на основі, утворюючи мимобіжний кут відносно осі обертання заготовки. Зазвичай значення кута складає 30 градусів (якщо кут дорівнює 0 градусів – осі обертання заготовки і головки паралельні). Основа шліфувальної голівки закріплена у різцетримачі токарного верстата.

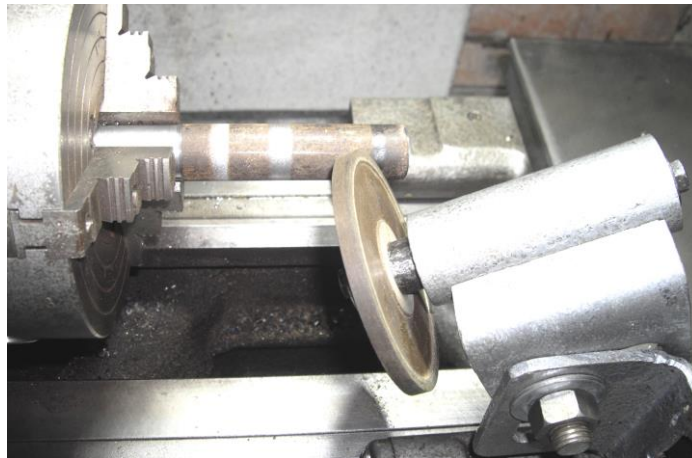


Рис. 1 – Використання шліфувальної головки, встановленої на токарному верстаті

Процес шліфування відбувається наступним чином. Вмикається верстат і заготовка починає обертатись. Пересуваючи супорт різцетримача, шліфувальний круг підводиться до заготовки, при торканні до якої круг починає обертатись. Але через те, що круг контактує із заготовкою не точкою, а смугою, між заготовкою і поверхнею круга виникає швидкість ковзання, яка і забезпечує процес шліфування (швидкість ковзання з одного боку круга випереджає середню швидкість круга, а з другого – відстає). На продуктивність шліфування можна впливати, змінюючи частоту обертання заготовки, кут нахилу голівки, ширину і зернистість круга.

УДК 621.91.002

Стецько А.Є., канд. техн. наук, доцент
Національний університет «Львівська політехніка», andrew73@ukr.net

ВПЛИВ Ni-Co-P ХІМІЧНОГО ПОКРИТТЯ НА МОРФОЛОГІЮ ЗМІЦНЮВАЛЬНИХ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ

Проблема збереження ресурсів та електроенергії, зростання цін на енергоносії та матеріали змушує звертати погляд на удосконалення ресурсо- та енергозберігаючих технологій у машинобудівній галузі. Одним із таких шляхів є створення технологій, які розширюють ресурс (строк служби) деталей, котрі працюють в умовах втомного і абразивного зношення. В існуючих умовах машинобудівної практики, деталі які працюють в таких умовах зміцнюються, в основному шляхом гартування або класичними способами хіміко-термічної обробки, а саме: цементації, азотування, борування тощо. Однак традиційні технології вже не задовольняють вимог нової техніки, котра працює в умовах підвищених навантажень і швидкостей. Декілька останніх десятиліть добрі результати зі створення зміцнених поверхневих шарів показує напрямок комплексної обробки, яка, як правило, полягає в паралельному чи послідовному суміщенні відомих методів зміцнення. Однією з таких технологій є дифузійне насичення сталей після попереднього нікелькобальтфосфорного (Ni-Co-P) хімічного покриття (ХП) [1].

Хімічні покриття суттєво впливає на механізм реалізації рідкометалевої фази (РМ-фази). Цей механізм розплавляє поверхню зразка покритий хімічним покриттям, тому поверхня має високу адсорбційну здатність і значно прискорені процеси дифузії. Технологія гетерогенних шарів дифузійних покриттів після комплексного методу на основі використання рідкометалевої фази, застосування хімічних покриттів дозволяє в кілька разів інтенсифікувати процес дифузійного нанесення на сталь [2].

Дослідження показали, що використання хімічних покриттів до тих же хімічних і термообробка, дала можливість отримати новий композитний шар.

Отримано дані про температуру утворення рідкої фази у ХП Ni-Co-P, – точка плавлення міститься в діапазоні 740–797°C. Ці дані дозволяють запропонувати технологічні режими комплексної обробки, зокрема ізотермічну витримку нижче чи вище температури утворення рідкої фази, які даватимуть прогнозоване і повторюване формування структури дифузійного шару з хаотичним або чітким розміщенням карбідної складової в композиційній зоні. Показано чітку залежність дифузійних процесів, де атомарний хром як на перших етапах, так і в подальшому витісняє вглиб нікель і кобальт, проте не впливає на розподіл фосфору. Проведені дослідження підтверджують припущення про утворення в процесі дифузії спрямованих зон підвищеної дефектності, через які посилено транспортуватиметься атомарний хром, що в надалі призведе до формування регулярної структури зовнішньої композитної зони.

Список посилань

1. 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.
2. 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.

УДК 621.891

Петров О.Д., аспірант,
Корбут Є.В., канд.тех. наук, доцент,
Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»
petrovsasha69@gmail.com

**ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ СВЕРДЕЛ З ДИСКРЕТНО
МОДИФІКОВАНИМИ РОБОЧИМИ ПОВЕРХНЯМИ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
ЯКОСТІ ОТВОРІВ В ДЕТАЛЯХ З ВОЛОКНИСТИХ ПОЛІМЕРНИХ
КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Одними з основних споживачів деталей з волокнистих полімерних композиційних матеріалів (ВПКМ) є авіа-космічна галузь, автомобілебудування та машинобудування. Але одним із стримуючих фактором більш широкого впровадження виробів з ВПКМ є їх висока вартість, не технологічність у виготовленні. Зокрема, при механічній обробці деталей з ВПКМ стикаються з нижченаведеними проблемами.

1. Складність отримання високої якості оброблюваних поверхонь (необхідної шорсткості, точності, відсутності сколів, ворсистості і т. п.) внаслідок анізотропії властивостей матеріалу, низького адгезійного зв'язку між армуючим матеріалом та матрицею.

2. Низька теплопровідність ВПКМ в результаті чого є недостатнім відведення тепла із зони різання.

3. Інтенсивне абразивне зношування різального інструменту за рахунок впливу твердого наповнювача ВПКМ.

4. Низька продуктивність процесу внаслідок низьких швидкостей різання.

5. Пружне відновлення (усадка) формоутворених поверхонь полімерних композиційних матеріалів знижує точність обробки.

6. Виділення дрібнодисперсних летючих токсичних частинок ПКМ під час обробки.

Підвищення продуктивності механічної обробки є одним із пріоритетних напрямків в машинобудівній, авіа-космічній та інших галузях промисловості.

До обробки різанням ВПКМ, як до технологічного процесу висувають ряд вимог по забезпеченню якості отриманих поверхонь, продуктивності та економічності процесу. Важливою задачею є підвищення якості обробленої поверхні зі збереженням продуктивності процесу.

На сьогоднішній день проводиться багато наукових досліджень з вивчення умов забезпечення якості процесу обробки ВПКМ різанням. Багато робіт присвячено вивченню механіки руйнування, мікро- та макроруйнуванню волокнистих полімерних композиційних матеріалів [1]. Дослідженню та розробці нових конструкцій та геометрії різального інструменту [2], визначенню оптимальних режимів обробки [3], нових інструментальних матеріалів та покриттів різального інструменту для обробки ВПКМ [4]. Останнім часом велику увагу приділяють надшвидкісному різанню [5] та вібраційному різанню [6], що в значній мірі підвищують якість отриманих виробів з ВПКМ без втрати продуктивності обробки.

Дослідження [1] показали, що зміна товщини дефектного шару впливає на фізико-механічні властивості деталі такі як міцність, твердість, стійкість до вологопоглинання, діелектричні властивості та інші.

Зі збільшенням глибини дефектного шару ВПКМ від 50 до 350 мкм знижується статична міцність на розтяг в 1,5 рази, а на стискання в 1,25 рази. Тобто для збереження міцності композита після механічної обробки необхідно забезпечити такі умови різання, при яких глибина дефектного шару буде мінімальна та не буде перевищувати 20 – 50 мкм.

Межа міцності на вигин та зсув також мають тенденцію на зменшення при збільшенні товщини дефектного шару, що проявляється наявністю концентраторів напружень на

границі дефектного шару та матеріалу композита. Дослідження [1] показали, що зменшення міцності на вигин проявляється при товщині дефектного шару від 50 – 350 мкм. Зі збільшенням товщини дефектного шару зменшується межа витривалості.

Таким чином можна зробити висновок, що зі збільшенням товщини дефектного шару знижується статична, ударна та втомна міцність ВПКМ.

Для забезпечення експлуатаційних характеристик виробу з ВПКМ необхідно створити такі умови різання при яких товщина дефектного шару була би мінімальна при його обробці. Для визначення можливості використання інструменту з модифікованою робочою поверхнею у вигляді дискретних ділянок з регулярно розташованими на них глобулами необхідно провести експериментальні дослідження.

Список посилань

1. Тарасюк А.П. Технологія механічної обробки полімерних матеріалів. Монографія/ А.П.Тарасюк, О.Л.Кондратюк, Н.В.Везуб. – Харків, 2015. – 226 с.
2. Лупкин Б. В. Свердління ПКМ свердлами з підрізуючими ріжучими кромками /Б. В. Лупкин, О. М. Кошкина, А. Л. Касс // Відкриті інформаційні й комп'ютерні інтегровані технології. – 2011. – № 49. – С. 68-80.
3. Тарасюк. Вибір раціональних умов різання полімерних композитів, що забезпечують максимальні А.П. показники якості поверхні / А.П. Тарасюк. // Вісник СумДУ, Серія «Технічні науки». – №4. – 2012. – с. 155-161.
4. Корбут Є.В. Особливості обробки ВПКМ різанням. / Є.В. Корбут // Перспективні технології та прилади. – Луцьк, 2018. – С. 82-87.
5. Внуков Ю.Н. Проблеми ефективного впровадження процесів високошвидкісного різання / Внуков Ю.Н., Павлюченко І.Н., Папашев К.О., Саржинская А.Г. // Сучасні технології в машинобудуванні. Збірник наукових статей. – Харків.: НТУ «ХПІ» – 2006. – том 1. – с. 43-57;
6. Wang X., Wang I., Investigation on trust in vibration drilling of fiber-reinforced plastics // Journal Mater. Process. Technol. – 2004. – vol. 1486. – pp. 239-244.

УДК 621.865.8

Лапковський С.В., канд. техн. наук, доцент
Фролов В.К., канд. техн. наук, доцент
Гладський М.М., канд. техн. наук, доцент
Шаповалов Г.Ю., бакалаврант

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», lapkovsky@ukr.net

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ВИЗНАЧЕННЯ СТРУКТУРИ РОБОТОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ЗА ДОПОМОГОЮ МОРФОЛОГІЧНОГО КЛАСИФІКАТОРА

Стан економічного та промислового розвитку країни визначається рівнем автоматизації виробництва, впровадженням у різні сфери промисловості промислових роботів і робототехнічних систем (РС). Прискорення процесу роботизації можливе за рахунок скорочення термінів технологічного підготовки роботизованого виробництва (ТПРВ), зокрема, шляхом формалізації вибору структурних елементів РС.

Метою даної роботи є спрощення і прискорення вирішення задачі вибору структурних елементів робототехнічних систем і формалізація даного процесу.

При виборі альтернативних технічних рішень визначення структурних елементів РС необхідно обмежити область можливих рішень, в якій здійснюється вибір. Її можна поділити на чотири зони. Перша зона відповідає множині E_{1i}^{III} матеріально реалізованих і вже готових технічних рішень структурного елемента i -го виду. Наприклад, такою множиною може бути парк верстатного обладнання з ЧПК, парк промислових роботів, наявний запас різального інструмента, якими володіє підприємство, тощо. Друга зона відповідає множині E_{2i}^{III} вже готових рішень, на які існує вся необхідна технологічна та

конструкторська документація, тобто перша зона входить у склад другої: $E_{1i}^{III} \subset E_{2i}^{III}$. Третя зона відповідає множині E_{3i}^{III} всіх відомих проєктних рішень, у тому числі і таких, на які необхідна технологічна та конструкторська документація відсутня: $E_{1i}^{III} \subset E_{2i}^{III} \subset E_{3i}^{III}$. Четверта зона відповідає множині E_{4i}^{III} всіх можливих допустимих технічних рішень: $E_{1i}^{III} \subset E_{2i}^{III} \subset E_{3i}^{III} \subset E_{4i}^{III}$.

Для прискорення ТПРВ раціонально застосовувати інформаційно-пошукові системи технологічного призначення, що призначені для пошуку, видачі та збереження довідкової та нормативної інформації та інформації щодо технічних рішень елементів РС. Інформаційно-пошукові системи необхідно орієнтувати на створення та використання таких масивів інформації, організаційна основа яких містить морфологічні принципи класифікації ймовірних можливих технічних рішень структурних елементів РС. Морфологічний класифікатор (МК) формально описує область множини E_{4i}^{III} і, тим самим, надає можливість систематизувати опис зон множин E_{1i}^{III} , E_{2i}^{III} і E_{3i}^{III} .

Побудова МК, яка забезпечує максимально повне охоплення всіх можливих технічних рішень будь-якого структурного елемента РС, складається з чотирьох етапів.

Перший етап полягає у виявленні характерних ознак i -го класу структурних елементів РС як об'єктів проєктування або вибору. Обрана сукупність ознак розглядається як низка характеристичних функцій, які утворюють базис простору ймовірних технічних рішень.

Другий етап полягає у визначенні вектору дискретних станів для кожної характеристичної функції. Прямий добуток всіх отриманих векторів надає можливість отримати шукану множину можливих альтернативних варіантів технічних рішень класу III структурних елементів: $X(x_i) \cdot Y(y_j) \cdot \dots \cdot V(v_k) \cdot W(w_q) = E_{4t}^{III}$.

Третій етап полягає в побудові математичної моделі МК. Принцип побудови МК спрямований на приведення N -мірної моделі класифікації до такого вигляду, що може забезпечити графічну побудову МК. Для досягнення поставленої мети формуються парні добутки векторів типу $[X(x_i) \cdot Y(y_j)] \cdot \dots \cdot [V(v_k) \cdot W(w_q)] = E^1 \cdot E^2 \cdot \dots \cdot E^u = E_{4t}^{III}$. Прямий добуток кожної пари функцій являє собою матрицю властивостей, що характеризують усі можливі поєднання дискретних станів характеристичних функцій, які перемножуються:

$$E^1 = \begin{bmatrix} x_1y_1 & x_2y_1 & \dots & x_iy_1 & \dots & x_ny_1 \\ x_1y_2 & x_2y_2 & \dots & x_iy_2 & \dots & x_ny_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_1y_j & x_2y_j & \dots & x_iy_j & \dots & x_ny_j \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_1y_m & x_2y_m & \dots & x_iy_m & \dots & x_ny_m \end{bmatrix}.$$

Аналогічним чином записуються матриці $E^2, \dots, E^u$.

Множина E_{4i}^{III} , яка була утворена як добуток просторів, що визначаються множинами $E^2, \dots, E^u$, також може бути записана у вигляді матриці: $x_i \cdot y_j \cdot \dots \cdot v_k \cdot w_q = e_{ts}^{III} \in E_{4t}^{III}$. Елементи матриці – це сполучення усіх дискретних станів характеристичних функцій.

Принцип утворення матриці у графічному вигляді, що відображає множину E_{4t}^{III} і являє собою модель МК, наведено на рис. 1. З практичної точки зору кожний елемент e_{ts}^{III} МК відповідає певному ймовірному технічному рішення, характеристики якого визначають за дискретними станами по координатах даного елемента у матриці класифікатора.

Побудована матриця МК відображає всю ймовірну множину варіантів технічних рішень. Загальна кількість можливих варіантів визначається добутком $n \cdot m \cdot \dots \cdot p \cdot r$ і, зрозуміло, може досягти великого значення. Слід зазначити, що не кожен з альтернативних варіантів технічних рішень буде представляти собою практично здійсненне та економічно доцільне рішення. Тому на цьому етапі здійснюється аналіз матриць, з яких складається МК, і виділення практично можливих і економічно доцільних поєднань дискретних станів.

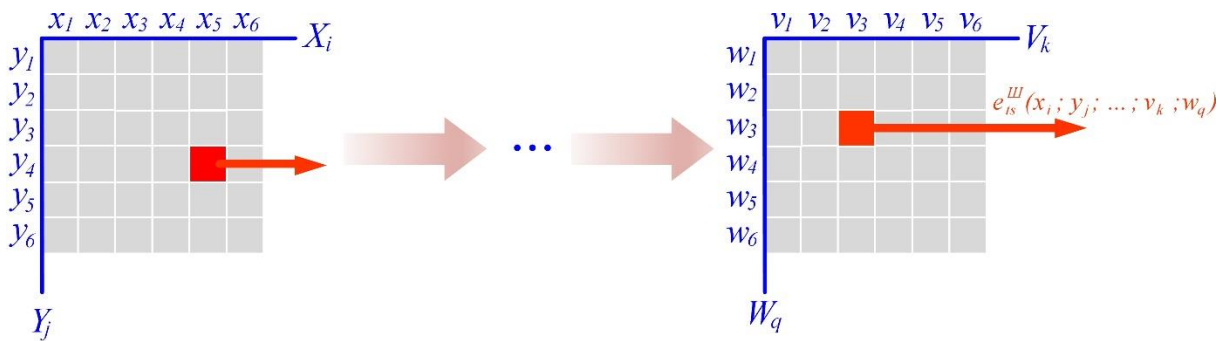


Рис. 1 – Модель морфологічного класифікатора

Четвертий етап полягає у побудові класифікатора проєктних рішень.

Розроблення МК технічних рішень структурних елементів РС дозволяє:

- 1) у систематизованому вигляді охопити не тільки вже всі існуючі на виробництві технічні рішення, але й знайти такі, створення яких можливе і доцільне;
- 2) відзначати у полі МК існуючі технічні рішення, які вже реалізовані безпосередньо на виробництві, або ті, які забезпечені технічною документацією, що буде сприяти мінімізації часу пошуку та оперативному вибору готових рішень;
- 3) формалізувати процедуру вибору структурних елементів РС з урахуванням всіх конкретних обмежень та виробничих умов.

УДК 621.865.8

**Фролов В.К., канд. техн. наук, доцент,
Лапковський С.В., канд. техн. наук, доцент,
Гладський М.М., канд. техн. наук, доцент,
Данилова Л.М., канд. техн. наук, доцент,**

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,
v.k.frolov@gmail.com

ЗАСТОСУВАННЯ РОЗМІРНОГО АНАЛІЗУ ПРИ ПРОЄКТУВАННІ РОБОТИЗОВАНОГО СКЛАДАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

Вирішенню питань розмірного аналізу (РА) присвячено публікації [1, 2], в яких наведені вимоги щодо проведення процедури синтезу роботизованих складальних процесів. Метою даної роботи є систематизація вирішення задач РА роботизованих складальних систем, адже наразі розмірний аналіз є ефективним засобом забезпечення проведення як якісного, так і кількісного аналізу технологічності роботизованих складальних систем і роботизованих складальних процесів.

Метою РА складання є забезпечення необхідної якості виробу та можливості роботизувати складання.

Основні задачі РА складання наступні:

- виявлення розмірних зв'язків на всіх етапах проєктування роботизованих складальних процесів;
- вибір методів та засобів здійснення роботизованих складальних процесів;
- визначення вимог до деталей, що складаються;
- визначення вимог до точності роботи використовуваних складальних засобів.

РА включає наступні етапи.

1. Аналітично чи експериментально визначають вимоги щодо точності положення та руху виконавчих поверхонь виробу або складальної одиниці, виходячи з їх службового призначення.

2. Визначають конструкторські розмірні зв'язки побудовою розмірних ланцюгів, де вихідною інформацією є вимоги до точності виробу.

3. Обирають метод досягнення точності: повна, неповна, групова взаємозамінність, регулювання або підгонка з урахуванням економічно досяжної точності виготовлення ланок при заданому обсязі виробництва та можливостей роботизації.

4. Розраховують допуски розмірів деталей, що з'єднуються, які необхідно витримати при виготовленні деталей для того, щоб було можливо досягти вимог точності при складанні обраним методом досягнення точності.

5. Обирають методи та засоби орієнтування та транспортування деталей, що складаються. Оцінюють технологічність конструкції деталей.

6. Визначають необхідну точність відносного положення деталей, що з'єднуються перед складанням, з урахуванням можливостей збільшення допусків завдяки використанню напрямних фасок.

7. Обирають спосіб досягнення необхідної точності відносного положення деталей (з координацією положення деталей робочими органами складального промислового робота або пошуковою системою).

8. Обирають схему базування деталей, що складаються, та розробляють пристрої, які реалізують необхідну схему з урахуванням забезпечення свободи переміщень і поворотів деталей по окремих координатних осях.

9. Обирають схему складальної позиції і будують складальні розмірні ланцюги; при цьому вихідною інформацією є допустимі відхилення відносного положення локальних систем координат деталей, що з'єднуються.

10. Розраховують допуски розмірів складових ланок розмірних ланцюгів, якими можуть бути:

- просторові відхилення положення поверхні кожної деталі, що з'єднується, відносно її технологічних баз при складанні;

- розміри елементів маніпулятора складального промислового робота.

Перші чотири етапи характерні та обов'язкові при проектуванні технологічного процесу виготовлення виробу з будь-яким ступенем автоматизації. Для роботизованого складання слід враховувати особливості вибору та реалізації методу досягнення точності, а також технологічність конструкції виробу. Інші етапи для умов ручного складання не потрібні. Вони необхідні тільки для роботизованого складання.

В результаті проведеного РА роботизованих складальних процесів можна виявити:

- допустимі відхилення розмірів поверхонь, що з'єднуються, які необхідні для реалізації обраного методу досягнення точності;

- допустимі відхилення розташування поверхонь деталі, що з'єднується, відносно її технологічних баз, які використовуються при складанні;

- параметри фасок по поверхнях, що з'єднуються, – для покращення умов складання;

- вимоги до поверхонь, які використовуються в якості технологічних баз при роботизованому складанні, наприклад, з метою зменшення похибки базування деталі, що з'єднується, в захватному пристрої складального промислового робота;

- вимоги до конструкції деталі – для полегшення її орієнтації.

Виявлення та розрахунок складальних розмірних зв'язків рекомендується проводити в наступній послідовності:

- 1) в положенні кожної деталі, що складається, визначити гранично допустимі відхилення відносно базової деталі, при яких забезпечується з'єднання;

- 2) побудувати розмірні ланцюги, в яких допустимі відхилення є вихідними ланками;

- 3) скласти рівняння розмірних ланцюгів та визначити можливі поля розсіювання складових ланок;

4) обрати метод досягнення точності вихідних ланок розмірних ланцюгів з урахуванням його реалізації у роботизованому виробництві;

5) провести розрахунок допусків складових ланок та обрати методи і засоби реалізації роботизованих складальних процесів з урахуванням необхідної точності складових розмірів розмірного ланцюга.

Таким чином, РА складання дозволяє:

- виявити взаємозв'язок розмірів деталей, що з'єднуються, та елементів складальної системи;
- обґрунтувати необхідну точність розмірів, що забезпечують роботизоване складання, та необхідні параметри складальної одиниці.

Список посилань

1. Pan, G., Chen, W., & Wang, H. (2020). Inverse kinematics solution and posture optimization of a new redundant hybrid automatic fastening system for aircraft assembly. *Industrial Robot*, 47(1), pp. 57-67.

<https://doi.org/10.1108/IR-06-2019-0129>

2. Chen, F., Carbonari, L., Canali, C., D'Imperio, M., & Cannella, F. (2015). Design of a novel dexterous robotic gripper for in-hand twisting and positioning within assembly automation. *Assembly Automation*. 35(3), pp. 259-268. <https://doi.org/10.1108/AA-05-2015-046>

УДК. 621.91.01

Приходько В.П. канд. техн. наук, доцент,
Данилова Л.М., канд. техн. наук, доцент,
Лапковський С.В., канд. техн. наук, доцент,
Фролов В.К. канд. техн. наук, доцент

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,
privas@bigmir.net

ОЦІНКА ВЗАЄМОКОМПЕНСАЦІЇ ПОХИБОК ТЕХНОЛОГІЧНИХ РОЗМІРІВ

При проектуванні технологічних процесів (ТП) виробництва деталей, одним із важливих завдань є прогнозування точності конструкторських розмірів (КР), що забезпечуватиметься при реалізації розробленого ТП та обґрунтоване призначення параметрів точності технологічних розмірів (ТР), дотримання яких приведе до досягнення заданої якості деталей при мінімізації витрат.

Задача якісної оцінки точності КР залежить від багатьох факторів, у тому числі від якості оцінки точності технологічних розмірів, що забезпечується при обробленні, а також від повноти та якості оцінки впливу точності ТР на точність КР, і вирішується на етапі розмірного моделювання та аналізу технологічних процесів (РМА ТП). Якість прогнозування точності КР, що буде забезпечуватись при обробленні, впливатиме на обґрунтованість та ефективність висновків щодо придатності розробленого ТП, а також щодо необхідності та напрямків його коригування.

Відомо [1, 2], що взаємокомпенсація похибок ТР є важливим чинником, який має суттєвий вплив на точність КР, і, який необхідно враховувати при оцінці точності КР. Неврахування або неповне врахування взаємокомпенсації приводить до хибної оцінки точності КР та ТП у цілому, щодо здатності забезпечити задану точність параметрів виробу і, як наслідок – до хибних рекомендацій щодо необхідності коригування ТП. Взаємокомпенсація виникає тоді, коли в операційному розмірному ланцюгу (1) є одна або декілька пар технологічних розмірів-складових ланок, в яких зв'язані складові ланки мають різні знаки, тобто одна є збільшуючою, а друга – зменшуючою, при цьому їх похибки змінюються однаково за напрямом і, в значній мірі, за величиною. Наприклад, якщо в ОРЛ (1) буде мати місце одночасна зміна технологічних розмірів F_1 та F_2 на одну і ту ж величину (рис.1), то в ідеалі це приведе до повної їх компенсації та відсутності зміни КР А (рівняння 3), не зважаючи на зміну обох складових ланок ОРЛ.

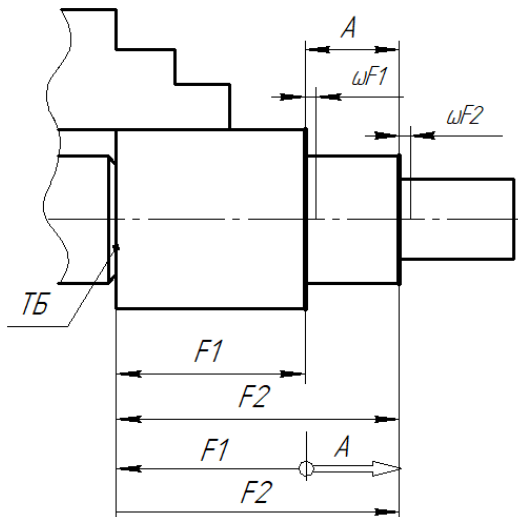


Рис. 1 – Схема оброблення та ОРЛ

$$[A] = -F1 + F2 \quad (1)$$

$$[\omega A] = \omega F1 + \omega F2 \quad (2)$$

$$[\omega A] = \omega F1 + \omega F2 - 2\omega_k \quad (3)$$

$$\text{Або } 2\omega_k = \omega F1 + \omega F2 - [\omega A] \quad (4)$$

При цьому приймається, що $2\omega_k = 2 \cdot k \cdot \omega F_i$, а коефіцієнт k ($k = \omega_k / \omega F_i$) відображає частку меншого за величиною поля розсіювання ωF_i , яка буде компенсована і не вплине на точність замикаючої ланки А. При неврахуванні такого ефекту розрахунок (рівняння 2) покаже значну величину розсіювання розміру А, яка може перевищити величину допуску, при реальній меншій або незначній величині такого розсіювання. Проблема в тому, що для більшості схем, способів та методів оброблення значення таких коефіцієнтів визначені тільки для окремих випадків. Тому для її вирішення, та для

визначення величини взаємокомпенсації похибок при токарному обробленні, була розроблена спеціальна програма для моделювання впливу пружних деформацій технологічної системи, внаслідок колювання припусків та твердості заготовок, на розсіювання величин технологічних розмірів та взаємокомпенсацію похибок. Метою такого моделювання була оцінка величин та коефіцієнтів взаємокомпенсації похибок технологічних розмірів, для різних схем формування конструкторського розміру А1. Дослідження проводилось для 2-х схем формування КР з отриманням 2-х технологічних розмірів: 1) послідовним обробленням поверхонь точінням, з поздовжньою подачею, за програмою ЧПУ; 2) обробленням набором 2-х різців, з поздовжньою подачею. Аналіз механізму взаємокомпенсації свідчить про те, що величина взаємокомпенсації буде визначатись характером зміни похибок певного виду, при отриманні відповідних технологічних розмірів, у межах однієї заготовки. За результатами аналізу було встановлено, що найбільший вплив на величину взаємокомпенсації матимуть похибки, що виникають внаслідок пружних деформацій елементів технологічної системи. Вплив інших похибок буде незначимим через малу їх величину для розмірів в межах однієї заготовки. Зокрема це відноситься до похибок, що виникають внаслідок температурних деформацій та зносу інструменту. Похибки установки заготовок або похибки окремих її складових будуть повністю взаємокомпенсуватись, оскільки технологічні розміри з такими похибками завжди матимуть спільну вимірювальну базу. З дотриманням таких передумов, при моделюванні проводилась імітація зміни припусків і твердості заготовок у межах відповідних допусків, з подальшим розрахунком відповідних похибок, їх полів розсіювання. З урахуванням особливостей формування замикаючих ланок розраховувались величини полів їх розсіювання та, з використанням, приведених вище формул, розраховувались величини та коефіцієнти взаємокомпенсації для різних умов оброблення.

За результатами досліджень було встановлено що:

1) в обох схемах формування конструкторських розмірів має місце взаємокомпенсація похибок ТР;

2) найбільша величина коефіцієнту взаємокомпенсації $k = 0,8-0,75$ буде при формуванні конструкторського розміру А набором інструментів з поздовжньою подачею;

3) при формуванні конструкторського розміру А, з отриманням технологічних розмірів за програмою ЧПУ, $k = 0,6-0,55$.

Отже, наприклад, якщо $\omega F1 = \omega F2 = 0,15 \text{ мм}$, прогнозована величина розрахована згідно (2) буде $[\omega A] = \omega F1 + \omega F2 = 0,15 + 0,15 = 0,3 \text{ мм}$, тоді як з урахуванням взаємокомпенсації

$[\omega A] = \omega F1 + \omega F2 - 2 \cdot k \cdot \omega F1 = 0,15 + 0,15 - 2 \cdot 0,6 \cdot 0,15 = 0,12 \text{ мм.}$ що свідчить про суттєву відмінність і підтверджує необхідність та доцільність використання визначених коефіцієнтів взаємокомпенсації при прогнозуванні точності, розмірів, отримуваних при токарному обробленні заготовок.

Список посилань

1. Приходько В.П. Розмірне моделювання та аналіз технологічних процесів: навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 249 с. [Електронний ресурс] режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/38826>
2. Рудь В. Д. Розмірно - точнісний аналіз конструкцій та технологій: навч. посібник. /В.Д. Рудь, О. О.Герасимчук, Т. П. Маркова. – Луцьк: РВВ ЛДТУ, 2010 – 344 с.

УДК 621.865.8

Лапковський С.В., канд. техн. наук, доцент

Фролов В.К., канд. техн. наук, доцент

Гладський М.М., канд. техн. наук, доцент

Приходько В.П., канд. техн. наук, доцент

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», lapkovsky@ukr.net

РОЗМІРНИЙ АНАЛІЗ ПРИ РОБОТИЗАЦІЇ СКЛАДАЛЬНИХ СИСТЕМ

Розмірний аналіз є ефективним сучасним засобом для якісного та кількісного аналізу існуючих і синтезу нових роботизованих складальних систем. Вирішенню питань розмірного аналізу було присвячено публікації [1,2], в яких наведені методологічні основи застосування теорії розмірних ланцюгів і типові задачі, що виникають при проектуванні технологічних процесів складання. Досліджено та порівняно результати, які отримані різними методами: моделюванням методом Монте-Карло, методом діаграм допусків, уніфікованою моделлю торсора Якобі, аналізом векторної петлі та іншими. Аналіз досліджень дозволяє зробити наступний висновок: завдання визначення та розрахунку розмірних ланцюгів при роботизованому складанні вирішено не в повній мірі.

Метою даної роботи є вирішення задачі визначення та розрахунку розмірних ланцюгів при роботизованому складанні.

Методику розмірного аналізу при роботизації складальних систем розглянемо на прикладі складання вала та втулки (рис. 1). Розміри з'єднуваних деталей показані на рис. 2.

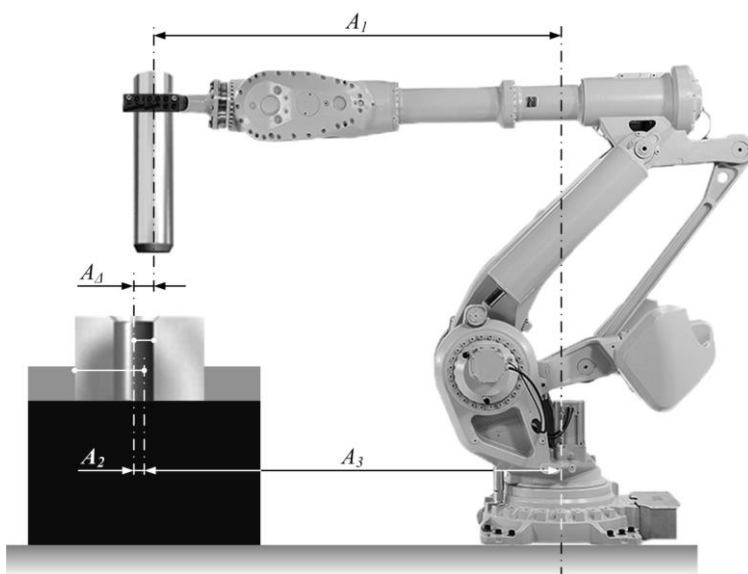


Рис. 1 – Роботизоване складання вала та втулки

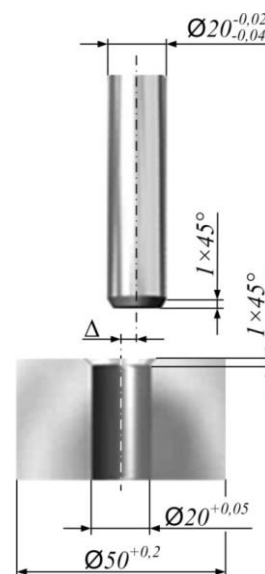


Рис. 2 – Розміри вала та втулки

Розмірний ланцюг, наведений на рис. 1, складається з наступних ланок:

A_1 – розмір для позиціонування захватного пристрою; A_2 – відхилення осі отвору від осі зовнішньої поверхні втулки, яка є основною базою втулки; A_3 – розмір, що пов'язує положення пристрою, який базує втулку, зі складальним роботом.

Для того, щоб з'єднання здійснилось, необхідно забезпечити співвісність вала та отвору втулки. Максимально допустиме відхилення від співвісності визначається за формулою:

$$\Delta_{max} = \frac{D_{max} - d_{min}}{2} + C_o + C_v, \quad (1)$$

де D_{min} – мінімальний діаметр отвору втулки;

d_{max} – максимальний діаметр вала;

C_o – ширина фаски отвору;

C_v – ширина фаски вала.

Підставивши у формулу (1) вказані на рис. 2 розміри деталей, отримаємо:

$$\Delta_{max} = \frac{20 - (20 - 0,02)}{2} + 1 + 1 = 2,01 \text{ мм.}$$

З отриманого значення Δ_{max} видно, що більшу частину максимально допустимого відхилення забезпечують фаски на деталях. Без використання фасок максимально допустиме відхилення становить 0,01 мм.

Допустиме відхилення A_Δ від співвісності вала та отвору у розмірному ланцюзі складальної системи (рис. 1) становить $A_\Delta = 0 \pm 2,01$ мм.

При роботизованому складанні точність розміру A_Δ повинна забезпечуватися методом повної взаємозамінності. У цьому випадку номінальні значення складових ланок розмірного ланцюга до уваги не беруться, оскільки здійснене початкове налагодження. Отже, рівняння розмірного ланцюга перетворюється на тотожність, а рівняння допусків приймає наступний вигляд:

$$T_\Delta = T_1 + T_2 + T_3, \quad (2)$$

де T_Δ – допуск замикаючої ланки A_Δ ; T_1 – допуск ланки A_1 ; T_2 – допуск ланки A_2 ; T_3 – допуск ланки A_3 .

Якщо не використовувати при складанні фаски деталей, то $T_\Delta = 0,02$ мм; $T_2 = 0,2$ мм (допуск співвісності $\pm 0,1$ мм); $T_3 = 0,01$ мм – допуск на теплові деформації. Тоді:

$$0,02 = T_1 + 0,2 + 0,01,$$

де T_1 – допуск позиціонування захватного пристрою складального робота.

Вирішивши рівняння, отримаємо $T_1 = -0,19$ мм.

Отримане значення T_1 показує, що роботизоване складання здійснити неможливо, адже значення допуску T_1 завжди має бути більше 0.

Реалізація роботизованого складання можлива при підвищенні вимоги до співвісності отвору та зовнішньої поверхні втулки, але це збільшить вартість виготовлення втулки.

Можна також орієнтувати втулку не по зовнішньому, а по внутрішньому діаметру, наприклад, за допомогою підпружиненого конуса. У цьому випадку із розмірного ланцюга A виключається розмір A_2 . Тоді рівняння допусків (2) набуде наступного вигляду:

$$0,02 = T_1 + 0,01$$

звідки $T_1 = 0,01$ мм.

Отже, якщо використовувати складальний робот із похибкою позиціонування не більше $\pm 0,005$ мм, то роботизоване складання здійснити можливо.

При використанні фасок $T_{\Delta max} = 2\Delta_{max} = 4,02$ мм. У цьому випадку рівняння допусків (2):

$$4,02 = T_1 + 0,2 + 0,01,$$

звідки $T_1 = 3,81$ мм.

Тобто, при використанні фасок, які значно збільшують допустиме відхилення від співвісності деталей (від 0,02 мм до 4,02 мм), можна застосовувати складальний робот з похибкою позиціонування $\pm 1,9$ мм.

Таким чином, розмірний аналіз при роботизованому складанні дозволяє узгодити розміри елементів складальної системи, обґрунтувати вимоги до точності використовуваного складального робота та деталей, що з'єднуються.

Список посилань

1. Kosec, P., Škec, S., & Miler, D. (2020). A comparison of the tolerance analysis methods in the open-loop assembly. *Advances in Production Engineering & Management*, 16(1), 44–56. <https://doi.org/10.14743/apem2020.1.348>
2. Кравець, В., Кравець, О., Адаменко, Ю., Лапковський, С., Кореньков, В., & Фролов, В. (2023). Аналіз розмірних зв'язків роботизованого комплексу. *Технічні науки та технології*, 3 (33), 40–52. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2023-3\(33\)-40-52](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2023-3(33)-40-52)

УДК 622.621

Медведєв В.В., канд. техн. наук, доцент

Фролов В.К., канд. техн. наук, доцент

Лапковський С.В., канд. техн. наук, доцент

Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського»,

v.k.frolov@gmail.com

Сапон С.П., канд. техн. наук, доцент

Національний університет «Чернігівська політехніка», s.sapon@gmail.com

МОДУЛЬНИЙ ТЕЛЕСКОПІЧНИЙ ПІДЙОМНИК

При монтажі великогабаритних виробів машинобудування, складанні ливарних машин, прокатних станів, для підйому людей і матеріалів, в будівництві, телекіноіндустрії, для складської логістики та виконанні рятувальних робіт потрібне зручне вантажопідйомне обладнання, яке відповідає стандартам з охорони праці.

Авторами запропонований підйомник зі збільшеною висотою підйому за рахунок модульного принципу його комплектування і розширеною сферою використання за рахунок підвищення міцності підйомного механізму, компактності у складеному стані та відсутності елементів, які виступають за межі підйомника [1].

В складеному положенні модульний підйомник представлений на рис. 1.

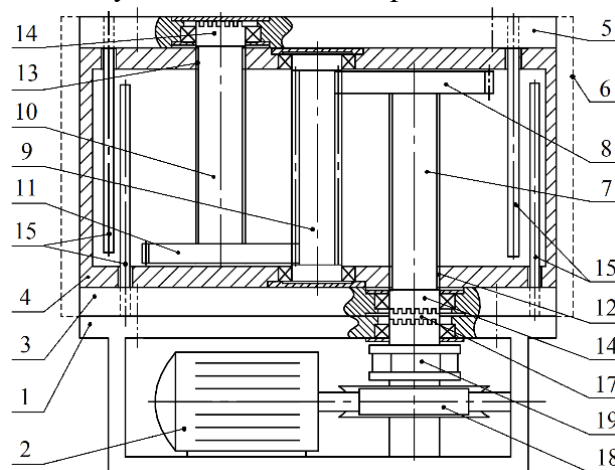


Рис. 1 – Модульний підйомник з одного телескопічного модуля в складеному стані

Для розкладання підйомника обертальний рух від привода 2, розташованого під платформою 1, через двосторонню зубчасту напівмуфту 17 передається до ведучого вала 7 та через шестерню 8, вал-шестерню 9 і шестерню 11 – до веденого вала 10. При обертанні ведучого вала 7 за рахунок гвинтової передачі 12 корпус середньої ланки 4 модуля переміщується в вертикальному напрямку відносно його нерухомої ланки 3, а при обертанні

веденого вала 10 за рахунок гвинтової передачі 13 рухома ланка 5 модуля переміщується в вертикальному напрямку відносно корпусу середньої ланки 4. При цьому ведучий 7 та ведений 10 вали переміщуються вздовж своїх осей обертання відносно проміжного вала-шестерні 9 редуктора і корпусу середньої ланки 4. Переміщення відбувається доти, поки оператор підйомника примусово не зупинить привод 2 або поки після підйому модуля на максимальну висоту (рис. 2) не спрацює запобіжна муфта обмеженого крутного моменту 19.

Для складання модульного підйомника від привода 2 передається реверсивний обертальний рух, при цьому всі ланки підйомника складаються одночасно.

За наявності в конструкції модульного підйомника додаткового телескопічного модуля 16 (рис. 3) або декількох додаткових модулів при передачі обертального руху від привода 2 до ведучого вала 7 вертикальне переміщення всіх його рухомих ланок відбувається одночасно.

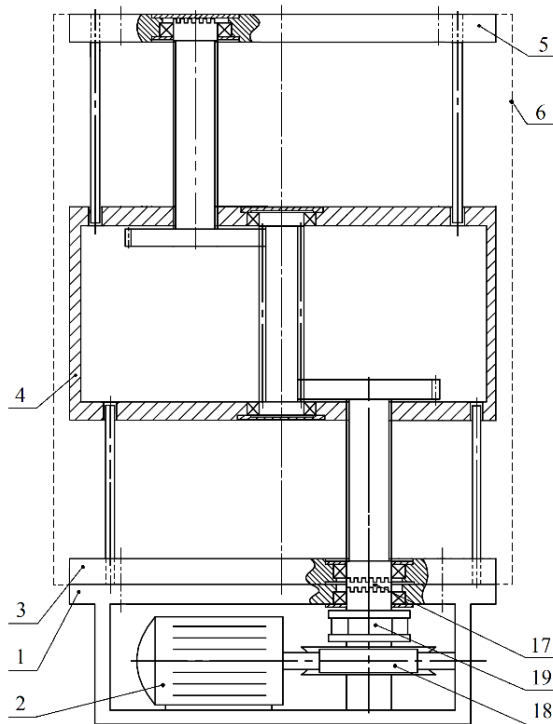


Рис. 2 – Модульний підйомник з одного телескопічного модуля в розкладеному стані

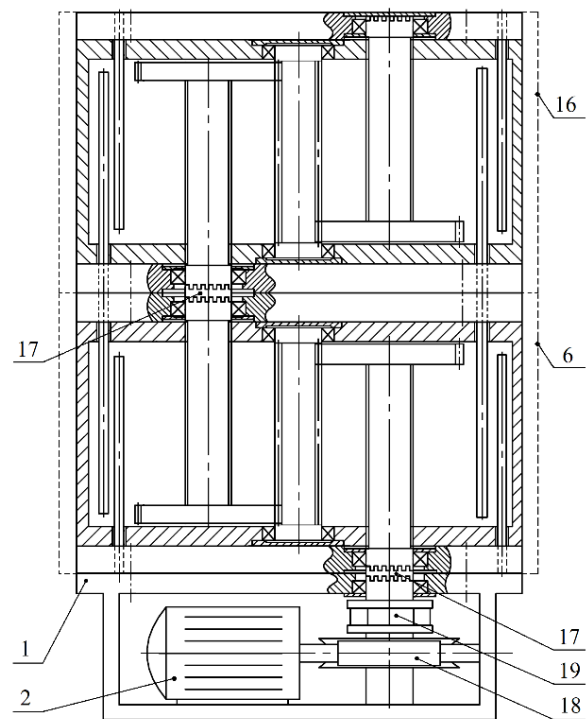


Рис. 3 – Модульний підйомник з двох телескопічних модулів в складеному стані

Для запобігання неконтрольованого складання модульного підйомника без зовнішнього джерела живлення, окрім самогальмівних гвинтових передач 12 та 13, привод 2 забезпечений самогальмівним черв'ячним редуктором 18, а для запобігання пошкодження деталей підйомника через надмірні навантаження після досягнення максимальної висоти підйому – запобіжною муфтою обмеженого крутного моменту 19.

Кількість модулів, з яких може складатись підйомник, обмежується тільки механічною міцністю всієї конструкції і необхідною точністю позиціонування вантажу.

Відсутність елементів, які виступають за межі підйомника, дозволяє в разі потреби закривати механізм захисними екранами або пристиковувати платформу впритул до інших конструкцій. При додаванні до конструкції підйомника контролерів з'являється можливість застосовувати будь-які циклограми руху і прискорення платформи, а також зупиняти її в необхідному положенні. Конструкція дозволяє розташовувати підйомник під різними кутами і навіть підвішувати до стелі. Модульний підйомник може бути встановлений на

горизонтальну нерухому поверхню, або, за необхідністю, на транспортний засіб, який забезпечить його переміщення в горизонтальній площині.

Запропонована конструкція модульного телескопічного підйомника дозволить збільшити максимальну висоту підйому і розширить сфери його використання.

Список посилань

1. Патент України на корисну модель UA 155825 U, МПК (2024.01) B66F 7/00, E04H 12/18, F16L 27/12 / Модульний телескопічний підйомник / В. В. Медведєв, В. К. Фролов, С. В. Лапковський, М. М. Гладський, В. П. Приходько, Л. М. Данилова, Ю. В. Яровий, С. П. Сапон. Заявка № u202306150; заявл. 18.12.23 ; опубл. 10.04.2024, Бюл. № 15. 7 с.

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

АНАЛІЗ ПЛОСКОГО МЕХАНІЗМУ ТРЕТЬОГО КЛАСУ З ДВОМА СТРУКТУРНИМИ ГРУПАМИ ЛАНОК

Структурні дослідження складних механізмів вищих класів є актуальними, а їх результати дозволяють удосконалювати існуюче обладнання та проектувати технологічні машини з новими експлуатаційними можливостями.

Аналіз механічних систем виконується в певній послідовності: спочатку розглядаються питання теорії будови механізмів [1-3], які дозволяють розробити стратегію їх дослідження, потім за оптимально обраною схемою визначаються кінематичні параметри ланок та їх окремих точок [4-6], за якими проводяться подальші силові та динамічні розрахунки [7].

Розглянемо складний плоский механізм третього класу, кінематична схема якого наведена на рис. 1. Механізм складається з однієї нерухомої та семи рухомих ланок, серед

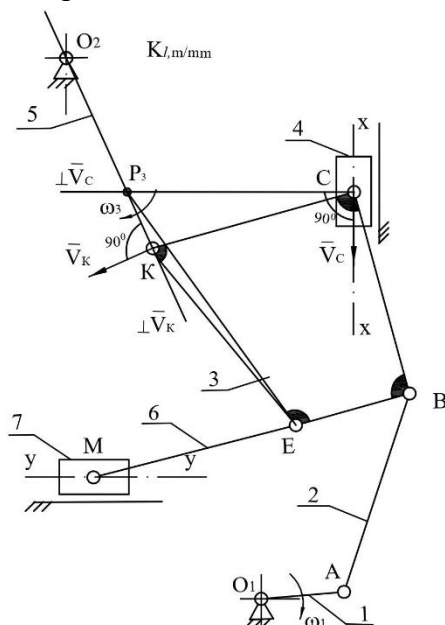


Рис. 1 – Кінематична схема механізму

яких ланки 1, 5 мають обертальний рух, ланки 4, 7 – поступальний, всі інші (ланки 2, 3, 6) рухаються плоскопаралельно. Сукупність десяти кінематичних пар (O_1 , A, B, C (обертальна), C_1 (поступальна), E, M (обертальна), M_1 (поступальна), K, O_2) та семи рухомих ланок утворюють механічну систему з однією ведучою ланкою та відповідною рухомістю по відношенню до нерухомого корпусу.

Особливістю механізму є наявність складної ланки 3 в його структурі, що одночасно несе на собі чотири елементи кінематичних пар B, E, C, K, якими вона з одного боку приєднується до двох різних шатунів (ланки 2, 6), а з іншого боку - до ланок (повзун 4, коромисло 5), які безпосередньо утворюють кінематичні пари з нерухомим корпусом механізму.

Структура механізму обумовлена послідовним приєднанням до початкового механізму (ланки 0, 1) спочатку структурної групи ланок третього класу третього порядку (ланки 2 – 5), а потім - другого класу другого порядку (ланки 6, 7) згідно наступної формули:

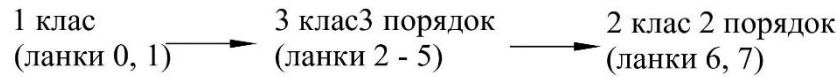


Рис. 2 – Формула структури механізму

Абсолютні рухи повзуна 4 та коромисла 5 дозволять геометрично визначити напрямки векторів швидкостей точок С, К ($\vec{V}_C // xx$, $\vec{V}_K \perp KO_2$), а отже і положення миттєвого центру швидкостей шатуна 3 (точка P_3), як точки перетину ліній, що проведені перпендикулярно до векторів швидкостей $\vec{V}_C$ та $\vec{V}_K$ 3, відповідно, точок С та К.

Пропонуємо подальші дослідження механізму за допомогою графоаналітичного способу виконувати в послідовності, що обумовлена іншою структурно можливою ведучою ланкою. Так, якщо іншою ведучою ланкою обрати повзун 4, то послідовність побудови планів швидкостей та прискорень буде відповідати послідовно - паралельному приєднанню трьох структурних груп ланок другого класу другого порядку: спочатку структурної групи, що утворена ланками 3, 5, а потім двох структурних груп ланок 1, 2 та 6, 7. Якщо за початковий механізм обрати сукупність нерухомої ланки та коромисла 5, то будемо мати аналогічну послідовно – паралельну структурну груп ланок другого класу другого порядку, відмінність якої від попередньої структури буде відрізнятися тим, що до першої структурної групи ланок будуть надходити ланки 3, 4.

Особливий випадок спостерігається., якщо умовно за ведучу ланку механізму обрати шатун 3, який в точці P_3 буде умовно приєднаний до стояка оберальною парою, яка дозволить йому робити відносно цієї точки миттєво оберальний рух. Тоді подальші кінематичні дослідження можна виконати в послідовності, згідно з якою до ведучої ланки 3 паралельно приєднані тільки дві структурні групи ланок другого класу другого порядку: група ланок 1, 2 та 6, 7.

У випадку, якщо для такої миттєво можливої заміни в якості умовно можливих початкових механізмів обрати сукупність ланок «корпус – ланка 1» та «корпус – ланка 7», то для них буде спостерігатися послідовне приєднання двох структурних груп ланок другого класу другого порядку: для першого випадку сукупність ланок 2, 3 та 6, 7, а для другого - 3, 6 та 1, 2.

Таким чином, аналіз плоского механізму третього класу з двома структурними групами ланок третього та другого класів показує, що при умові обрання інших можливих початкових механізмів в структурі механічної системи з'являються структурні зміни, що дозволяють виконати подальші дослідження механізму в спосіб притаманний дослідженню механізму другого класу.

Список посилань

1. Joldasbekov S., Ibraev S., Zhauyt A., Nurmagambetova A., Imanbaeva N. Modular synthesis of plane lever six-link mechanism of high class. Middle-East // J. of Sci. Research. – 2014 – 21, N 12, P.2339 – 2345.
2. Y Q Li, Y Zhang, L J Zhang. (2020) A new method for type synthesis of 2R1T and 2T1R 3-DOF redundant actuated parallel mechanisms with closed loop units // Chinese Journal of Mechanical Engineering. – 2020 – p. 33-78.
3. Wohlhart K Position analysis of normal quadrilateral Assur groups // Mechanism and Machine Theory. – 2010 45(9):1367 – 1384, DOI 10.1016/j.mechmachtheory.2010.03.002
4. Cheng, Z., & Li, Q. Kinematic analysis of a 4-SSSS compliant mechanism for large-deflection motion // Mechanism and Machine Theory. – 2021 – 164 c.
5. Zawodniok, M., & Jezowski, J. Kinematic synthesis of planar four-bar mechanism with prescribed workspace by Bézier curve // Mechanism and Machine Theory. – 2020 – 152 c.
6. Koshel' S. O., Dvorzhak V. M., Koshel' G. V., Zalyubovskiy M. G. Kinematic Analysis of Complex Planar Mechanisms of Higher Classes // Int. Appl. Mech. – 2022 – 58, N 1. – P. 111 – 122.

7. Дворжак В. М. Силовий аналіз механізму коливального руху вушкових голок основов'язальної машини // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Технічні науки. – 2019 – № 3 (134). – С. 26-35

УДК 621.876.212

Бельмас І.В., докт. техн. наук, професор
Швачка А.В., аспірант

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське, a.shvachka@ukr.net

ДІАГНОСТИКА ТА ВРАХУВАННЯ ВПЛИВУ ПОРИВІВ НА МІЦНІСТЬ ТРОСІВ КАНАТУ ЗІ ЗМІННИМ ПОПЕРЕЧНИМ ПЕРЕТИНОМ

На сучасних спорудах, наприклад підвісних мостах, канатних дорогах, ліфтовому обладнанні або шахтному, у системі гальмування літаків на авіаносці широко застосовують вантові канати саме через здатність охоплювати великі прольоти та витримувати великі навантаження. Ванта – це несучий лінійний елемент (сталевий канат, трос), що запресоване в еластичне середовище і працює на розтягування.

Сила натягнення вант зокрема на мостах залежать не тільки від маси мосту, а і від вітрових навантажень. Зміна зусиль у вантових елементах може привести до різних наслідків - від незначної зміни напружено-деформованого стану несучих конструкцій до великих аварій і повного обвалення прогонових будов транспортних споруд.

Зменшити вплив вітрових навантажень ми пропонуємо шляхом створення вант не круглого перерізу – за схемою багат шарового гумотросового канату ступінчастої форми. Ступінчаста конструкція каната зумовлює нерівномірність розподілу напружень в канаті (рис. 1). У світовій практиці використовуються плоскі канати запресовані в поліуретанову оболонку. Термін роботи таких канатів перевищує термін роботи звичайних канатів у 6 разів.

Представлено досвід використання вант на прикладі Київського моста. Канат складається з 31 паралельно покладеного оцинкованого дроту діаметром 5 мм. Для канатів використано дрід з розривною міцністю не менше 1500 МПа та модулем деформації $2 \cdot 10^5$ МПа (рис. 2 та рис. 3).

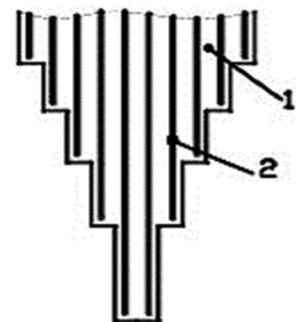


Рис. 1 – Схема каната ступінчастої конструкції: 1 – гумова оболонка, 2 – троси

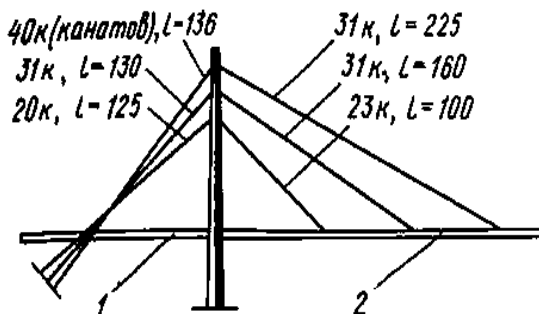


Рис. 2 – Схема вантів Північного мосту

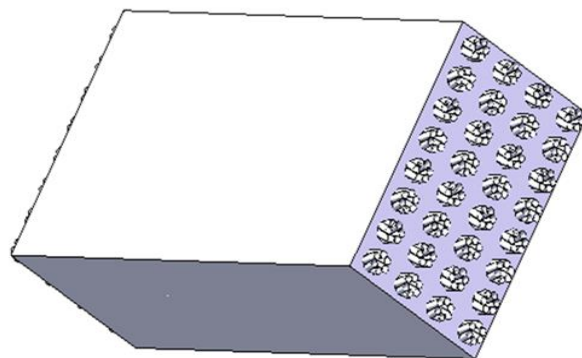


Рис. 3 – Схема тросів у багат шаровому канаті

Запропонований нами вантовий канат за конструкцією можна розглядати як декілька плоских гумотросових канатів з'єднаних як декілька шарів. Ми пропонуємо застосувати плоский канат з діаметром дротів 0,5 мм з розривною міцністю в 2 рази більшою ніж при 5 мм.

Для впровадження такого технічного рішення необхідно розробити метод неперервного контролю пориву тросів такого канату. Завдання контролю стану конструкцій, що містять вантові складові, є сучасним та актуальним, особливо враховуючи реалії стану конструкцій в Україні.

Дослідженнями встановлено, що контроль стану тросів можливий на канатах до деякої їх довжини. Рекомендацій щодо способу визначення цієї довжини не надано.

Метою роботи є підвищення надійності, експлуатаційної безпеки та терміну служби вантових гумотросових канатів за рахунок розробки способу автоматичної діагностики тросів на наявність у них розривів.

Наукове значення отриманих результатів полягає у визначенні вимог до автоматичної системи контролю тросів вантового канату. Для виявлення поривів система перевіряє кожен трос у канаті електричним сигналом і далі відображає результат на екрані. Але достовірні результати можливі до деякої довжини канату, після система розраховує результати але відобразити їх не має можливості. Тому на основі розрахунків ми встановили, що для випадку із закороткою система сповіщає про наявність розриву до довжини канату 20 м. Для випадку коли троси в канаті цілі величина струму становить близько 1 А, коли є розрив величина різко підвищується.

Практичне значення роботи полягає у впровадженні автоматичної системи контролю, яка дасть змогу оперативно приймати рішення спрямовані на ліквідацію ушкодження плоских одношарових та вантових багатошарових канатів.

Застосування методу діагностування стану тросів у одношаровому гумотросовому канаті та багатошаровому вантовому шляхом контролю його електричного опору обмежено довжиною каната оскільки зростання довжини, стан якого діагностують, супроводжується зменшенням значення діагностичного параметра - різниці значень електричних опорів з цілими та ушкодженим тросом. Довжина, на якій можливо забезпечення контролю стану канату, зворотно пропорційна кореню квадратному з добутку питомого опору окремо взятого троса та питомої електричної провідності гумового прошарку поміж двома тросами, завулканізованими в гуму. Довжина може бути збільшена, коли троси протилежного кінця закоротити.

Список посилань

1. Стороженко Л.І. Нові сталезалізобетонні структурно-вантові конструкції /Л.І. Стороженко, Г.М. Гасій, С.А. Гапченко // Збірник наукових праць. Сер.: Галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава: ПолтНТУ, 2014. – Вип. 1. – с. 91–96.
2. Вплив зміни в часі механічних властивостей гуми на напружений стан гумотросового тягового органа з ушкодженням тросом. / [І.В. Бельмас, Д.Л. Колосов, Т.О. Чечель, О.М. Воробйова, О.М. Черниш]/// Збірник наукових праць національного гірничого університету. – 2020. – № 61. – с. 149–155.
3. Belmas I., Kolosov D., Kolosov O., Onvshchenko S. Stress-strain state of a conveyor belt with cables of different rigidity and their breakages (Напружено-деформований стан конвеєрної стрічки з тросами різної жорсткості та з ушкодженнями). Fundamental and applied researches in practice of leading scientific schools. – Vol. 26, №2. – 2018. – p. 231–236.
4. Ропай В.А. Шахтные уравновешивающие канаты: монография / Днепропетровск: Национальный горный университет, 2016. – 263 с.
5. Belmas I., Kolosov D. The stress-strain state of the stepped rubber-rope cable in bobbin of winding. Technical and Geoinformationel Sistems in Mining. Taylor & Francis Group, London, UK 2011. – p. 211–214.

УДК 621.9.048

Степура О.М., ст. викладач

oleksandrstepura@gmail.com

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

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», kondrashev@ukr.net

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ЛАЗЕРНОГО РІЗАННЯ МЕДИЧНОГО ЕНДОПРОТЕЗА

Організм людини з віком стикається з багатьма небезпечними хворобами серед них атеросклероз, захворювання серцево-судинної системи, тромбофлебіт та інших важливих органів та систем життєдіяльності організму. Як свідчать дослідження вчених медичної галузі це викликано негативними наслідками дії холестерину. Саме він утворює в судинах холестеринові бляшки, тобто закупорювання і перешкоджання вільному кровотоку у кровоносній системі. Вирішення цієї проблеми запропонували фахівці сучасної інженерії за допомогою виготовлення медичного ендопротезу (стенту). Важливою характеристикою ендопротезу є його візерунок саме він надає йому комплекс необхідних властивостей серед яких гнучкість, жорсткість, адаптивність та ін. [1].

В даній роботі були застосовані методи математичної статистики. В якості функцій відгуків було обрано ширину різку на поверхні (вхід), ширину різку на внутрішній частині ендопротезу (вихід). Для кожної функції відгуку були побудовані квадратичні моделі процесу з використанням поліному (1) другого порядку [2].

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

де k – кількість технологічних факторів;

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

i, j – індекси.

Після розрахунку коефіцієнтів поліному залежність (1) були отримані математичні моделі функцій відгуків ширини різків на вході та виході візерунків стенту. Графічна інтерпретація математичних моделей функцій відгуків наведена на рис. 1.

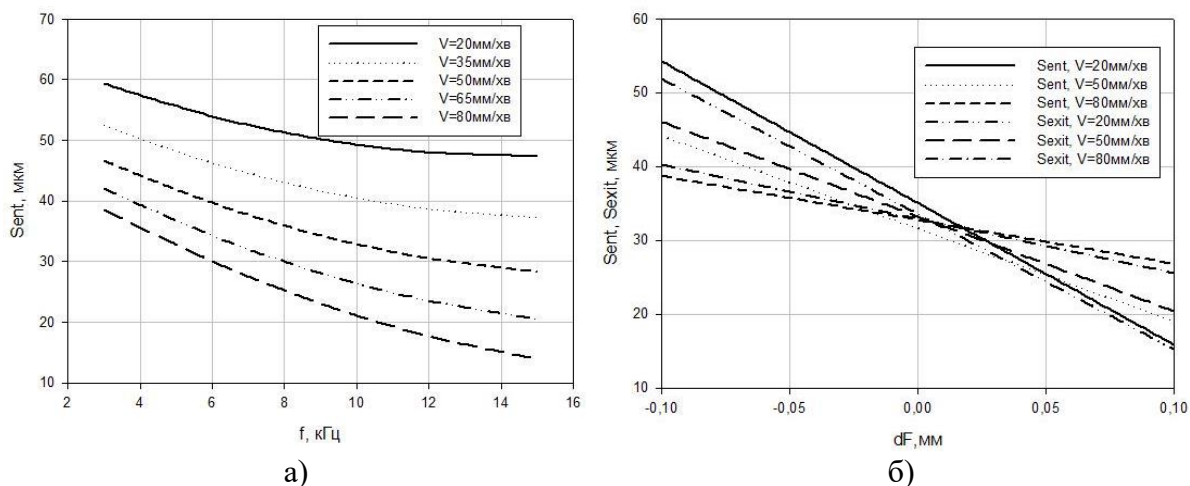


Рис. 1 – Залежності ширини різку на вході S_{ent} від частоти слідування імпульсів f для різної швидкості обробки (а) та ширини різку вході та виході S_{ent}, S_{exit} від величини розфокусування (б): а)-фокусна відстань $F=30$ мм, величина розфокусування $\Delta F=-0,1$ мм, тиск робочого газу $P_I=1,01 \cdot 10^5$ Па; б)-фокусна відстань $F=50$ мм, частота слідування імпульсів f 15 кГц, тиск робочого газу $P_I=3,04 \cdot 10^5$ Па

Аналізуючи графічну залежність (рис. 1, а) слід відзначити що зменшення ширини різь відбувається при збільшенні частоти слідування імпульсів це пояснюється в першу чергу властивостями лазерів на АІГ з модульованою добротністю, це відбувається при зменшенні потужності окремого імпульсу та відповідно збільшенні його тривалості при збільшенні частоти модуляції. В той же час зменшення ширини різь спостерігається також при збільшенні швидкості обробки, внаслідок зменшення енергії сфокусованого лазерного променя. Також було встановлено що змінюючи величину розфокусування оптичної системи можна керувати формою лазерного різь про що свідчить графічна залежність на рис. 1, б.

Також встановлено що при величині розфокусування оптичної системи приблизно 0,02 мм вдається отримати різ з мінімальною неперпендикулярністю стінок візерунка медичного ендопротезу. Також було визначено мінімально можливу ширину різь в досліджуваному факторному просторі яка дорівнює 14 мкм при максимальній швидкості обробки 80 мм/хв, фокусній відстані 30 мм, тиску робочого газу $1,01 \cdot 10^5$ Па. При дослідженні мікрошліфів в усіх точках експерименту зона термічного впливу по границях різь має звичайний вигляд ЗТВ аустенітної сталі після лазерної обробки (рис. 2). Слід відзначити, що зміну розмірів ЗТВ не було встановлено при зміні відстані між осями лазерного різь (змінювалась при проведенні експериментів в діапазоні від 1 до 0,12 мм. Порівнюючи результати лазерної обробки медичних ендопротезів сфокусованим лазерним променем з модульованою добротністю (рис. 2) та стентів лазерів на оптичному волокні [3] слід зазначити що в першому випадку ЗТВ є меншими оскільки при обробці заготовки превалює механізм випаровування матеріалу із зони дії сфокусованого лазерного випромінювання в той час коли використовується для подібної обробки лазер на оптичному волокні діє механізм звичайного газо-лазерного різання (з отриманням рідкої фази та з частковим її випаровуванням і відповідно видуванням рідкої фази за допомогою робочого газу).

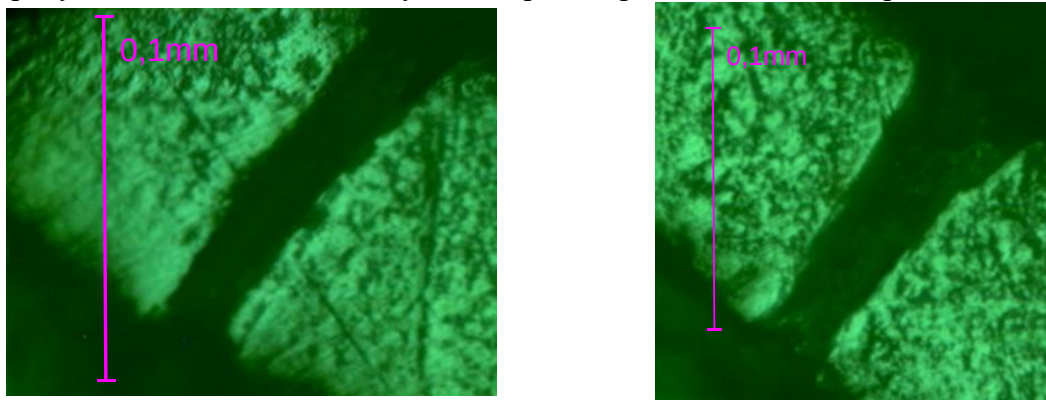


Рис. 2 – Мікроаналіз структури поверхні лазерного різь трубчастої заготовки зі сталі 316L

Список посилань

1. Dohyung L. Suggestion of Potential Stent Design Parameters to Reduce Restenosis Risk driven by Foreshortening or Dogboning due to Non-uniform Balloon-Stent Expansion / Dohyung Lim, Seung-Kwan Cho, Won-Pil Park, A. Kristensson, JAi-Young Ko, S. T. S.Al-Hassani, Han-Sung Kim //Annals of Biomedical Engineering. – 2008. – Vol. 36. – July (No. 7). – p. 1118–1129.
2. Новик Ф.С. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов / Ф.С. Новик, Я.Б. Арсов. – М.: Наука, 1980. – 304 с.
3. Gary K.L. An Investigation into the Role of Melt Ejection in Repeatability of Entrance and Exit Hole Diameters in Laser Percussion Drilling /K.L. Gary Ng and Lin. Li //"Proceedings of International Congress "ICALEO'2001", Oct. 15-18, 2001, Jacksonville, FL, USA. [Електронний ресурс] -2001. LIA.

УДК 623.958 : 62.233.1

Скиба О.В.
Брянкін С.С., докт. філософії,
Заяць М.Й.
Рибачок Д.В.

Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Черкаси, skiborg222@gmail.com

ТЕХНІЧНІ АСПЕКТИ ДЛЯ ВРАХОВУВАННЯ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ТА ВИРОБНИЦТВІ НАВІСНОГО ОБЛАДНАННЯ МАШИН РОЗМІНУВАННЯ

Поширеними варіантами виготовлення навісного обладнання машин розмінування є вал з ланцюгами, до яких під'єднані грузила, та вал з ножами.



а)



б)

Рис. 1 – Вигляд навісного обладнання а) вал з ланцюгами б) вал з ножами

Ефективність валу з ножами залежить від габаритних розмірів ножів. У разі їхнього контакту з вибухонебезпечним пристроєм (ВНП) він з великою долею ймовірності буде здетонований або фізично подрібнений. Проте одним із вагомих недоліків такого типу навісного обладнання є те, що руйнівний вплив вибухової хвилі, що виникає при детонуванні ВНП, впливає не лише на ніж (ножі), а й на весь вал, оскільки ножі до нього кріпляться жорстко. Тому потужний вибух ВНП, а тим більше одночасно декількох ВНП несе загрозу поломки цілого валу, що призведе до простою машини розмінування.

Такого недоліку позбавлений вал з ланцюгами. При контакті грузил з ВНП детонація останнього впливає переважно на грузило та ланцюг, відриваючи їх. Але така втрата не настільки критична – заміна займає від 10 до 15 хвилин.

Ефективність валу з ланцюгами залежить від сили удару грузила (F_m), яка, в свою чергу, залежна від лінійної швидкості та радіуса обертання грузила, його форми та ваги, ваги ланцюга та глибини занурення в ґрунт. Сила удару грузила обчислюється за формулою:

$$F_m = \frac{(m_b + \frac{1}{2}m_l) \cdot (2\pi Rn)^2}{S} \quad (1)$$

де m_b , m_l – маса грузила та маса ланцюга, відповідно, кг;

R – радіус кола, яке описує центр маси грузила, м;

n – швидкість обертання валу, об/с;

S – глибина занурення грузила в ґрунт, м.

Відповідну силу удару повинно забезпечити обладнання, що приводить в дію вал та забезпечує його обертання. При цьому сила удару повинна бути такою, яка відповідає зусиллю, необхідному для спричинення детонації або забезпечення фізичної руйнації ВНП обладнання машин розмінування.

Список посилань

1. Вибухові боеприпаси. Посібник для України. 2-ге видання / Ролі Еванс, Боб Седдон, Йована Чарапіч. — Київ: Вид. дім «Професіонал», 2023. – 224 с.

УДК 621.78

Білоус О.І., канд. техн. наук, професор

Танцура Г.І., канд. техн. наук

Рябенко Є.С., здобувач другого (магістерського) рівня освіти

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське, bilouselena66@gmail.com

**ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОДІЛУ СИЛ ПОМІЖ ОПОРАМИ ПЕЧІ
ВІДПАЛЮВАННЯ РУДИ**

Піч відпалювання залізної руди складається із циліндричного корпусу та трьох пар опорних роликів, тобто становить собою статично невизначувану систему. Дефекти встановлення роликів викривлення осі корпусу печі впливають на розподіл сил поміж роликами. Точність геодезичного визначення вказаних дефектів не забезпечує розподіл навантажень поміж роликами в ладаних межах.

Для якісної оцінки впливу окремо взятих чинників і особливостей об'єкту в цілому сформулюємо спрощену модель. Корпус агрегату змодельуємо нерозрізною балкою. Балку будемо вважати, жорсткою в поперечному перерізі і не навантаженою в осьовому напрямку та такою що має незначні відхилення від прямолінійності. При цьому недеформована вісь балки збігається з викривленою геометричною віссю умовно невагомого корпусу. Податливості опор цієї балки складаються з податливостей в радіальному напрямку бандажів, підбандажних обичайок, податливостей опорних роликів на згин, фундаменти і їх підстав на стискання. В розрахунковій схемі будемо також вважати, що опори розташовані з відхиленнями від місць розташування передбачених проектом.

Корпус сучасної агрегату виготовлено з окремих обичайок. Значні розміри корпусу, його власна маса призводять до того, що контроль осі корпусу, як геометричного об'єкту з достатньою точністю в умовах дії земного тяжіння неможливий. Форма осі корпусу буде визначатися розташуванням опорних роликів на які корпус встановлено.

Разом з цим, залежність деформацій фізичних тіл від сил, що на них діють призводить до того, що тиск корпусу агрегату на опори викликає їх деформування. Деформування опор призводить до зміни форми осі обертання корпусу агрегату.

В процесі обертання змінюються навантаження, що діють на опори, на корпус. Змінюються їх деформації. Просторово змінюється і вісь корпусу, і вісь його обертання. Форми вказаних геометричних об'єктів впливають на напруження, що виникають в деталях агрегату. Знання форми викривлення корпусу агрегату надає можливість усунення цього дефекту під час ремонту. Тому встановлення реальної форми осі корпусу агрегату, характеру розташування опор з урахуванням сумісності їх дії та впливу земного тяжіння актуальна науково-технічна задача.

Реакції проміжних опор в проекціях на вертикальну (в) і горизонтальну (г) площини:

$$\begin{aligned} P_j^e &= p_j^e + (\delta_{ij})^{-1} [\Delta_{oi}^e + \Delta_{ki}^e \cos(T + \beta_i)], \\ P_j^z &= p_j^z + (\delta_{ij})^{-1} [\Delta_{oi}^z + \Delta_{ki}^z \sin(T + \beta_i)], \end{aligned} \quad (1)$$

де p_j^e , p_j^z – вектори реакцій опор при прямолінійному їх розташуванні та прямолінійному корпусі;

δ_{ij} – матриця одиничних переміщень;

Δ_{oj}^e , Δ_{oj}^z , Δ_{kj}^e , Δ_{kj}^z – вектори зміщень опор та відхилень геометричної осі корпусу

агрегату від прямої лінії;

T – поточний кут повороту корпусу;

β_i – кут нахилу площини викривлення корпусу на i -тій опорі.

Матриця одиничних переміщень:

$$\delta_{ij} = \Delta_{ij} + f_{ij} + \varepsilon_{ij}, \quad (2)$$

де Δ_{ij} – матриця одиничних переміщень корпусу, що спирається на крайні недеформовані опори та не враховує його поперечних деформацій;

f_{ij} – матриця впливу деформацій крайніх опор під дією одиничних сил;

ε_{ij} – діагональна матриця одиничних деформацій проміжних опор.

Останні дві матриці включають і поперечні деформації корпусу в районі опор, і деформації опорних роликів. Застосування гумованих роликів збільшує їх деформації. Відповідно зростають значення самої матриці. Входження цієї матриці у вираз визначення зусиль (1) з від'ємним знаком у степені вказує на те, що зростання пружних деформацій опор веде до зменшення відхилень навантажень від проектних. При цьому таке зменшення відбувається як при застосування пружних крайніх та і середньої опор.

Визначення дефектів спирання запропоновано здійснювати як під час зупинки так і під час роботи агрегату за значеннями опорних реакцій. Водночас, різні значення кутів нахилу площин розташування максимальних відхилень осі агрегату вказують на можливе просторове викривлення корпусу агрегату. З урахуванням відсутності інформації про значення цих кутів, в роботі запропоновано визначати викривлення осі обертання агрегату шляхом визначення середніх навантажень на опори агрегату при положеннях корпусу (через 180° його повороту).

Для балки на дискретних пружних опорах матриця одиничних переміщень опор:

$$\delta_{ij} = k_{ij} + f_{ij} + e_{ij} \quad (3)$$

де k_{ij} – матриця одиничних переміщень корпусу, без урахування його поперечних деформацій в районі опор та за умови, що крайні опори абсолютно жорсткі;

f_{ij} – матриця впливу деформацій крайніх опор;

e_{ij} – діагональна матриця пружних деформацій проміжних опор.

Матриця одиничних переміщень корпусу як оболонки постійного поперечного перерізу за умови відсутності викривлення плоских поперечних перерізів над опорами

$$k_{ij} = \frac{L - y_i}{\pi E h L} \left\{ \left[2[1 + \mu] \frac{y_j}{R} + \frac{1}{3} \left(\frac{y_j}{R} \right)^3 \right] \frac{L - y_j}{L} - \left[2[1 + \mu] \frac{L - y_j}{R} + \frac{1}{3} \left(\frac{L - y_j}{R} \right)^3 \right] \frac{y_j}{L} \right\} +$$

$$+ \frac{y_j}{\pi E h L} \left[2[1 + \mu] \frac{L - y_i}{R} - \frac{1}{3} \left(\frac{L - y_i}{R} \right)^3 \right] -$$

$$- \frac{L - y_j}{\pi E h L} \left[2[1 + \mu] \frac{y_j - y_i}{R} - \frac{1}{3} \left(\frac{y_j - y_i}{R} \right)^3 \right] - \frac{(L - y_i) y_j}{\pi E h L R} \left(\frac{y_j - y_i}{R} \right)^2$$

де L – відстань поміж крайніми опорами;

y_j, y_i – відстань поміж нульовою та відповідно i -тою та j -тою опорами;

E, μ – модуль пружності та коефіцієнт Пуансона матеріалу корпусу агрегату;

R, h – радіус та товщина оболонки корпусу агрегату.

Наведені залежності показують зв'язок поміж навантаженнями на опори, відхиленнями осі корпусу печі від прямої лінії та похибок встановлення роликів опор. Таким чином контроль навантажень дозволяє з більшою точністю визначати дефекти спирання багато опорної печі.

УДК 519.878.5

Коломієць Л.В., докт. техн. наук, професор
Державний університет інтелектуальних технологій і зв'язку, м. Одеса,
leonkolom61@gmail.com

Лимаренко О.М., канд. техн. наук, доцент
Національний університет «Одеська політехніка», a.m.limarenko@op.edu.ua

ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТЕЛЕСКОПІЧНОЇ СТІЛИ АВТОМОБІЛЬНОГО КРАНУ

Процес проектування конструкцій підйомно-транспортних машин характеризується значною трудо- і науко- місткістю і неможливий без широкого використання САПР, заснованих на застосуванні комп'ютерів та програм призначених для створення, переробки і використання усієї необхідної інформації про властивості виробів та процесів супроводження.

Одним з найбільш важливих етапів проектування машин є етап побудови математичних моделей. Значущість його не лише в тому, що на цьому етапі формується концептуальний вигляд майбутнього виробу, але і в тому, що саме на етапі конструювання створюються математично точні геометричні моделі як окремих деталей, так і всієї конструкції.

Метою математичного моделювання є розрахунок металоконструкції крана при підвищеній вантажопідйомності та оцінка загальної міцності й прогинів. В якості прототипу крану вибрано автомобільний кран марки КС-557 КР на шасі КРАЗ - 65101, у якого виліт стріли та максимальна вантажопідйомність вищі, ніж у відомих моделей (рис. 1). Крім того, шасі КРАЗ - 65101 має високу прохідність, що дозволяє експлуатувати цей автокран по усіх видах доріг і місцевості.



Рис. 1 – Загальний вигляд автомобільного крану КС-557 КР

Аналітичні дослідження напруженого стану стріли і інших елементів металоконструкції крану, потребують постійного підтвердження натурними випробуваннями або чисельними експериментами, що дозволяє проводити їх подальше вдосконалення аж до завдань оптимізації.

Розрахунок телескопічної стріли та окремих її елементів виконується по величинам максимальних навантажень, що виникають при різних випадках навантаження і різних положеннях висувних секцій. На стрілу крана діє вага вантажу, власна вага стріли, зусилля у вантажному канаті, зусилля в гідроциліндрах підйому стріли та висунення стріли.

Скінчено-елементна модель стрілоподібної системи при куті нахилу до горизонту 22° (стріла складена) та результати дослідження напружено - деформованого стану системи наведені на рис. 2 - 4.

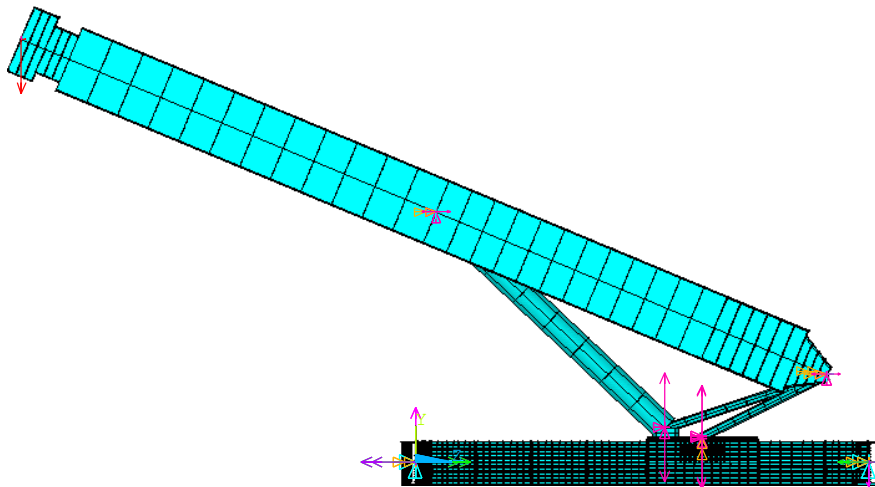


Рис. 2 – Скінчено-елементна модель стрілоподібної системи

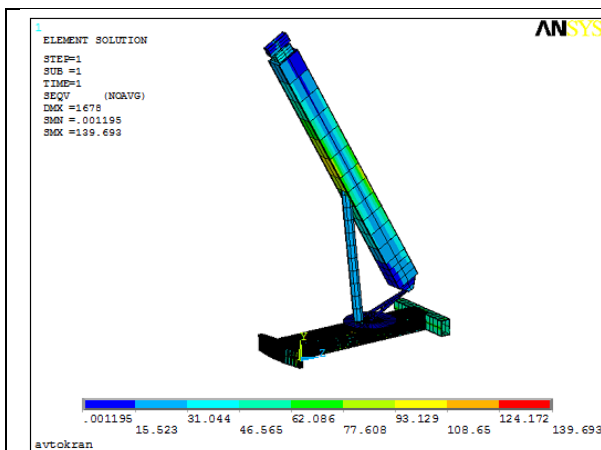


Рис. 3 – Еквівалентні напруження за гіпотезою Губера-Мізеса

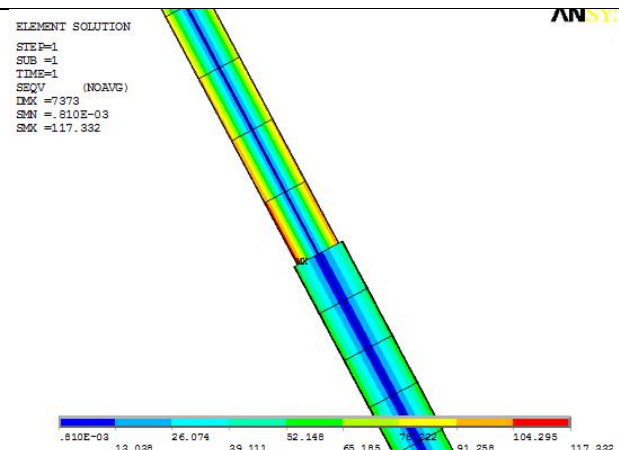


Рис. 4 – Поля напружень в стрілі

Результати статичного розрахунку системи наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати статичного розрахунку стрілоподібної системи

Вантаж, тон	Кут нахилу стріли до горизонту, $^\circ$	Довжина стріли, м	Еквівалентні напруження, МПа	Коефіцієнт запасу	Еквівалентні переміщення, мм	Коефіцієнт запасу
30	62	9,7	139,7	1,68	62,8	3,2
11,3	62	25	117,3	2	288,84	1,73
17,9	50	9,7	123,4	1,9	94,1	2,1
5,4	50	25	111,6	2,1	187,4	2,7
10,0	22	9,7	94,1	2,5	128,66	1,55
2,3	22	25	82,5	2,85	239,7	2,1

На основі створеної моделі та проведених розрахунків із використанням методу скінченних елементів, який реалізовано в програмному комплексі ANSYS, виконано оптимізацію параметрів металоконструкції телескопічної стріли автомобільного крану моделі КС-557 КР. В розрахунковій схемі враховані різні умови закріплення та навантаження, які характерні для підйомно-транспортних машин. Розрахунки міцності та

жорсткості елементів металоконструкції телескопічної стріли показали, що напруження і деформації в шести розрахункових випадках не перевищують допустимих значень.

УДК 621.91

Тулупов В.І., канд. техн. наук, доцент
Онищук С.Г., канд. техн. наук, доцент
Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ,
wladimir.tulupov@gmail.com

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ВИРОБІВ МАШИНОБУДУВАННЯ КОМБІНОВАНИМИ СПОСОБАМИ ОБРОБКИ

Одним з головних завдань машинобудівної галузі є забезпечення випуску продукції відповідної якості в задані терміни. Вирішення цього завдання дозволить забезпечити використання виробів протягом їх життєвого циклу. Одним з визначальних чинників є етап виробництва, на якому формуються показники якості виробу.

Використання комбінованих способів обробки дозволяє отримати на поверхні деталі зміцнений шар, що суттєво покращує експлуатаційні властивості та збільшує життєвий цикл [1, 2].

Одним з перспективних методів комбінованої обробки поверхонь деталей машин є нанесення покриття оксиду алюмінію Al_2O_3 . Особливістю цього методу є окислення оксиду хрому для синтезу оксиду алюмінію за реакцією $Cr_2O_3 + 2Al = 2Cr + Al_2O_3$.

Головною умовою початку алюмотермічного відновлення Cr_2O_3 є температура понад 1400 °С [3]. Найменші витрати енергії (питомі витрати енергії) спостерігаються при використанні електричних джерел тепла (менше 1 Дж/см³), а найбільші – при використанні плазово-механічних (4,5 Дж/см³) та лазерно-механічних джерел тепла (більше 6,5 Дж/см³). Як джерело живлення використовується імпульсний електричний струм.

Для визначення необхідної сили імпульсного струму, необхідної для початку алюмотермічного відновлення, було використано програмний комплекс ANSYS модуль Workbench. Результати моделювання свідчать, що для забезпечення процесу алюмотермії сила електричного струму $I = 128$ А.

Авторами проведені експериментальні дослідження зносостійкості деталей зі сталі 40ХН після алюмотермії з використанням методу «штучних баз», що дозволяє визначити лінійне зношення поверхні деталей. Випробування на устаткуванні за методикою випробувань на машині тертя виконувалось за схемою «диск-колодка». Результати досліджень свідчать про те, що зносостійкість збільшується в 2. Інтенсивність зношення поверхні зменшується – в 1,8 рази.

Використання алюмотермічного зміцнення в технологічному процесі дозволяє виключити термічну та круглошліфувальну операції, що зменшує трудомісткість та собівартість виготовлення виробів з забезпеченням їх життєвого циклу на етапі виробництва.

Список посилань

1. Тулупов В.І., Онищук С.Г. Забезпечення життєвого циклу виробів машинобудування комбінованими технологічними методами // Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. Матеріали ХХІ міжнародної науково-технічної конференції, 20-22 червня 2023 р. / за заг.ред. Ковальова В.Д. – Краматорськ, Тернопіль, 2023. – С. 118-119.
2. Фесенко А.Г., Бечке К.В., Манжаліївський С.В. Методи поверхневого зміцнення у процесі виготовлення деталей машин : навч. посібник. Дніпро: РВВ ДНУ, 2015. 104 с.
3. Сівак О.А. Особливості утворення тугоплавких фаз в системі $Al-Cr_2O_3-B_2O_3$ / О.А. Сівак, М.І. Чередник, І.М. Тоцький, О.Ю. Попов, В.А. Макара // Фізика і хімія твердого тіла. – Т. 15. – №4. – 2014. – С. 780-783.

УДК 621.891

Циганов В.В., докт. техн. наук, доцент
Сахнюк Н.В., канд. техн. наук, доцент
Кривих Ю. І., старший викладач
Лазарєва О. О., старший викладач

Національний університет «Запорізька політехніка», juliya.krivikh@gmail.com

МОДЕЛЮВАННЯ ФІЗИЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЗНОШУВАННЯ БАНДАЖНИХ ПОЛИЦЬ РОБОЧИХ ЛОПАТОК ГТД

Розвиток газотурбінних двигунів, як теплових машин, йде шляхом підвищення температури та тиску газу перед турбіною. Основною перешкодою підвищення цих параметрів є недостатня міцність робочих лопаток турбін, зокрема знос їх контактних поверхонь, за умов високотемпературних навантажень [1].

При цьому виникає комбінований вплив високих температур, властивостей газового середовища та взаємного переміщення деталей з наявністю вібрацій, у тому числі ударного навантаження. Без урахування всього комплексу факторів навантаження спотворюються результати досліджень та картина процесу зношування.

Відповідно [2, 3], при роботі двигуна відбувається істотне розсіювання по колу ротора умов навантаження будь-якої пари полиць по тиску в зоні контакту, амплітуді прослизання, частоті коливань. Тому в одному робочому колесі через неконтрольовані умови навантаження виникають непередбачувані зони підвищеного та зниженого зносу.

Відомо, що зношування жароміцних сплавів [4-5] так м'яких сталей може відбуватися за декількома різними механізмами. Зміна того чи іншого фактора навантаження та поява нового призводить до зміни механізму зношування та його фізичної картини.

Додаткове ударне навантаження може призвести до власних контактних коливань. Це, у свою чергу, може призвести до зниження сили тертя [6].

Окремі автори [6, 7] проводили дослідження при поєднанні деяких факторів навантаження та дійшли висновків про неможливість охопити закономірності тертя в умовах складного навантаження в рамках єдиної теорії.

Тому були розроблені методики та установки для проведення прискорених досліджень матеріалів на зносостійкість за різних умов навантаження [8]. Сутність методики досліджень полягає у визначенні закономірностей зношування трибологічних пар, як в умовах близьких до експлуатаційних, так і при роздільному впливі кожного з параметрів навантаженості, що дає можливість виявити вплив кожного з них.

Вибір матеріалів для досліджень обумовлений, перш за все, частотою застосування їх у трибосполученнях гарячої частини газотурбінних енергетичних установок і авіаційних двигунів. Як правило, для таких сполучень широко застосовуються жароміцні сплави типу ХН77ТЮР, а також зносостійкі композиційні сплави на кобальтовій основі типу ХТН-61.

Дослідження щодо визначення ступеня впливу умов динамічного навантаження на інтенсивність зношування досліджуваних сплавів проводились при однокомпонентному навантаженні, двокомпонентному і трикомпонентному. Випробування, проведені в умовах двокомпонентного та трикомпонентного навантаження, відбувалися з розривом контакту, а, отже, контактна взаємодія зразків мала ударний характер. У разі змінного нормального навантаження розрив контакту веде до зміни його значення від нуля за відсутності контактування до дуже великих значень на момент зіткнення.

Як впливає з отриманих результатів, представлених на рис. 1, збільшення багатокомпонентності динамічного навантаження в контакті трибоспряження призводить до збільшення інтенсивності зношування металів, що визначається відношенням обсягу зношеного металу до шляху тертя. У випадку двокомпонентного навантаження в умовах тертя ковзання, інтенсивність зношування зразків зі сплавом ХН77ТЮР збільшується в 1,2

рази. У випадку трикомпонентного навантаження, інтенсивність зношування збільшується ще більше – для сплаву ХН77ТЮР в 1,4 рази, для сплаву ХТН-61 в 2,5.

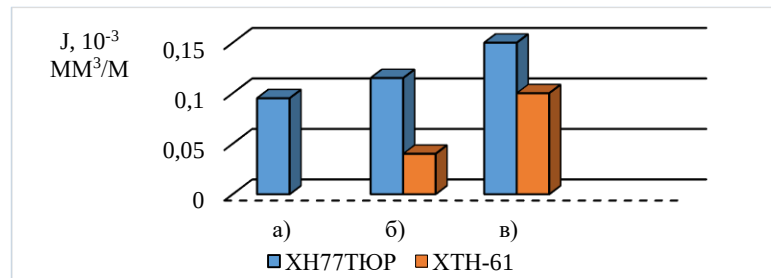


Рис 1 – діаграма зміни інтенсивності зношування жароміцних сплавів при:
а) однокомпонентному, б) двокомпонентному, в) трикомпонентному навантаженні

Враховуючи отримані перспективні показники зносостійкості сплаву ХТН-61, при складному навантаженні дозволяють ефективно використовувати його для напайок на бандажні полиці лопаток ГТД. Складний хімічний склад сплаву ХТН-61 передбачає всебічне вивчення його зносостійкості за умов найбільш наближених до експлуатаційних.

Складна взаємодія деталей трибосполучень у зоні контакту має враховуватися при побудові моделей контактування та прогнозуванні поверхневої міцності матеріалів при динамічних навантаженнях, а умови проведення випробувань повинні бути якомога ближчими до реальних умов експлуатації. Визначення закономірностей та розробка умов формування зносостійкого поверхневого шару деталей трибосполучень можливе на основі аналізу величини зносу та стану поверхні з урахуванням реального виду навантаження. Це дасть можливість розробити рекомендації щодо забезпечення зносостійкого поверхневого шару контактуючих деталей.

Крім того, проведення прискорених випробувань, що програмуються, дозволить вивчити стан зразків у процесі циклу навантаження, наближеного до циклу роботи двигуна в льотному режимі. Фізичне моделювання процесу та аналіз результатів експериментів дозволить дати технологічні рекомендації щодо рівномірного розподілу зносу бандажних полиць робочих лопаток, що згодом стане підставою більш точного прогнозування роботи лопаток у реальних умовах.

Список посилань

1. Меркулов В.М. О выборе способа бандажирования рабочих лопаток турбин ГТД / В.М. Меркулов, Ф.Д. Ильюшенко // Вестник двигателестроения. – 2005. – №2. – С. 114-117.
2. Муравченко Ф.М. Актуальные проблемы динамики, прочности и надежности авиадвигателей / Ф.М. Муравченко // Проблемы прочности. – 2008. – №5. – С. 7-14.
3. Колебания бандажированного рабочего колеса ГТД / Ю.С. Воробьев, К.Ю. Дьяконенко, В.Н. Романенко и др. // Авиационно-космическая техника и технология. – 2006. – №9. – С. 87-90.
4. Wang, Dao-Juan. Effect of microstructure and properties on the high temperature wear characteristics of 3Cr2W8V (H21) steel / Dao-Juan Wang, De-Lin Sku, Xin-Cheng Gua. – Wear. – 1987. – P. 101-117.
5. Yurov V.M. The impact of the environment on the contact potential difference of metal machine parts / Yurov V.M., Oleshko V.S. // Eurasian Physical Technical Journal. – 2019. – Vol. 16, No.1 (31). – P. 99 – 108.
6. Eremin E.N. Wear resistance and tribological properties of high entropy coatings CrNiTiZrCu / Eremin E.N., Yurov V.M., Guchenko S.A // Eurasian Physical Technical Journal. – 2020. – No.1. – P. 13 – 18.
7. Рыжов, Э.В. Контактное взаимодействие твердых тел при статических и динамических нагрузках / Э.В.Рыжов.- М.: Машиностроение, 1988.- 250 с.
8. Tsyganov V.V., Sheyko S. Features of engineering the wear-resistant surface of parts with the multicomponent dynamic load / Tsyganov V.V., Sheyko S. // Wear. – 2022. – P. 494-495, 204255.

УДК 621.868.232(02.064)

Яблонський П.М., канд. техн. наук, доцент

Вірченко Г.А., докт. техн. наук, професор

Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського»

Роговський І.Л., докт. техн. наук, професор

Національний університет біоресурсів і природокористування України

irogovskii@gmail.com

Волоха М.П., докт. техн. наук, професор

Воробйов О.М., старший викладач

Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського», volmp@i.ua

ВАРІАНТНІ КОМП'ЮТЕРНІ ГЕОМЕТРИЧНІ МОДЕЛІ ВІДВАЛІВ ПОЛИЦЕВОГО ПЛУГА

Основою сучасного комп'ютерного геометричного моделювання, застосовуваного в нинішніх системах автоматизованого проєктування, є математичний апарат NURBS (Non-uniform rational B-splines) [1–6]. Зазначені засоби характеризуються достатньою гнучкістю, передбачуваністю та керованістю формоутворення. Про їхню популярність свідчить широке використання в багатьох галузях промисловості, зокрема автомобільній, суднобудівній, загального машинобудування та інших.

Стосовно ґрунтообробних знарядь літературні джерела [7–11] засвідчують особливу важливість геометрії робочих органів для досягнення належної якості обробітки різних за станом, структурою та фізико-механічними властивостями ґрунтів. При цьому питання адаптування комп'ютерних геометричних моделей до багатоманітних вимог таких суміжних дисциплін, як міцність, технологія виготовлення, експлуатація тощо розглядаються недостатньо.

Для продуктивного та прогнозованого автоматизованого варіантного формоутворення авторами запропонована методика, що полягає у створенні універсальних комп'ютерних гнучких геометричних моделей відвалів плугів з циліндроїдальними та іншими полицевими робочими поверхнями.

Приклади відповідних поверхонь показано на рис. 1. Наведені зразки побудовані застосуванням однієї базової моделі шляхом варіювання належних геометричних параметрів керування.

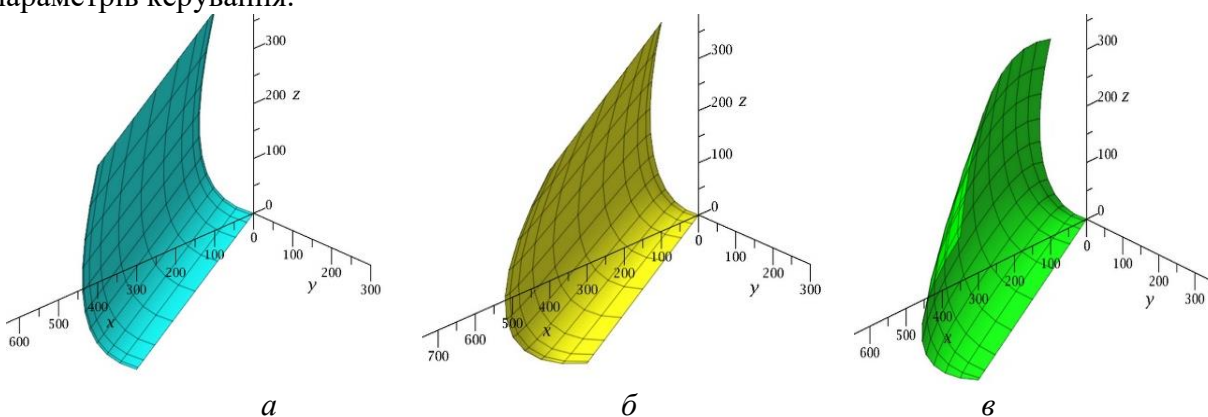


Рис. 1 – Варіанти опрацьовуваних поверхонь:

а – циліндрична; б – циліндроїдальна; в – більш складної форми

Подальшим етапом автоматизованого проєктування, що розглядається, є створення необхідних комп'ютерних твердотільних моделей. Деякі отримані при цьому різновиди проілюстровано на рис. 2. На даній стадії створення ґрунтообробних знарядь досліджуються різноманітні питання, пов'язані з конструкційними, виробничими,

експлуатаційними та іншими властивостями плугів. Зокрема, це стосується виконання розрахунків на міцність методом скінченних елементів, дефініції технологічних напружень при виготовленні відвалів тиском, визначення діючих на них зусиль під час експлуатації і т. д. В означений спосіб варіюванням належних параметрів форми та розмірів, конструкційних матеріалів тощо здійснюється комплексна оптимізація проєктованих ґрунтообробних знарядь.

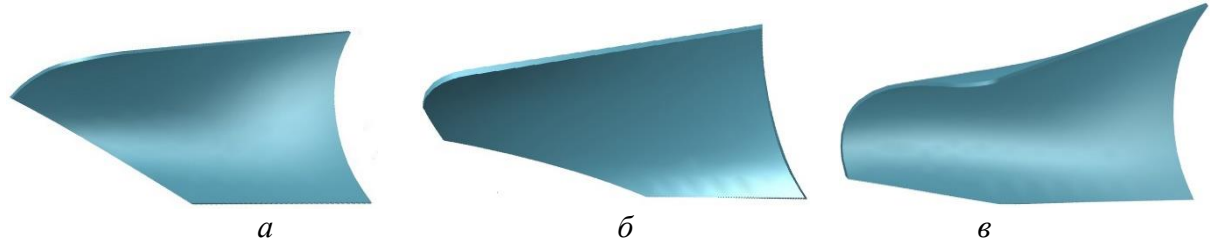


Рис. 2 – Різновиди відвалів плуга на основі поверхні:
а – циліндричної; б – циліндроїдальної; в – більш складної форми

Напрацьована та перевірена на конкретних тестових прикладах методика створення універсальних комп'ютерних варіантних геометричних моделей відвалів плугів з циліндроїдальними та іншими полицевими робочими поверхнями згодом буде повністю опублікована.

Список посилань

1. Videla, J., Shaaban, A. M., Atroshchenko, E. (2024). Adaptive shape optimization with NURBS designs and PHT-splines for solution approximation in time-harmonic acoustics. *Computers & Structures*, Volume 290, 107192, <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2023.107192>
2. Kazemzadeh-Parsi, M., Pasquale, A., Lorenzo, D., Champaney, V., Ammar, A., Chinesta, F. (2023). NURBS-based shape parametrization enabling PGD-based space separability: Methodology and application. *Finite Elements in Analysis & Design*, Volume 227, 104122, <https://doi.org/10.1016/j.finel.2023.104022>
3. Xuchu, W., Qingshun, B., Siyu, G., Liang, Z., Kai, C. (2023). A tool path planning method for optical freeform surface ultra-precision turning based on NURBS Surface Curvature. *Machines*, Volume 11, Issue 11, 1017, <https://doi.org/10.3390/machines1111017>
4. Zhou, H., Feng, B., Liu, Z., Chang, H., Cheng, X. (2022). NURBS-based parametric design for ship hull form. *Journal of Marine Science and Engineering*, Volume 10, Issue 5, 686, <https://doi.org/10.3390/jmse10050686>
5. Villa, D., Furas, F., Pralits, J. O., Vernengo, G., Gaggero, S. (2021). An effective mesh deformation approach for hull shape design by optimization. *Journal of Marine Science and Engineering*, Volume 9, Issue 10, 1107, <https://doi.org/10.3390/jmse9101107>
6. Tuluchenko, G., Virchenko, G., Getun, G., Martynov, V., Tymofieiev, M. (2018). Generalization of one algorithm for constructing recurrent splines. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Volume 2, Issue 4, pp. 53-62, <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.128312>
7. Alwan, A. A. (2019). A field study of soil pulverization energy by using different moldboards types under various operating condition. *Basrah Journal of Agricultural Sciences*, Volume 32, Issue 2, pp. 373-388, <https://doi.org/10.37077/25200860.2019.284>
8. Juraev, T. (2020). Computer modeling the moldboard's surface in autocad system. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Issue 883, 012156, <https://doi.org/10.1088/1757-899X/883/1/012156>
9. Tokhtakoziyev, A., Khudoyarov, A., Nazirjanov, I., Yuldasheva, M. (2023). Study on the selection of the type and parameters of moldboard plow for combined tillage system. *3rd International Conference on Energetics, Civil and Agricultural Engineering. E3S Web of Conferences*, Volume 377, 03002, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186804004>
10. Gheorghe, G., Lates, D., Oprea, C., Baltatu, C. (2023). Structural and modal analysis in Solidworks of agricultural plow to choose vibration system at moldboard. *Engineering for Rural Development*, Volume 22, pp. 872-878, <https://doi.org/10.22616/ERDev.2023.22.TF168>

11. Hamid, A. A., Alsabbagh, A. R. (2023). Effect of moldboard types, two depths of tillage and two speeds of tractor in some physical properties and pulverization of soil. Kufa Journal For Agricultural Sciences, Volume 15, Issue 1, pp. 105-116, <https://doi.org/10.36077/kjas/2023/v15i1.10334>

УДК 621.941+762.1

Ігнатенко П.Л., канд. техн. наук, доцент,
Ігнатенко О.А., ст. викладач,

Національний університет «Чернігівська політехніка», ignatenkop11@i.ua

ВПЛИВ ТОКАРНОЇ ОБРОБКИ НА ОКРУГЛІСТЬ ДЕТАЛЕЙ З ПОРОШКОВИХ СПЕЧЕНИХ МАТЕРІАЛІВ

В якості механізмів вузлів тертя в сучасному машинобудуванні знайшли широке застосування металокерамічні спечені сплави. Ці матеріали отримуються методами порошкової металургії та мають особливі хімічні та фізичні властивості, в тому числі підвищеною антифрикційністю та зносостійкістю. Головною особливістю спечених порошкових матеріалів являється наявність порошкової структури. Це забезпечує реалізацію ефекту самозмащування при роботі вузлів тертя.

Тому в сучасному виробництві важливою проблемою в області обробки металопорошкових спечених сплавів є забезпечення геометричних параметрів якості поверхневого шару деталей на операції токарної обробки [1]. Це обумовлено тим, що виготовлені деталі з металопорошкових спечених сплавів мають відхилення від форми близьке до допустимого. Але в процесі експлуатації відбувається зміна форми в сторону збільшення відхилення.

Відомі дослідження в основному присвячені підвищенню якості поверхневого шару (шорсткості та пористості) обробленої поверхні деталей виготовлених методами порошкової металургії. Однак в даних дослідження запропоновані режими для обробки спечених порошкових матеріалів, математичні моделі для визначення їх величини та верстатах з числовим програмним керуванням та способи підвищення точності форми. Одними з таких способів є використання випереджаючого пластичного деформування та змінних мінералокерамічних пластин, що мають різне значення питомого опору.

На основі проведених досліджень літератури був проведений експеримент в процесі якого були виміряні величини радіальної складової сили різання та округлості деталі після обробки. На основі експериментальних результатів та матеріалів досліджень була уточнена математична модель для визначення круглості деталі при розточуванні [2]. Так величина округлості залежить від двох складових повного відхилення круглості: статичної ΔR_C та динамічної ΔR_D :

$$\Delta R = \Delta R_C + \Delta R_D$$
$$\Delta R_D = 2A$$

де A – амплітуда коливань

$$\Delta R_C = 0,5\sqrt{P_e^2 + P_o^2 + P_k^2}$$

де P_o – діаметральна похибка форми обробленого отвору, викликана зміщенням осі отвору в заготовці відносно осі шпинделя:

$$P_e = KP_y \left(((t + e_2) + (t - e_2)) - ((t + e_1) + (t - e_1)) \right)$$

де t – глибина різання, мм;

e – ексцентриситет, мм;

K – радіальна піддатливість системи, мкм/Н, що визначається за формулою представленою в статті [3, 4]:

$$K = \frac{l^3}{3EI} * (\frac{S^3}{j} + QS^2 + \alpha(1 + 2\xi + 2\xi^2))$$

де l – відстань між опорами шпинделя, мм;

E – модуль Юнга, Па;

$$I = \frac{\pi d^4}{64}, \xi = \frac{li}{l}, j = \frac{\pi d^4}{64I}, \alpha = \frac{3EI}{l^3 C_p}, \beta = \frac{3EI}{l^3 C_n}, Q = \frac{(4\beta + 3)\beta}{4(\beta + 1)^2 - 1}$$

де C_p – радіальна жорсткість опори;

C_n – її поворотна жорсткість,

l_i – величина вильоту оснащення, мм.

В даному випадку величина радіальної піддатливості коливається в межах від 0,02 мкм/Н до 0,05 мкм/Н.

Π_0 – діаметральна похибка форми обробленого отвору, викликана овальністю отвору в заготовці:

$$\Pi_0 = 2K(P_y(t) - P_y(t - H_0))$$

де H_0 – найбільша різниця радіусів отвору в заготовці (овальність).

Діаметральна похибка форми обробленого отвору Π_k , викликана нерівномірністю радіальної податливості у різця по куту повороту шпинделя:

$$\Pi_k = 2(K_{max} * P_y - K_{min} * P_y)$$

де, K_{max} та K_{min} – відповідно максимальна та мінімальна радіальна піддатливість системи, мкм/ Н.

Отримані значення сили різання добре описується математичною моделлю вказаною в джерелі [4]:

$$P_y = \frac{0.4(a^{0.125} * b^{0.7} * c * \rho * \theta * \rho_1^{0.1} * a^{0.43} (2.85 * (\sin(\alpha))^{0.115} * V^{0.57} * a^{0.345} * \lambda * b^{0.3} + 0.6625 * \lambda_u * \beta * \varepsilon * a^{0.57} * \rho^{0.075}))}{V * \lambda * (\sin(\alpha))^{0.165}}$$

де a – температуропровідність оброблюваного матеріалу, м²/с ($a=5,1*10^{-7}$ м²/с);

b – сумарна довжина робочої частини ріжучої кромки, мм;

c – теплоємність оброблюваного матеріалу, Дж/(кг*°C) ($c=5*10^5$ Дж/(кг*°C));

ρ – густина оброблюваного матеріалу, кг/м³ ($\rho=6400$ кг/м³);

θ – оптимальна температура в зоні різання, °C;

ρ_1 – радіус при вершині, мм;

α – задній кут, град;

V – швидкість різання, м/с;

λ – теплопровідність матеріалу ріжучого інструменту, Вт/(м*°C) ($\lambda=12,6$ Вт/(м*°C));

λ_u – теплопровідність оброблюваного матеріалу, Вт/(м*°C) ($\lambda=1,65$ Вт/(м*°C));

β – кут загострення, рад;

ε – кут при вершині в плані, рад.

Список посилань

1. Ігнатенко П.Л. Забезпечення точності форми маложорстких деталей складної геометричної форми при механічній обробці / П.Л. Ігнатенко, М.О. Грищенко. // Вісник Інженерної академії України. – 2017. - № 3. – С.138 – 141.

2. Ігнатенко П.Л. Приладова система вимірювання округлості маложорстких кільцевих деталей складної геометричної форми / П.Л. Ігнатенко, М.О. Грищенко. // Вісник Інженерної академії України. – 2017. – № 3. – с.188 – 193.

3. Оргиян А.А. Расчеты погрешности тонкого растачивания гладких и ступенчатых отверстий / А.А. Оргиян, А.В. Баланюк, Албакуш Аимен // Сучасні технології в машинобудуванні. – 2015. – № 10. – с. 235-248 .

4. Оргиян А.А. Особенности колебания консольных борштанг для тонкого растачивания / А.А. Оргиян, А.В. Баланюк // Сучасні технології в машинобудуванні, 2014. – № 9. – с. 111 - 123.

УДК 621.914.1

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

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

ВПЛИВ ЗУБЦЕВОЇ ЧАСТОТИ НА СТІЙКІСТЬ КІНЦЕВОГО ФРЕЗЕРУВАННЯ

Швидкість різання, з одного боку, є джерелом утворення тепла при зрізанні стружки, з іншого боку, від неї залежить шорсткість обробленої поверхні. Це протиріччя узгоджується при високошвидкісному кінцевому фрезеруванні, концепцію якого започаткував Саломон [1]. Під час проведення експериментів ним було визначено, що температура різання підвищується зі швидкістю різання до певного піку, після якого подальше збільшення швидкості знижує температуру різання та силу різання. Ці позитивні явища швидкості різання слід розглядати у комплексі з зубцевою частотою обертання шпинделя, бо саме вона визначає частоту, з якою діє змушуюча сила. Співвідношення між частотою вільних коливань деталі (або інструменту) f_b та зубцевою частотою f_z , що описується формулою (1), дозволяє робити оцінку стійкості кінцевого фрезеруванні [2].

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

де n – частота обертання шпинделя, об/хв;

z – число зубів фрези.

При високошвидкісному фрезеруванні $k < 0,5$ [2]. За цих умов діють тільки вимушені коливання з частотою, що перекидає можливість дії вільних коливань і порушення стабільності. Але цей перспективний метод кінцевого фрезерування на сьогоднішній день має обмеження через можливості верстатів та інструментів. Забезпечення стабільності при звичайному фрезеруванні досягається за рахунок визначення швидкісної зони коливань [3], в якій буде виконуватись обробка, та видів коливань, що діють при цьому. Дослідженнями встановлено, що при великому часі різання виникають вимушені коливання, на які накладаються загасаючі супроводжуючі вільні коливання (СВК) і сталі автоколивання [4]. Але при кінцевому фрезеруванні через переривчастість різання та його короткочасність діють вимушені коливання та СВК [5]. При фрезеруванні з невеликими швидкостями різання у першій та другій швидкісних зонах коливань процес різання завжди стійкий. Для забезпечення стійкості в четвертій та п'ятій швидкісних зонах коливань, де діють тільки вимушені коливання, зубцеву частоту підбирають таким чином, щоб при розрахунках за формулою (1) не було цілих кратних значень. Найбільш несприятливою для різання є третя швидкісна зона коливань. Для забезпечення сталості фрезерування в ній призначають такі початкові умови різання, за яких амплітуда СВК не буде перевищувати допустиме значення.

Список посилань

1. Schulz H. High-Speed Machining. In: Dashchenko AI, editor. Manuf. Technol. Mach. Futur. 21st Century Technol., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2003, pp. 197–214.
2. Munoa J., Beudaert X., Dombvari Z., Altintas Y., Budak E., Brecher C., Stepan G. Chatter suppression techniques in metal cutting // CIRP Annals – Manufacturing Technology. 2016. Vol. 65. pp. 785–808.
3. Внуков Ю.М. Автоколебания при фрезеровании тонкостенных элементов деталей / Ю. Н. Внуков, С. И. Дядя, Е. Б. Козлова и др. – Запорожье: ЗНТУ, 2017. – 208 с.
4. Influence of cutting time on types of oscillations during blade processing /Y. Vnukov, S. Dyadya, O. Kozlova, P. Trishyn, A. Zubarev // Ukrainian journal of mechanical engineering and materials science, Vol. 9, No. 1, 2023, pp. 53-66.

5. Regularities of Oscillations During Turning and End Milling / S. Dyadya, Y. Vnukov, O. Kozlova, P. Trishyn // Grabchenko's International Conference on Advanced Manufacturing Processes, 2023. pp. 136-144.

УДК 681.587.72

Валецький Б.П., канд. техн.наук, доцент
Залета О.М., канд. техн.наук, доцент

ЗАСТОСУВАННЯ МЕХАТРОННОГО МОДУЛЯ ДЛЯ 3D СКАНУВАННЯ

3D сканери потрібні в багатьох сферах людського життя. Вони незамінні як у промисловості, так і для побутових потреб. Спектр їх застосування настільки широкий, що не перераховувати, простіше сказати, де вони не потрібні.

В інженерній справі також не обійтися без таких технологій. Цифрові прототипи деталей, приміщень, будинків зараз отримати набагато простіше і швидше, ніж раніше, коли для цього були потрібні численні виміри вручну з наступним занесенням їх до бази даних. Будь-який фізичний об'єкт зараз можна відтворити у тривимірній формі, причому, у стислі терміни та з мінімальною похибкою.

Реверс інжиніринг - краще рішення, якщо треба швидко налагодити виробництво за відсутності конструкторської документації. Це метод створення віртуальної 3D-моделі на основі фізичної деталі для використання у програмах автоматизованого проектування, конструювання та виробництва (CAD/CAM/CAE) або в іншому програмному забезпеченні для проектувальників.

Процес включає вимірювання об'єкта вручну або за допомогою передових технологій тривимірних вимірювань, таких як 3D-сканування, для його переведення в 3D-модель.

Досить часто для цього використовують лазерні тремери, що є найбільш досконалими системами для проведення геометричних вимірів великогабаритних виробів з високою точністю. Зокрема у тремерах Leica об'єднані найсучасніші технічні досягнення для вирішення завдань щодо проведення високоточного виміру на відстані до 160 метрів з точністю до ± 15 мкм + 6 мкм/м.

Кожен тремер поєднує в собі кілька систем таких як відеосистема, електронний рівень, портативна метеостанція, вбудована система дистанційного управління, інтерфейс бездротової передачі даних, система автономного живлення.

Однак вартість подібної техніки є «космічною».

Запропоновано поєднати лазерний далекомір з мехатронним рухомим модулем, а саме маніпулятором.

В якості лазерного далекоміра було вибрано Bosch Professional GLM-50 з функцією безперервних вимірювань (трекінг), передачею інформації через Bluetooth та Bosch MeasureOn. Саме ця його особливість забезпечує швидке документування та передавання результатів вимірювань. Основна його функція – швидке вимірювання відстані до твердого об'єкта. Також можна обчислювати площі, об'єми кімнат, отримувати за теоремою Піфагора відстань, яку іншим способом виміряти проблематично, наприклад висоту будинку.

Для проведення досліджень використали розроблену модель маніпулятора [1] під управлінням контролера Arduino UNO R3, та модуля дистанційного керування HC-05. Приводами робочих вузлів використовуються сервоприводи MG-995 та MG90S.

Маніпулятор встановлюється перед об'єктом для сканування та здійснює планомірне переміщення далекоміра зліва-направо, та знизу-догори формуючи при цьому множинну (базу) вимірів дистанції. У запропонованому алгоритмі роботи враховуються і відстань до далекоміра і центра обертання маніпулятора, кути нахилу його плеч т.п. Застосувавши

метод тріангуляції система дозволяє нам отримати і загальні габарити об'єктів і різні координати екстремумів.

Це істотно прискорюють процес та дає можливість «зняття» даних з будь-якого об'єкта, навіть дуже складної форми, з великою кількістю площин, сканувати об'єкти, розташовані на віддаленій відстані та у недоступних для присутності місцях.

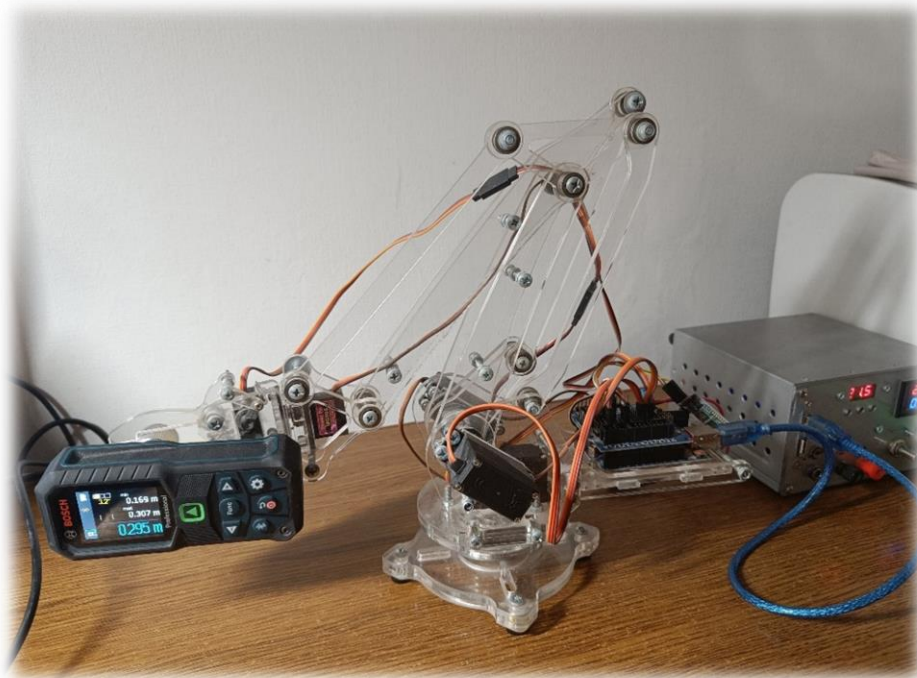


Рис. 1 – Загальний вигляд мехатронного модуля 3D сканера

Світові лідери вже розробили програмне забезпечення для аналізу пакету вимірювань та 3D-сканування і зворотного інжинірингу, основні з них [2]:

PC-DMIS – виробництва: Hexagon MI Wilcox Associates, Inc. (США) – Кращий в світі метрологічний програмний продукт для координатно-вимірювальних машин;

QUINDOS – виробництва: Hexagon MI PTS GmbH (Німеччина) – Спеціалізоване програмне забезпечення для контролю зубчастих коліс і шестерень з різними типами зубців і зачеплення;

PolyWorks – виробництва: InnovMetric Software Inc. (Канада) – Пакет PolyWorks®, є ідеальним програмним продуктом для контролю виробів за хмарою точок і реінжинірингу.

Artec Studio – виробництва: Artec 3D (США) – Програма для 3D-сканування і обробки даних від лідера індустрії;

TubeShaper – виробництва: Hexagon MI ROMER (Франція) Спеціалізоване програмне забезпечення для вимірювання, калібрування і виготовлення труб.

Підсумовуючи, варто зазначити, що 3D -сканування використовується в повсякденному житті. Технологія істотно спростила і дозволила автоматизувати безліч виробничих процесів в різних сферах.

Список посилань

1. Валецький Б.П. Моделювання мехатронного модуля переміщення / Валецький Б.П. // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС –2022) : матеріали тез доповідей XII Міжнародної науково-практичної конференції (м. Чернігів, 26–27 травня 2022 р.) : у 2 т. / Національний університет «Чернігівська політехніка» – Чернігів :НУ «Чернігівська політехніка», 2022. – Т. 1. – с 97.

2. Сучасні засоби вимірювальної техніки. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.koda.ua/ukr/products/group.html?id=1083>

УДК 620.178.4:621.878.2

Балака М.М., канд. техн. наук, доцент
Бабський В.Р., здобувач вищої освіти
Міщук Д.О., канд. техн. наук, доцент
Санкін І.Є., здобувач вищої освіти

Київський національний університет будівництва і архітектури, balaka.mm@knuba.edu.ua

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСУ ШИН СКРЕПЕРА В ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ УМОВАХ

Знос за своєю сутністю є більш складним процесом, ніж зовнішнє тертя, і представляє результат сукупного впливу фізико-хімічних та механічних процесів, що відбуваються в поверхневому шарі контакту шин землерийно-транспортних машин з опорною поверхнею. Завдання попередження передчасного зносу і руйнування шин є складним та пов'язано з уминням визначити їх види, безпомилково виявити причину руйнування шин [1–3].

В основу методики оцінювання зносу протектора шин в реальних умовах експлуатації скрепера покладено ваговий метод контрольних пробок, що полягає у встановленні в екваторіальній площині шини в шести радіальних перерізах циліндричних пробок з протекторної гуми, які через визначені проміжки напрацювання машини витягуються з протектора та в лабораторних умовах з високою точністю зважуються. За відомих значень діаметра і початкової маси контрольної пробки це дозволить перейти до зносу протектора шини у радіальному напрямку [1]. В кабіні машиніста встановлено сім електроімппульсних хронометрів з автоматичним або ручним введенням інформації про тривалість складових робочого циклу скрепера: наповнення ковша $t_{\text{нап}}$, транспортування $t_{\text{пер}}$ і розвантаження ґрунту $t_{\text{роз}}$, повороту $t_{\text{пов}}$ та зворотного холостого ходу скрепера $t_{\text{х.х.}}$.

Результати дослідження зносу протектора пневматичних шин $h_{\text{пр}}$ в умовах експлуатації скрепера на об'єктах будівництва показали, що при дальності транспортування ґрунту $L_{\text{пер}} = 700$ м напруженими ділянками робочого циклу є переміщення завантаженого скрепера – 49,2 %, зворотний холостий хід – 23,9 % і наповнення ковша ґрунтом – 17,4 %, що становлять 90,5 % у загальному балансі зносу протектора шин скрепера [4, 5].

Таким чином, визначивши середнє значення радіального зносу протектора шин за певну кількість робочих змін машини та співвідносивши його з допустимим значенням зносу протектора шин $[h_{\text{пр}}]$, можна орієнтовно оцінити очікуваний термін служби шин $T_{\text{сл}}$ з урахуванням імовірнісного характеру розподілу умов експлуатації скрепера.

Список посилань

1. Балака М. Сучасні уявлення про механізм зносу протекторних гум / М. Балака, Д. Міщук, Д. Паламарчук // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – 2021. – Вип. 98. – С. 30–36. – Режим доступу: <https://doi.org/10.32347/gbdmm2021.98.0302>.
2. Пелевін Л. Є. Вплив зовнішніх факторів на знос пневматичних шин землерийно-транспортних машин / Л. Є. Пелевін, М. М. Балака, Г. О. Аржаєв // Енергоощадні машини і технології: матеріали Міжнар. наук.-техн. конф. (28–30 трав. 2013 р., м. Київ). – К.: КНУБА, 2013. – С. 36–39.
3. Обґрунтування факторів підвищення ефективності використання самохідних скреперів / Балака М. М., Міщук Д. О., Гох В. В., Кібаленко В. С. // Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування: конструювання та дизайн: тези доп. XXIII Міжнар. конф. (11–12 квіт. 2024 р., м. Київ). – К.: НУБіП України, 2024. – С. 22–24.
4. Балака М. М. Дослідження часового фактору зносу протектора шин самохідного скрепера / М. М. Балака // Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. – 2021. – Вип. 92, т. 2. – С. 116–121. – Режим доступу: <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2021.92.2.116>.
5. Особливості робочого циклу і організації скреперних робіт / Балака М. М., Кім А. О., Міщук Д. О., Ходневич М. М. // Сучасні проблеми та перспективи розвитку машинобудування України: тези доп. Міжнар. наук.-практ. онлайн конф. (23–24 верес. 2021 р., м. Київ). – К.: НУБіП України, 2021. – С. 16–18.

УДК 621.371

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

Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, м. Київ,
filatov2045@gmail.com

Бояринцев А. Ю., докт. техн. наук, с.н.с.

Інститут сцинтиляційних матеріалів НАН України, м. Харків boyarintsev@isma.kharkov.ua

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

ДП “Інженерно-виробничий центр АЛКОН” НАН України, sidorko@ism.kiev.ua

Ковальов С.В., канд. техн. наук

Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, м. Київ philosof@online.ua

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

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

Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського»,
urchyshynoks@ukr.net

ПОЛІРУВАННЯ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ОПТОТЕХНІКИ

Підвищення якості елементів оптотехніки з напівпровідникових матеріалів можливе лише за удосконалення технології їх полірування та розробки нових полірувальних дисперсійних систем, які б забезпечували високу якість полірованих поверхонь за достатньої швидкості зняття оброблюваного матеріалу [1]. Метою даного дослідження є вивчення закономірностей впливу фізико-хімічних властивостей оброблюваного матеріалу та дисперсної системи на показники полірування напівпровідникових матеріалів.

Визначення показників полірування напівпровідникових матеріалів здійснювалось під час оброблення плоских поверхонь зразків оптоелектронних елементів 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 зразків з антимоніду індію $InSb$ (густина $5,775 \text{ г/см}^3$, діелектрична проникність $\epsilon_0=16,8$, коефіцієнт теплопровідності $\lambda=11,2 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$), карбіду кремнію SiC (густина $3,217 \text{ г/см}^3$, діелектрична проникність $\epsilon_0=6,5$, коефіцієнт теплопровідності $\lambda=490 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$), кремнію Si (густина $2,328 \text{ г/см}^3$, діелектрична проникність $\epsilon_0=11,7$, коефіцієнт теплопровідності $\lambda=84 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$), германію Ge (густина $5,323 \text{ г/см}^3$, діелектрична проникність $\epsilon_0=16$, коефіцієнт теплопровідності $\lambda=60 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$), телуриду кадмію $CdTe$ (густина $5,855 \text{ г/см}^3$, діелектрична проникність $\epsilon_0=10,6$, коефіцієнт теплопровідності $\lambda=6,2 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$) і селеніду кадмію $CdSe$ (густина $5,82 \text{ г/см}^3$, діелектрична проникність $\epsilon_0=9,7$, коефіцієнт теплопровідності $\lambda=6,9 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$) здійснювалось за допомогою дисперсної системи з полірувальних мікро- та нанопорошків (густина $3,86 \text{ г/см}^3$, діелектрична проникність $6,1$, коефіцієнт теплопровідності $1,0 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$).

Розмір частинок полірувального порошку визначався за допомогою растрового електронного мікроскопу Zeiss-EVO50 з системою мікроаналізу AZtec. Зняття оброблюваного матеріалу визначалось ваговим методом за допомогою аналітичних терезів. Параметри шорсткості полірованих поверхонь визначали методом комп'ютерного моделювання та контролювали за допомогою безконтактного інтерференційного 3D профілографа Micron-alpha [2, 3].

У відповідності до сучасних уявлень про механізм взаємодії оброблюваної поверхні з частинками дисперсної фази полірувальної дисперсної системи, видалення оброблюваного матеріалу відбувається внаслідок перенесення енергії від частинок полірувального порошку до оброблюваної поверхні, яке відбувається як ферстерівське резонансне перенесення енергії (FRET) у відкритому мікрорезонаторі, що утворюється поверхнями колоїдних нанокристалів дисперсної фази і нанокристалів на оброблюваній поверхні [3, 4].

Ефективність FRET залежить від добротності мікрорезонатора на відповідних частотах, а швидкість зняття оброблюваного матеріалу визначається у відповідності до формули [2]:

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

де η – 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, ($d = 409$ нм – розмір частинок полірувального порошку; u – швидкість відносного переміщення деталі та притира;

τ – 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 швидкості зняття оброблюваного матеріалу та параметрів шорсткості оброблених поверхонь наведено в таблиці.

Таблиця 1 – Показники полірування напівпровідникових матеріалів

Показники полірування	Оброблюваний матеріал					
	InSb	SiC	Si	Ge	CdTe	CdSe
Ширина забороненої зони E_g , eV	0,18	2,90	1,10	0,66	1,50	1,74
Діелектрична стала ϵ_0	16,8	6,5	11,7	16,0	10,6	9,5
Швидкість зняття матеріалу, Q , 10^{-13} м ³ /с	27,2	2,1	36,4	18,8	31,9	18,1
Продуктивність полірування, мг/хв. (мкм/год)	0,9 (11,4)	0,04 (0,8)	1,0 (13,7)	0,6 (3,4)	—	—
Параметри шорсткості						
Ra , нм	8,4±0,3	4,2±0,4	9,0±0,2	6,9±0,2	8,8±0,2	6,6±0,2
Rq , нм	8,8±0,3	4,3±0,2	9,4±0,4	7,4±0,2	9,3±0,3	7,0±0,3
R_{max} , нм	14,4±1,7	7,8±0,7	14,4±1,6	12,4±0,7	14,7±2,0	11,3±1,0

В результаті досліджень показано, що під час полірування напівпровідникових кристалів антимоніду індію *InSb*, карбіду кремнію *SiC*, кремнію *Si*, германію *Ge*, а також халькогенідів кадмію *CdTe* і *CdSe* швидкість зняття оброблюваного матеріалу і параметри шорсткості полірованої поверхні зменшуються за збільшення їх ширини забороненої зони E_g і зростають за збільшення їх діелектричної проникності ϵ_0 .

Список посилань

1. Філатов Ю.Д. Фізичні засади формування прецизійних поверхонь під час механічної обробки неметалевих матеріалів. / Філатов Ю.Д., Сідорко В.І., Філатов О.Ю., Ковальов С.В. – К.: Наук. думка, 2017. – 248 с.
2. Filatov Yu.D., Boyarintsev A.Yu, Sidorko V.I., Kovalev S.V., Kolesnikov O.V. Polishing of polystyrene scintillators. *Functional Mater.* 2023. Vol. 30, no. 3. P. 424–430.
3. Filatov Yu.D., Sidorko V.I., Sokhan' S.V., Kovalev S.V., Boyarintsev A.Y., Kovalev V.A., Yurchyshyn O.Y. Roughness of Polished Surfaces of Optoelectronic Components Made of Polymeric Optical Materials. *J. Superhard Mater.* 2023. Vol. 45, no. 1. P. 54–64.
4. Filatov Yu.D., Sidorko V.I., Boyarintsev A.Y., Kovalev S.V., Kovalev V.A., Transfer Energy in the Interaction of an Optical Surface with a Polishing Disperse System. *J. Superhard Mater.* 2022, Vol. 44, no. 2. P. 117–126.

УДК 539.3

**Бабенко А.Є., 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»,
strubachev1@ukr.net

РОЗРАХУНОК ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАШИНОБУДІВНИХ КОНСТРУКЦІЙ

При проектуванні обладнання сучасного машинобудування необхідно враховувати реальні умови роботи конструкцій. В процесі роботи машини та механізми, працюють під дією інтенсивних вібраційних навантажень, тому визначення динамічних характеристик конструкцій являє собою актуальну задачу. Це визначає необхідність проводити дослідження коливальних процесів з урахуванням реальних умов вібраційного навантаження, що дозволить визначити оптимальні параметри конструкції та режими роботи машини з максимальним віддаленням від критичних режимів, які є небезпечними. Як відомо, явище резонансу є однією з причин руйнації елементів машинобудівних конструкцій. У зв'язку з цим є необхідним вирішення задачі про вимушені коливання. Ця задача може бути розв'язана із застосуванням метода головних координат, але для цього необхідно визначити власні частоти та відповідні їм власні форми коливань. Всі механічні об'єкти, які використовуються в сучасних машино- та авіабудуванні можна змоделювати стержневими системами, масивними тілами, багатозв'язними пластинами та просторовими пластинчато-оболонковими конструкціями в різноманітних комбінаціях. Аналітичні методи розрахунку коливань подібних конструкцій, як правило, не відображають з необхідною точністю реальну картину напружено-деформованого стану, у зв'язку зі складними граничними умовами та існуючими вібраційними навантаженнями. Тому необхідно розвивати універсальні і ефективні чисельні методи для розрахунку задач на коливання, які б дозволили визначити оптимальні параметри елементів конструкцій. Авторами був розроблений ефективний підхід до визначення динамічних характеристик елементів машинобудівних конструкцій, який базується на формуванні скінченновимірних функціоналів типу Релея методом підвищення жорсткостей та мінімізації їх ітераційним методом покоординатного спуску [1, 2]. Слід підкреслити, що застосування метода покоординатного спуску не потребує формування матриць інерції та жорсткості та оперування з ними, що дозволяє вирішувати задачі великої розмірності з мінімальною потребою обчислювальних ресурсів. Окрім того даний метод є стійким відносно помилок, які обумовлені точністю обчислювання на персональному комп'ютері. При розрахунку вимушених коливань шукані функції розкладаються в ряд Фур'є за власними формами коливань. Для врахування частотно-незалежного тертя, використовувалась гіпотеза Бока-Шліппе-Колара. На основі запропонованого методу було розроблено алгоритми та пакети прикладних програм (ППП). З огляду на те, що PPP побудовано за модульним принципом, це дозволяє вдосконалювати його структуру за допомогою сервісних програм, а також видозмінювати та додатково розробляти програми для нових задач. Розроблений програмний комплекс включає в себе програмний модуль, який дозволяє робити дискретизацію довільних пластинчато-оболонкових систем, що необхідно для побудови скінченновимірної моделі. PPP 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 та форм коливань не перевищувала 5%. Запропонований метод та його реалізація у вигляді автоматизованої системи розрахунку отримали впровадження в інженерну практику.

Список посилань

1. Бабенко А. Є. Визначення частотного спектра та власних форм коливань пружних систем методом підвищення жорсткостей // О. Є. Бабенко, О. А. Боронко, О.М. Василенко, С. І. Трубачев / Проблеми міцності. – 1990. – № 2. – с. 122 – 124.
2. Бабенко О. Є. Застосування та розвиток методу покоординатного спуску в задачах визначення напружено-деформованого стану при статичних та вібраційних навантаженнях // О. Є. Бабенко, Н. І. Бобир, С. Л. Бойко, О. А. Боронко. – К.: Інрес, 2005. – 264 с.

УДК 621.923

Рябченко С.В., канд. техн. наук, ст. наук. співробітник

Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ, s.riabchenko@ukr.net

ШЛІФУВАННЯ ЗУБЧАТИХ КОЛІС КРУГАМИ З РУБІН-КОРУНДУ

Підвищити якість обробки зубчастих коліс можливо шляхом застосування ефективних технологій зубошліфування. Технологія обробки полягає у використанні абразивних кругів із рубін-корунду при профільному шліфуванні зубчастих коліс. Шліфування кругами із рубін-корунду дозволяє підвищити точність обробки та знизити висотні параметри шорсткості зубчастих коліс і, тим самим, підвищити надійність та ресурс зубчастих передач.

Для процесу шліфування зубчастих коліс розроблені та виготовлені абразивні круги із рубін-корунду діаметром 400 мм, розроблені технологічні режими обробки, досліджена точність та шорсткість поверхонь зубчастих коліс після обробки. Випробування проводилися у промислових умовах на підприємстві АТ «Світло Шахтаря» (м. Харків). Шліфування зубчастих коліс виконувалось на зубошліфувальному верстаті з ЧПК мод. HÖFLER RAPID 1250. Оброблялись зубчасті колеса з такими параметрами: діаметр $d_a = 345$ мм; $z = 41$; $m = 8$; ширина вінця $B = 90$ мм (рис. 1).



Рис. 1 – Установка шліфувального круга з рубін-корунду на верстаті

Шліфування зубчастих коліс кругами із рубін-корунду дозволяє забезпечити якісні показники профілю зуба в порівнянні зі шліфуванням кругами із звичайними кругами з білого корунду. Забезпечуються висока точність профілю колеса, яка відповідає 2 ступеню точності (за DIN 3962). Шорсткість профілю зубчастого колеса дорівнює $Ra 0,63$, що відповідає вимогам креслення. Правку шліфувального круга із рубін-корунду проводиться через 7–8 зубців (при використанні білого корунду – через 4–5 зубців), що забезпечує підвищену стійкість шліфувального круга із рубін-корунду.

УДК 004.925.8

Пилипенко В.О., студент

Стельмах Н.В. канд. техн. наук, доцент

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», stelmakhnv@ukr.net

МЕТОД ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ НА ОСНОВІ ГЕНЕРАТИВНОГО ДИЗАЙНУ

У сучасному світі, де технології швидко розвиваються і вимоги до продуктів та механізмів постійно зростають, важливо мати ефективні методи для удосконалення конструкцій та вирішення проблем, які можуть виникнути в процесі їхньої експлуатації. Саме тому інженери й вчені постійно працюють над розвитком та вдосконаленням методів, що дозволяють виявляти, аналізувати та вирішувати проблеми в конструкціях механізмів.

Основною і важливою метою при проектуванні вдосконаленого вузла кріплення пропелера, яку потрібно врахувати на самому початку – досягти загальної жорсткості конструкції використовуючи сучасні методи і рішення [1].

Серед найефективніших підходів до цієї задачі (рис. 1) можна виділити обернений інжиніринг, використання комп'ютерного моделювання, застосування нових матеріалів, адаптивні технології та інноваційні технології. Кожен з цих методів має свої переваги та може бути застосований в різних ситуаціях залежно від специфіки проблеми та доступних ресурсів.

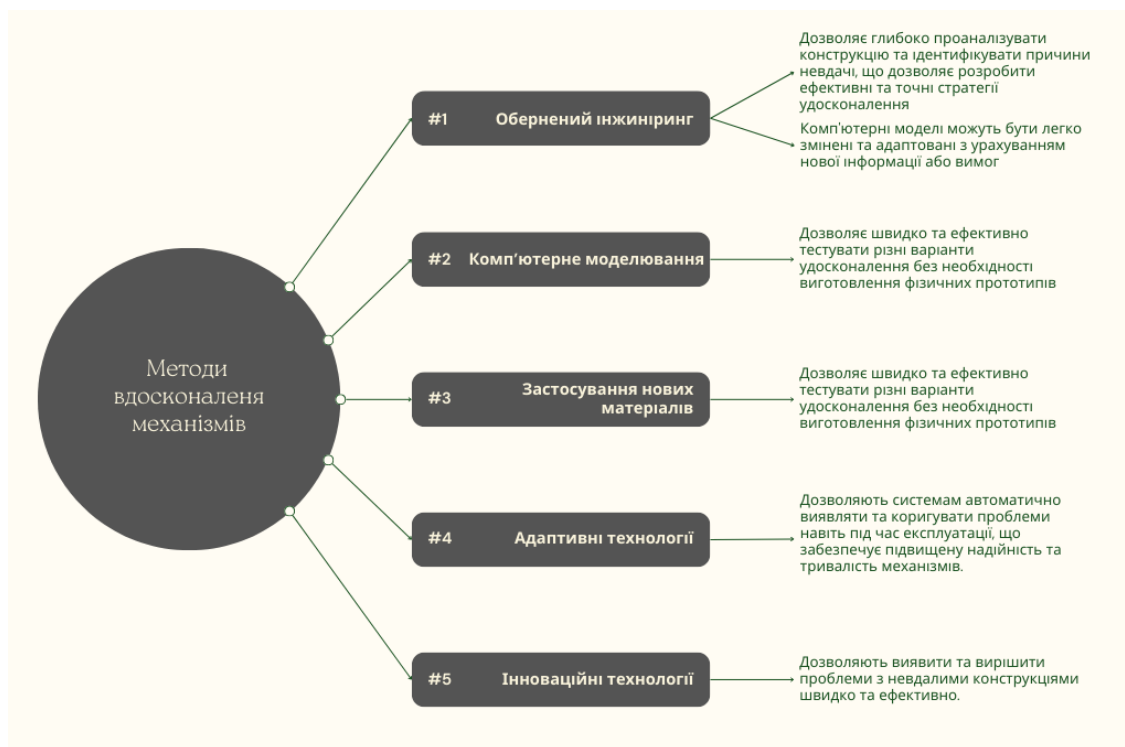


Рис. 1 – Методи вдосконалення конструкцій та механізмів

Основою створеного комплексного методу є використання комп'ютерного моделювання та застосування генеративного дизайну, як прикладу синергії людини та комп'ютерної програми [2].

Термін «генеративний дизайн» відноситься до серії інструментів, що реалізують методи та алгоритми штучного інтелекту, які застосовуються для вирішення завдань проектування[3]. З практичної точки зору інструменти генеративного дизайну шукають рішення проблеми, вираженої математичним формулюванням, вирішення якої будується на

ітераційному процесі оптимізації, який намагається мінімізувати цільову функцію. Використовуючи можливості штучного інтелекту, генеративний дизайн надає можливість досліджувати багато різних концепцій дизайну на основі різних виробничих процедур, матеріалів і початкових форм. Вони працюють на основі цільової функції (мінімізація маси, максимізація жорсткості) і розрахунків лінійного напруження, завдяки чому досягаються бажані результати [4]. Технології генеративного дизайну дозволяють створювати проекти з урахуванням тих фізичних властивостей і явищ, які пов'язані з функціональністю продукту.

За основу алгоритму моделювання вдосконаленої конструкції, наприклад, кріплень пропелерів аграрного дрону беруться наступні кроки:

1. Побудова початкової геометрії кріплень пропелерів;
2. CAE аналіз конструкції;
3. Формулювання технічного завдання;
4. Алгоритм генерування рішень;
5. Аналіз рішень;
6. Коригування вдосконаленого вузла кріплень пропелерів.
7. Оцінка ефективності нового рішення.

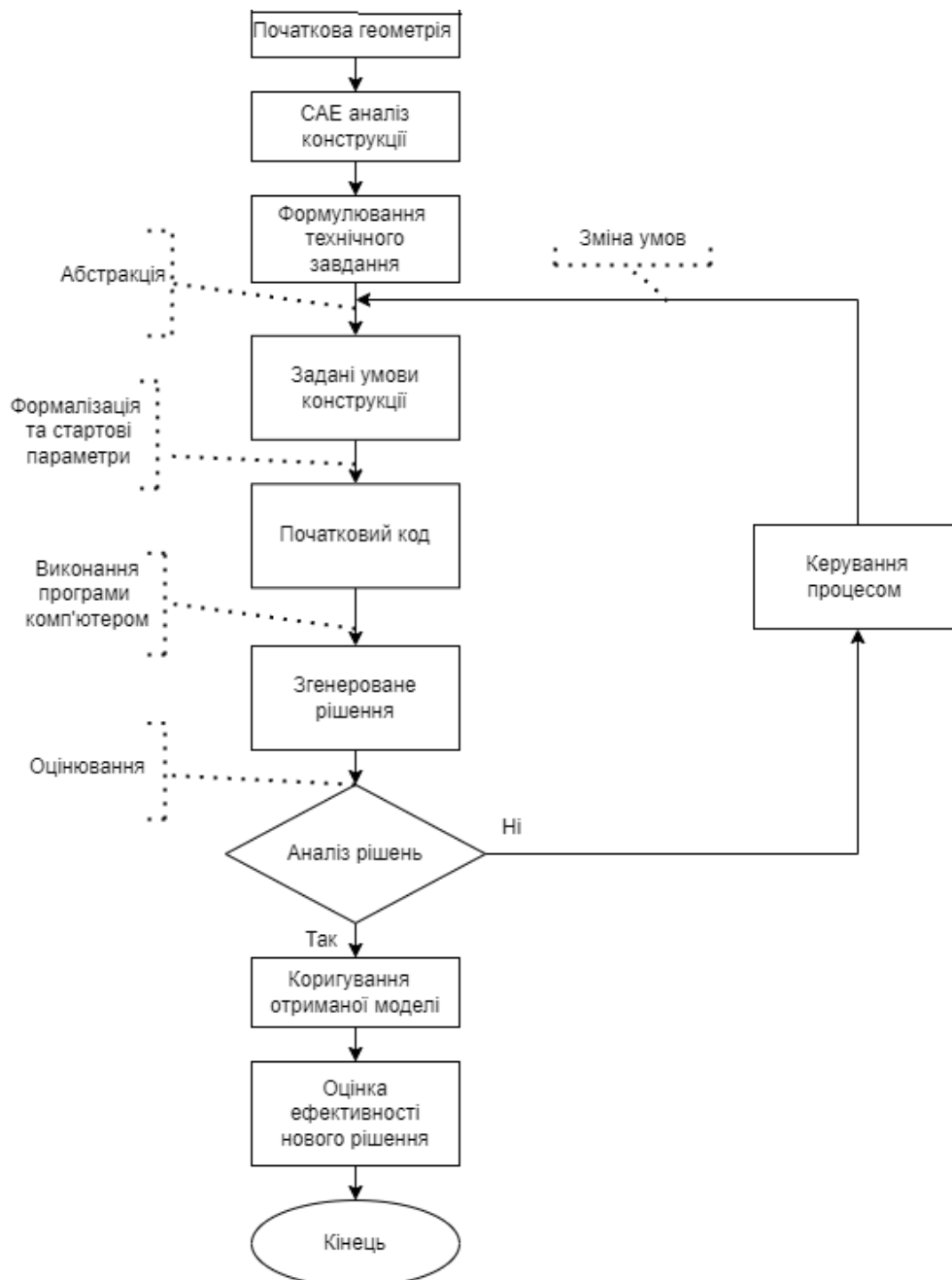


Рис. 2 – Алгоритм методу вдосконалення конструкцій на основі генеративного дизайну

Список посилань

1. Мастенко, І. В. Аналіз методів топологічної оптимізації при проектуванні елементів приладів / І. В. Мастенко, Н. В. Стельмах // XIII Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 13-14 травня 2020 р., м. Київ, Україна : збірник праць конференції. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – С. 109–111.
2. Sigmund, Ole; Maute, Kurt (2013). "Topology optimization approaches". Structural and Multidisciplinary Optimization. 48 (6): 1031– 1055. doi:10.1007/s00158-013-0978-6.
3. Khan, S., & Awan, M. J. (2018). A generative design technique for exploring shape variations. Advanced Engineering Informatics, 38, 712-724.
4. І. В. Мастенко, Н. В. Стельмах. Застосування топологічної оптимізації при проектуванні деталі типу кронштейн. XV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні, Київ, 2019, с. 147–150.

UDK 614.8.084+629.73

Rudkovskyi I.E. student

Stelmakh N.V. associate professor

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”,
stelmakhnv@ukr.net

REVIEW AND ANALYSIS OF OBJECT DISTANCE ESTIMATION ALGORITHMS IN RESCUE DRONE CONTROL SYSTEMS

Rescue drones are typically used for searching and rescuing people in conditions where direct human intervention may be dangerous or impossible.[1] The main functions of the object recognition systems in rescue drones include: object distance estimation; person and object recognition algorithms; object tracking systems; integration with other systems and data.

To improve the accuracy of distance measurement to objects, advanced sensors such as LIDAR can be used, which allow for more precise distance measurements and the creation of detailed 3D maps of the terrain. The use of machine vision algorithms can also enhance distance determination in challenging conditions, such as poor visibility. Regarding the improvement of person and object recognition algorithms, deep neural networks can be implemented for more accurate recognition of people, animals, or other specific objects in various environments. The development of specialized algorithms for identifying people by clothing, condition, or other characteristics can assist in rescue operations.[2]

To improve the object tracking system, algorithms can be developed that allow an object to be kept in frame during movement, ensuring continuous monitoring. The use of automated response systems to changes in behavior or movement of objects will enable the drone to better adapt to dynamic conditions. Integration with other systems and data, such as satellite imagery or information from other drones, can significantly enhance the informativeness of the terrain picture. Creating more efficient communication channels between the drone and the base station will ensure rapid processing and analysis of the data received. [3]

In rescue drone navigation systems, distance determination to objects can be based on a variety of technologies, as the accuracy and efficiency of this determination can be of vital importance.

The following technologies are most often used to solve such problems. Global Navigation Satellite System (GNSS): GNSS, such as GPS or Galileo, can be used to determine the geographical coordinates of the drone and the objects around it. Distance can be calculated based on the difference in coordinates. Laser ranging (LIDAR): LIDAR measures the distance to objects using reflected light signals. Using LIDAR, you can get fairly accurate distance measurements in real time [4].

Ultrasonic distance measurement: This technology uses high-frequency sounds to measure distances to objects. It can be useful in low-light, smoke, or dust environments.

Cameras with depth sensors: Cameras that have depth sensors can determine the distance to objects based on parallax analysis or changes in the texture of objects.

Radar can also be used to measure the distance to objects using reflected radio signals. It can be useful in low visibility or weather conditions.

Infrared sensors can measure the thermal radiation of objects and use it to determine distances.

Let's take a closer look at the key technologies for object distance estimation used in the navigation systems of rescue drones, as presented in Table 1.

Table 1 – Key technologies for object distance estimation in the navigation systems of rescue drones.

Stereovision	LIDAR	SAR	Ultrasonic rangefinder	Machine vision algorithms
It uses two or more cameras to create a three-dimensional representation of the terrain. By comparing images obtained from different viewpoints, the algorithm can measure the distance to objects based on the parallax between corresponding points on each image.	It uses laser beams to measure the distance to objects. The drone emits laser pulses and measures the time needed for their return after reflecting off objects. This method is very accurate and can operate in various weather conditions.	It is used to create detailed images of the terrain using radio waves. It can operate effectively regardless of weather conditions and lighting, making it ideal for rescue missions at night or in poor weather conditions.	Ultrasonic sensors measure the distance to objects using sound waves that reflect off the objects and return. This method is primarily used for close distances and obstacle avoidance	They are used for processing images obtained from cameras. These algorithms may include deep learning methods that enable drones to recognize and classify objects, measure distances, and even predict potential obstacles.

In future research, it would be advisable to select the most effective among the considered algorithms in such a way that the tasks of the rescue drone are solved as efficiently as possible, combined with the tasks of recognizing persons and objects and tracking objects.

References

1. Мандровська, С. О., Стельмах Н. В. Аналіз методів виявлення пожеж за допомогою малогабаритних БПЛА. Збірник праць Міжнародної науково-технічної конференції НОВІ ТА НЕТРАДИЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В РЕСУРСО- ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННІ м. Одеса, 2023. 211-213
2. Kumar, G.A.; Lee, J.H.; Hwang, J.; Park, J.; Youn, S.H.; Kwon, S. LiDAR and Camera Fusion Approach for Object Distance Estimation in Self-Driving Vehicles. *Symmetry* 2020, 12, 324. <https://doi.org/10.3390/sym12020324>
3. Du, K.; Bobkov, A. An Overview of Object Detection and Tracking Algorithms. *Eng. Proc.* 2023, 33, 22. <https://doi.org/10.3390/engproc2023033022>
4. Zhang, H.; Wang, G.; Lei, Z.; Hwang, J.N. Eye in the sky: Drone-based object tracking and 3d localization. In *Proceedings of the 27th ACM International Conference on Multimedia*, Nice, France, 21–25 October 2019; pp. 899–907.

УДК 621.923

Вовк О.В., аспірант

Національний університет «Чернігівська політехніка», aleksey1740vovk@gmail.com

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ШЛІФУВАННЯ ПЛОСКИХ ПОВЕРХОНЬ ШЛЯХОМ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ РІЗАННЯ

Шліфування є одним з найпоширеніших методів обробки заготовок на останніх (чистових) етапах механічної обробки деталей. Шліфування так само, як і обробка лезовим інструментом виконується різальними кромками, але абразивний круг має тисячі різальних кромок, що зумовлює значне підвищення температури в зоні обробки. Таке підвищення температур може спричинити непоправимий брак деталей [1, 2].

На сьогоднішній день найпоширенішими методами охолодження на виробництві будь-яких деталей, які шліфуються, є використання мастильно-охолоджуючих рідин (МОР) та значна кількість розробок та досліджень, які проводяться в цьому напрямку це зміна конструкції самого абразивного круга, а саме для більш кращого підводу МОР до зони обробки або для забезпечення переривчастого шліфування.

До найновітніших розробок в охолодженні робочої зони можна віднести охолодження стиснутим повітрям або газами та використання охолодження кріогеном. По суті це те ж самий підвід МОР до зони обробки, тільки замість рідин використовується стиснуте повітря/газ або рідкий азот [3]. Однак вони достатньо мало дослідженні.

Використання МОР має ряд недоліків таких як забруднення навколишнього середовища та значні витрати на придбання та його утилізацію. Тому зменшення об'ємів МОР, яке використовується під час шліфування заготовок, а особливо плоских поверхонь, є одним із пріоритетних напрямків.

Розроблена математична модель процесу плоского шліфування периферією круга, яка ґрунтується на емпіричних залежностях традиційних параметрів процесу різання (швидкість, глибина і подача різання), яка дозволяє теоретичне прогнозування якості поверхневого шару плоскої поверхні, а саме визначення теплових потоків під час шліфування.

Список посилань

1. Калинин Е.П. Теория и практика управления производительностью шлифования без прижогов с учетом затупления инструмента. / Е.П. Калинин. – Спб.: Изд-во. Политех.ун-та, 2009. – 358 с.
2. Сипалов В.А. Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности. / В.А. Сипалов. – М., «Машиностроение», 1978. – 165 с.
3. Yakup Yildiz, Muammer Nalbant A review of cryogenic cooling in machining processes. // International Journal of Machine Tools & Manufacture. – 2008. –Vol. 48, – pp. 947-964.

УДК 621.923

Шеремет О.М., аспірант

Національний університет «Чернігівська політехніка», sheremet2288@gmail.com

ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ШЛІФУВАННЯ ЦИЛІНДРИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ ШЛЯХОМ КЕРУВАННЯ ПЛОЩЕЮ КОНТАКТУ ІНСТРУМЕНТУ І ЗАГОТОВКИ

В сучасних машинах широко використовуються деталі з циліндричними поверхнями обертання та найбільш поширеною фінішною операцією обробки таких поверхонь є шліфування. На даний час в розвинених країнах світу процес шліфування має достатньо високий показник застосування та понад 25% механічної обробки припадає саме на шліфування.

Найбільш поширеним методом шліфування циліндричної поверхні є поздовжнє кругле шліфування периферією круга при паралельних осях інструмента і заготовки, основним недоліком якого є низька продуктивність та нерівномірний знос шліфувального круга через нестабільне положення формоутворюючої ділянки абразивного інструменту та достатньо велику площу контакту, що впливає на точність і якість обробки.

Тому останнім часом для високопродуктивної обробки все частіше використовується шліфування периферією круга при схрещених під невеликим кутом осях інструменту і деталі, яке має ще невикористані резерви для підвищення продуктивності шляхом керування площи контакту інструменту та заготовки [1]. При даній схемі обробки найбільша величина припуску на обробку буде знаходитися в місці врізання інструмента з рівномірним зменшенням величини припуску до калібрувальної ділянки, яка забезпечує формоутворення поверхні деталі.

Впроваджений фірмою Junker метод високошвидкісного шліфування зі схрещеними осями шліфувального круга та деталі [2], дозволив підвищити продуктивність обробки майже в 6 разів в порівнянні з традиційними способами циліндричного шліфування та збереженням високої точності та якості оброблених поверхонь. Тобто зміна кута відносного розташування інструменту та заготовки зменшує їх площу контакту, а отже і збільшується продуктивність процесу шліфування.

Список посилань

1. Кальченко В.І. Глибинне кругле шліфування зі схрещеними осями деталі та круга / В.І. Кальченко, В.В. Кальченко, М.А. Дмитренко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету – Чернігів: ЧДТУ, 2009. – № 37. – С. 64-72.
2. Wang S., Li C. H. Application and development of high-efficiency abrasive process. // International journal of advanced science and technology. – Tasmania: Science and Engineering Research Support society, 2012. – Vol. 47, – pp. 51-63.

УДК 658.512.23

Завертаний Б.С., доктор філософії, старший викладач

Пасов Г.В., канд. техн. наук, доцент

Аксьонова О.О., асистент

Національний університет “Чернігівська політехніка, zavertannyi@stu.cn.ua

СТВОРЕННЯ ДИЗАЙНУ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ТРИВИМІРНИХ МОДЕЛЕЙ У ГАЛУЗЕВОМУ МАШИНОБУДУВАННІ ТА АВТОМОБІЛЕБУДУВАННІ ЯК СПОСІБ ПРОСУВАННЯ ПРОДУКТУ

Цифровізація усіх сфер життя, в тому числі і промислового виробництва, докорінно змінює підхід до питань створення нових зразків промислової продукції. Проводиться активне впровадження досягнень сучасної комп’ютерної техніки та технологій які вона дає можливість використовувати. Використання сучасних технологій надає можливість не тільки прискорити процес розробки продукції, але і можливість її презентувати споживачеві ще до реалізації фізичних зразків.

Сьогодні нам показує, що інженер має володіти не тільки перспективними методами проектування, вмінням застосовувати комп’ютерні технології, а й розумінням дизайнерського (художньо – конструкторського) підходу до питань розробки продукції, поєднання роботи художника та конструктора [1-3].

Сам процес створення обладнання вважається рутинним, аналітичним, але у ньому повинні мати місце і дизайнерські (творчі) елементи. Поруч із використання методів та методологій проектування часто використовується дизайнерський підхід, для задоволення як естетичних потреб споживача продукту, так і врахування ергономічних вимог сьогодення. Досить часто проводяться процеси дослідження вподобань потенційних

користувачів, їх відношення до продукту, зручність користування та ін. САПР та допоміжне програмне забезпечення надають можливість створювати та візуалізувати для клієнта промислові зразки без їх фізичного виготовлення, проводити маркетингові дослідження, вносити дизайнерські рішення та корективи ще до запуску у виробництво. Як приклад показано оновлення та вдосконалення бренду та візуалізації на зразку логотипу, який розміщено на сайті кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування Національного університету «Чернігівська політехніка», що показано на рисунку 1.

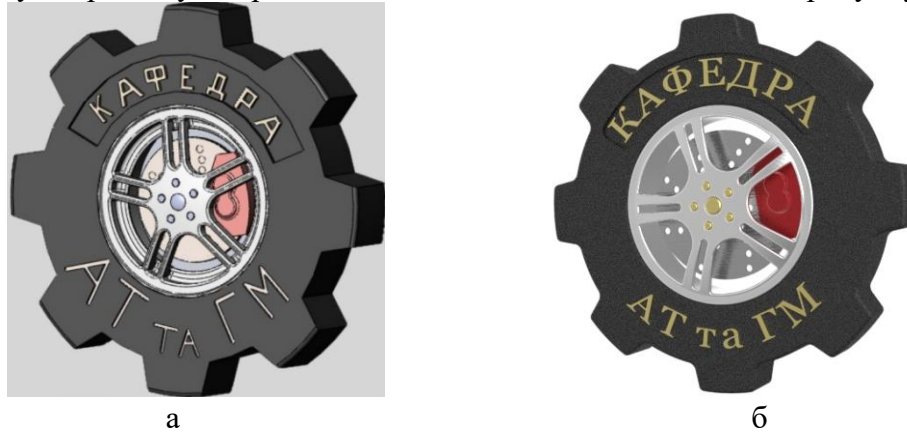


Рис. 1 – Оновлення логотипу: а – старий дизайн; б – оновлений дизайн

Також розглянемо рішення візуалізації технічного проекту на початковій стадії. На рисунку 2 а зображено тривимірну модель видувної машини АПФ30 виробництва ТОВ «ПЕТ Технолоджиз». На рисунку 2 б зображено візуалізовану тривимірну модель цього обладнання [4].

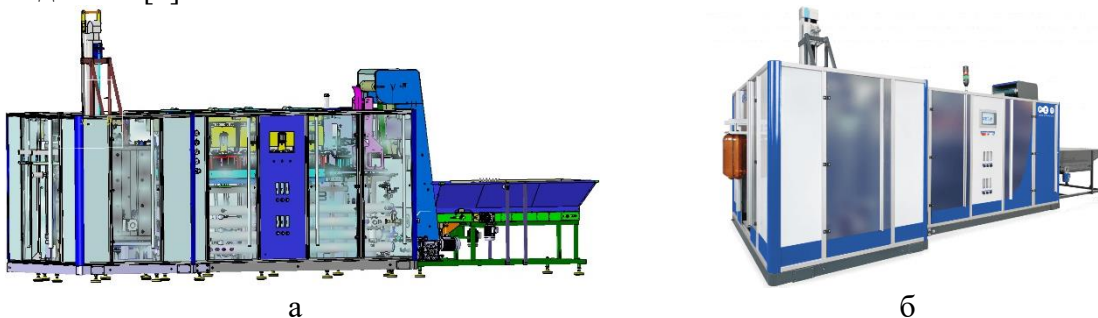


Рис. 2 – Тривимірна модель та візуалізація машини АПФ30 ТОВ «ПЕТ Технолоджиз»: а – тривимірна модель у САД системі; б – візуалізація тривимірної моделі

В ході життєвого циклу продукту виникає необхідність слідувати тенденціям сьогодення у дизайнерському оформленні обладнання. Як приклад на рисунку 3 зображено етапи розробки та дизайнерського вдосконалення на прикладі видувної машини АПФ3002 виробництва ТОВ «ПЕТ Технолоджиз» [4].



Рис. 3 – Етапи розробки та вдосконалення дизайну видувної машини моделі АПФ3002 ТОВ «ПЕТ Технолоджиз»: а – тривимірна модель; б – дизайн першого покоління; в – дизайн останнього покоління

Застосування сучасних програмних продуктів при розробці рішень у сфері машинобудування та їх візуалізації може застосовуватись як для поліпшення конкурентоспроможності виробу, так і презентації виробу без його фізичного зразку. Адже у сучасному світі роль виконавця завдання це не тільки створення і виконання проектних рішень, а і аналіз та презентація продукції з точки зору як ергономіки, так і зі сторони маркетингу для підвищення продажів.

Список посилань

1. Іванова, Л. О. Основи промислового дизайну: навч. посіб. / Л. О. Іванова, О. Є. Сергєєва, С. В. Котлик ; Одес. нац. акад. харч. технологій. – Одеса: Астропринт, 2017. – 252 с.
2. Даниленко В. Я. Дизайн : підручник. Харків :ХДАДМ, 2003. – 320 с.
3. Білодід. Ю.М., Поліщук О.П. Основи дизайну. Навчальний посібник. – К.: Парапан, 2004. – 45 с.
4. ТОВ «ПЕТ Технолоджиз». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://pet-eu.com/uk/> (дата звернення: 09.05.2024).

УДК 621.785

Гриб В.В., аспірант

Дегула А.І., канд. техн. наук, доцент

Сумський державний університет, degula@pmtkm.sumdu.edu.ua

ДИФУЗІЙНІ ПОКРИТТЯ В МАШИНОБУДУВАННІ

Підвищення експлуатаційних характеристик виробів зі сталі можливе при хіміко-термічній обробці (ХТО), внаслідок якої змінюються фазовий, хімічний склади, структура та властивості поверхневих зон. Вибір методу ХТО, насичувального елемента чи групи насичувальних елементів визначає властивості сталі з покриттями. Нині відомі методи одно- та багатокомпонентного насичення нержавіючих сталей феритного, аустенітного, мартенситного класів неметалами і металами [1].

Останнім часом задачі ХТО ускладнилися. Від дифузійних покриттів вимагають забезпечення не одного, а кількох властивостей при екстремальних робочих умовах [2].

Позитивний ефект від використання захисних покриттів може бути досягнутий при індивідуальному підході до вибору не тільки їх складу, але й методу і способу нанесення на конкретні вироби та інструменти. При цьому при виборі складу необхідно виконати вимоги, які задовольняють покриття за призначенням залежно від умов експлуатації (наприклад, висока міцність, зносостійкість, корозійна стійкість і т. ін.). Крім того, слід враховувати сумісність матеріалу покриття із оброблюваним сплавом з позиції характеристик міцності. При виборі методу або способу нанесення основним є не тільки досягнення потрібних складу, структури і властивостей покриттів, але й їх якості (пористість, крихкість, рівномірність за товщиною дифузійного шару, відсутність дефектів і т. ін.). При виборі конкретних складів покриттів і методу їх отримання необхідно враховувати також і економічні фактори (витрати на капітальні вкладення, амортизаційні відрахування, вартість і витрата вихідних реагентів). Необхідно відзначити, що до цього часу універсальні склади карбідних покриттів і методи їх нанесення на поверхню сталей і твердих сплавів для всіх умов експлуатації відсутні [3].

Експлуатаційні властивості карбідних покриттів залежать не тільки від фазового складу, а також від вмісту в них вуглецю і легуючих елементів. Дані про розподіл елементів по товщині покриття дозволяють судити про процеси дифузії елементів в покритті, та мають певний науковий інтерес.

При хромотитануванні сталі 45 на поверхні формується двошарова структура (рис. 1). Відповідно даним мікрорентгеноспектрального аналізу верхній шар (спектр 1) складається з титану 79,42% (мас.) і вуглецю 18,5% (мас.), що відповідає карбиду TiC . В ньому розчинено близько 2,08% (мас.) хрому.

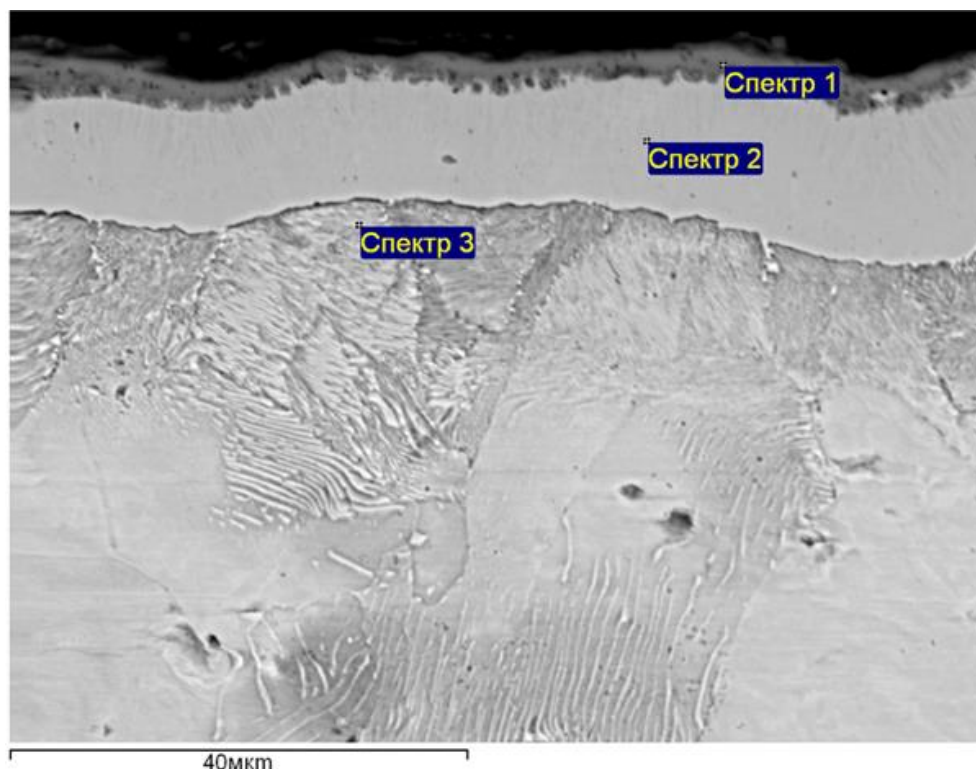


Рис. 1 – Мікроструктура (у відбитих електронах) поверхневого шару сталі 45 після хромотитанування; $T=1050^{\circ}\text{C}$, $\tau=3$ год

Центральна зона містить хром і вуглець. Концентрація вуглецю 5,4% (мас.) відповідає карбиду Cr_{23}C_6 . За даними мікрорентгеноспектрального аналізу в цій зоні також спостерігається значна кількість заліза до 19,8% (мас.), що характерно для дифузійних карбідохромових покриттів.

Під покриттям розташована зона збагачена хромом 9,4% (мас.), тобто відбувається не лише легування карбідного шару залізом, а і легування основи хромом, що призводить до підвищення механічних властивостей.

При послідовному насиченні хромом і титаном сталі У8А також спостерігається утворення багатошарової структури.

На поверхні розташована зона до складу якої входить титан і вуглець, концентрація вуглецю складає 20,6-22,3% (мас.), що відповідає карбиду титану TiC . В ньому розчинено 1,7-2,1% (мас.) заліза і 1,3-1,9% (мас.) хрому. Відповідно до результатів рентгеноструктурного аналізу шари карбідів хрому складаються із двох зон. Верхня Cr_{23}C_6 і нижня Cr_7C_3 . Карбід Cr_{23}C_6 легований залізом в кількості 11,4-17,1% (мас.), а в карбіді Cr_7C_3 містить його дещо більше 23,8-25,2% (мас.). Це свідчить про те, що разом з вуглецем основи в покриття дифундує і залізо основи.

На відстані 5-6 мкм від карбідного шару в перехідній зоні вміст хрому становить 2,6-2,7% (мас.).

Список посилань

1. Хижняк В. Г. Дифузійні покриття за участю титану, алюмінію та кремнію на сталі 12Х18Н10Т/ В. Г. Хижняк, М. В. Аршук, О. Е. Дацюк // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2014. – № 5(97). – С. 84-88
2. Хижняк В.Г. Багатокомпонентні дифузійні покриття на основі титану, алюмінію та кремнію на нікелі / В. Г. Хижняк, Т. В. Лоскутова, О. Е. Дацюк, О. В. Хижняк // Наукові вісті Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". – 2015. – № 1. – с. 79-84.
3. Лоскутова Т.В., Сігова В.І., Хижняк В.Г. Комплексні карбідні покриття на металах і сплавах: Монографія. – Суми: Вид-во СумДУ, 2009. – 190 с.

УДК 006.91

Кисельова Т.В., магістр
Шолудько О.В., магістр

Національний авіаційний університет, м. Київ, Kyseleva.tatiana@nd.ua

ЕТАПИ АКРЕДИТАЦІЇ ВИПРОБУВАЛЬНОЇ ЛАБОРАТОРІЇ ВІДПОВІДНО ДО ISO/IEC 17025:2017

В сучасному світі якість та надійність продукції мають вирішальне значення для споживачів та виробників. Один із способів забезпечення високої якості кінцевого продукту - це використання акредитованих випробувальних лабораторій, які відповідають міжнародним стандартам якості. Одним з найбільш визнаних стандартів є ISO/IEC 17025:2017, який встановлює вимоги до компетентності випробувальних лабораторій.

Акредитація підтверджує компетентність випробувальних лабораторій у виконанні конкретних видів випробувань, вимірювань та калібрування відповідно до стандартів. Хоча процес акредитації не є обов'язковим, керівництво виробників зацікавлене у наявності конкурентоздатної та незалежної лабораторії. Це дозволяє здійснювати сертифікаційні випробування та успішно виступати на міжнародному ринку.

Мета акредитації полягає у створенні єдиної технічної стратегії у сфері оцінки відповідності, що дозволяє споживачам максимально довіряти результатам такої діяльності та сприяє взаємному визнанню на міжнародному рівні. Україна має нормативні акти, які регулюють процес акредитації випробувальних лабораторій. Державний стандарт України ISO 17025 виступає основою для оцінки їх діяльності. Перед поданням заявки на акредитацію випробувальні лабораторії повинні впровадити цей стандарт у свою роботу, привести всю документацію у відповідність та забезпечити навчання персоналу.

Для реалізації заходів щодо досягнення лабораторією відповідності ДСТУ ISO/IEC 17025 передбачають наступні етапи:

- розробка Положення про лабораторію, посадових інструкцій персоналу;
- розробка документів системи якості та впровадження системи якості в діяльність лабораторії;
- навчання персоналу, організація стажування, набуття практичних навичок;
- підготовка приміщень та організація робочих місць;
- погодження паспорту лабораторії.

При акредитації за стандартом ISO/IEC 17025:2017 розробка Положення про лабораторію та посадових інструкцій персоналу є важливою складовою процесу. Ці документи визначають структуру [1], функції та відповідальність персоналу лабораторії. Положення про лабораторію має включати інформацію про цілі та завдання лабораторії, її організаційну структуру, процедури контролю якості, вимоги до обладнання та документації. Посадові інструкції персоналу повинні чітко визначати обов'язки та відповідальність кожного співробітника лабораторії, включаючи їхні кваліфікаційні вимоги та процедури навчання. Всі ці документи допомагають забезпечити виконання вимог стандарту та збереження високого рівня якості та компетентності лабораторії [2].

"Положення про випробувальну лабораторію" містить такі важливі визначення:

1. Опис юридичного статусу лабораторії, включаючи її адміністративну підпорядкованість та структурну схему.
2. Загальну мету та завдання лабораторії, що визначають її функції, права, обов'язки та відповідальність.
3. Організаційну структуру лабораторії, включаючи схему управління підрозділами, підпорядкованість та взаємодію з іншими підрозділами підприємства.
4. Відомості про персонал, випробувальне обладнання, засоби вимірювальної техніки та приміщення лабораторії.

5. Перелік методів випробувань, які закріплені за лабораторією.

6. Взаємодію зі сторонніми організаціями та можливі посилання на "Паспорт" лабораторії.

Зважаючи на вимоги стандарту ISO/IEC 17025:2017 для випробувальних лабораторій, важливим аспектом є система навчання персоналу, організація стажування та набуття практичних навичок. Це передбачає наявність плану навчання, який враховує функції та обов'язки кожного працівника в лабораторії. Крім того, важливо проводити тренінги, семінари та курси з метою підвищення кваліфікації персоналу у методиках вимірювань, процедурах випробувань та внутрішньому контролю якості. Лабораторія також повинна забезпечити можливість стажування для персоналу з метою отримання практичних навичок та відпрацювання процедур, включених до системи якості. Крім того, важливо систематично оновлювати навчальні матеріали, враховуючи зміни у методиках вимірювань та випробувань, а також вимоги стандарту ISO/IEC 17025:2017.

Технічна компетентність [3] випробувальної лабораторії визначається наявністю наступних ключових елементів:

- Кваліфікований персонал з відповідними навичками та досвідом.
- Необхідні засоби для вимірювань, випробувань та контролю.
- Відповідні приміщення з умовами, які відповідають вимогам.
- Документовані робочі процеси та нормативно-методичні документи на методи і засоби вимірювань.
- Система забезпечення якості вимірювань, яка включає в себе процеси контролю та управління якістю.

Етап розробки документів системи якості для випробувальної лабораторії передбачає створення необхідних документів, таких як настанови з якості, процедури, методики, інструкції, протоколи та форми документів.

Для досягнення відповідності стандарту ISO/IEC 17025:2017 важливо провести ряд етапів, включаючи розробку положення про лабораторію та посадових інструкцій персоналу, розробку документів системи якості, навчання персоналу, підготовку приміщень та організацію робочих місць, а також погодження паспорту лабораторії.

Положення про лабораторію та посадові інструкції персоналу визначають структуру, функції та відповідальність персоналу, а документи системи якості допомагають забезпечити виконання вимог стандарту та збереження високого рівня якості та компетентності лабораторії.

Під час сертифікації випробувальна лабораторія повинна забезпечувати об'єктивність у взаємодії з замовником, незалежність у прийнятті рішень, захищеність від будь-якого впливу з боку вищих керівників, особливо якщо лабораторія належить до фірми, що має впливових клієнтів, і також мати відповідну технічну компетентність.

Даний стратегічний підхід буде впроваджений при акредитації випробувальної лабораторії ТОВ «НД Продакшн», компанії, яка є експертом у питаннях автоматизації нафтогазових комплексів, станцій зарядження електромобілів (екологічно чистого транспорту) і іншого обладнання і, яка впевнено лідирує у цих питаннях займаючи 60% ринку України.

Список посилань

1. ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2017 Загальні вимоги до компетентності випробувальних лабораторій.
2. ISO 9001:2015 Quality management systems Requirements [https \[Електронний ресурс\]](https://www.iso.org/standard/62085.html). – Режим доступу: www.iso.org/standard/62085.html
3. Документування системи управління якістю. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/5433265/page/5/>

УДК 621.01

Четербух О.Ю., докт. філософії

Українська академія друкарства, м. Львів, ostap.uad@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ДЕФОРМАЦІЙ КУЛАЧКІВ ТА РОЛИКІВ В ПЛОСКОШТАНЦЮВАЛЬНОМУ ПРЕСІ

Як демонструє світова практика, для виготовлення розгорток картонного пакування найбільшого використання набули плоскоштанцювальні преси, які характеризуються наступними перевагами: найвищою якістю виготовлення продукції, оскільки дві пресові пари (плоскоштанцювальна форма та натискна плита) є плоскими, що унеможлиблює спотворення картонної заготовки під час виконання технологічної операції штанцювання; високою продуктивністю роботи (до 8000 примірників/год.); найменшою вартістю виготовлення штанцювальних форм; можливістю виготовляти розгортки картонного пакування практично будь якої конфігурації. [1]

Одним з найбільш важливих критеріїв для надійної та безвідмовної роботи плоскоштанцювального преса є здатність чинити опір зміні форми і геометричних розмірів деталей під дією навантажень та стійкість їхніх робочих поверхонь до спрацювання протягом тривалого періоду експлуатації, що спричинено значною продуктивністю роботи такого устаткування, високими технологічними навантаженнями та жорсткими вимогами щодо точності, як продукції, що виготовляється, так і роботи устаткування.

Надійність є комплексною властивістю, що залежить від призначення об'єкта, який розглядається, і умов його експлуатації та складається із сукупності чинників та характеристик. Тому, до питання надійності необхідно підходити всесторонньо та з урахуванням всіх можливих чинників. [2]

Оскільки в механізмі привода натискної плити плоскоштанцювального преса [3] використовуються кулачки та ролики, які є виконавчими елементами конструкції та знаходяться в постійному контакті, то доцільно виконати дослідження величини деформацій їхніх контактних робочих поверхонь.

Враховуючи конструкційні особливості механізму привода натискної плити плоскоштанцювального преса для дослідження величини деформацій кулачків та роликів, які в ньому використовуються, можна використати методику аналітичного розрахунку, що наведена в роботі [4].

Для визначення розміру півширин смужки контакту ролика та кулачка, згідно методики [4], використовуємо вираз:

$$a = 1,522 \cdot \sqrt{\frac{F_k}{b \cdot E} \cdot \frac{R \cdot r}{R + r}} \quad (1)$$

де F_k – максимальні значення зусиль, які діють на кулачок;

b – ширина кулачка;

E – границя міцності обраного матеріалу;

R – радіус-вектор кулачка, при якому виникають максимальні значення зусиль, що на діють на нього;

r – радіус ролика.

Список посилань

1. Регей І.І. Споживче картонне пакування (матеріали, проектування, обладнання для виготовлення): навч. посіб. – Л.: Укр. академ. друкарства, 2011. 144 с.
2. Чернець М.В. та ін. Дослідження механізмів та трибо технічних систем. – Дрогобич: Коло, 2003. 440 с.

3. Прес штанцювального автомата: пат. 151852 України: B26F 1/40 (2006.01). Четербух О.Ю., Шахбазов Я.О.; заявник та власник пат. Укр. академ. друкарства. № 2022 00766; заявл. 21.02.2022; опубл. 21.09.2022. Бюл. № 38. 4 с.

4. Писаренко Г.С. та ін. Опір матеріалів: підруч. – К.:Вища шк., 2004. 655 с.

УДК 621.01

Четербух О.Ю., докт. філософії

Українська академія друкарства, м. Львів, ostar.uad@gmail.com

ВСТАНОВЛЕННЯ НЕОБХІДНОЇ ТВЕРДОСТІ РОБОЧИХ КОНТАКТНИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ

Надійна і безвідмовна робота вузла та устаткування можлива за умови збереження заданих геометричних розмірів та форми, тобто при визначених величинах деформацій та спрацювання робочих контактних поверхонь деталей.

Під час проектування нового чи удосконаленні відомого устаткування необхідно особливу увагу приділити аналітичним дослідженням елементів конструкції на міцність та довговічність, зокрема встановлення механічних властивостей матеріалів та сплавів по твердості робочих контактних поверхонь, з подальшим проведенням відповідних експериментальних досліджень.

Ці дослідження є надзвичайно важливими для устаткування, які характеризуються значними технологічними навантаженнями, великою продуктивністю роботи, високою точністю виготовлення продукції, а також в яких строго регламентовані геометричні розміри переміщення виконавчих елементів.

Таким устаткуванням, зокрема є плоскоштанцювальні преси, які використовуються для виготовлення розгортки картонного пакування. В результаті конструктивних особливостей такого устаткування (всі різальні інструменти, які змонтовані на штанцювальній формі, всією довжиною одночасно контактують із картонною заготовкою) та його швидкодією роботи (до 8000 примірників/год.) під час виконання технологічної операції штанцювання картонних заготовок виникають великі значення технологічних зусиль, які майже миттєво досягають свого максимального значення за невеликий проміжок часу. [1]

Для встановлення необхідної твердості НВ робочих контактних поверхонь деталей за границею міцності матеріалу можна прийняти відповідне значення за ДСТУ 6506-4:2019 [2], або розрахувати аналітично використавши вирази, які наведені в роботі [3].

Для підвищення твердості та опору до спрацювання робочих контактних поверхонь деталей рекомендовано виконати хіміко-термічну обробку.

Також, рекомендовано використати метод механічної обробки деталей, який наведений в праці [4]. За результатами експериментальних досліджень встановлено, що він забезпечує зниження залишкових напружень в поверхневих шарах, в середньому, в 10 разів та підвищення ресурсу роботи деталей на 25-50%; також спостерігається покращення якості обробленої поверхні.

Список посилань

1. Регей І.І. Споживче картонне пакування (матеріали, проектування, обладнання для виготовлення): навч. посіб. – Л.: Укр. академ. друкарства, 2011. – 144 с.
2. ДСТУ 6506-4:2019. Матеріали металеві. Випробування на твердість по Брінеллю. Частина 4. Таблиця значень твердості. [Чинний від 2019-10-30]. Вид. офіц. Київ, 2019. – 18 с.
3. Писаренко Г.С. та ін. Опір матеріалів: підруч. – К.: Вища шк., 2004. – 655 с.
4. Шахбазов Я.О., Широков В.В., Четербух О.Ю., Грінер І.М., Василів Х.Б., Мальников О.В. Оцінювання залишкових напружень під час механічного оброблення деталей машин. Фізико-хімічна механіка матеріалів. 2022. – Том 58, № 5. – С. 122-127.

УДК 621.9-1

Биков М.С., аспірант
Дегтярьов І.М., канд. техн. наук, доцент
Нешта А.О., канд. техн. наук, ст. викладач
Щербина М.В., студент

Сумський державний університет, м. Суми, m.bykov@tmvi.sumdu.edu.ua

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗРОБЛЕННЯ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ЗАТЯГУВАННЯ СТИКУ ВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ МЕТОДОМ ОСЬОВОГО ВИДОВЖЕННЯ ШПИЛЬОК

У [1] було виконано аналіз затягування різьбових з'єднань двома варіантами та встановлено, що оптимальним рішенням є попереднє прикладення встановленого осьового зусилля до шпильки і фіксація цього положення гайкою, що нагвинчується без прикладання крутного моменту при контакті з поверхнею кришки.

Наразі у насособудуванні для створення осьового зусилля на шпильці переважно застосовують домкрат тензорні або як їх ще називають шпильконатягувачі. Дані пристрої призначені для загвинчування та відгвинчування гайок з тарованим зусиллям у важко навантажених різьбових з'єднаннях шляхом осьового видовження шпильок при виконанні монтажно-демонтажних та ремонтних робіт у всіх галузях промисловості. Вони не викликають скручування довгих болтів та шпильок без пошкодження зовнішніх частин стикованих поверхонь та ущільнень.

Робота тензорного домкрата заснована на попередньому розтягуванні шпильки або болта із зусиллям, рівним необхідному зусиллю затягування різьбового з'єднання та подальшим закручуванням гайки без докладання зусилля до упору в опорну поверхню. Після цього навантаження зі шпильки знімається і вона намагається повернутися до нерозтягнутого стану, таким чином створюючи тиск у витких різі, а значить затягування з'єднання. Більшість тензорних домкратів містять насоси високого тиску, що і здатні створити ефект розтягнення шпильки, проте кріплення їх на шпильці є досить громіздким, що збільшує час на установлення пристрою і відповідно собівартість складання насоса в цілому.

Тому перспективним варіантом, який здатен забезпечити необхідну розтягуючу силу є застосування у приводі розтягнення циклоїдних редукторів двох чи трьох ступеневих, із загальним передатним відношенням від 1:400 і до 1:1000. Таким чином це дасть змогу відійти від гідравлічних насосів високого тиску, що часто виходять з ладу та дають нерівномірний тиск на початку та в кінці розтягнення.

Циклоїдні редуктори у комплекті з швидко переналагоджуваною кріпильною частиною здатні спростити конструкцію, підвищити її довговічність, а також виконувати рівномірне поступове розтягнення шпильки з однаковою силою на всьому проміжку видовження, що не суперечить закону Гука.

Швидко переналагоджувана кріпильна частина має представляти собою модуль, який є швидкозмінним для можливості застосування для різьб певного діапазону розмірів. Також при розробленні необхідно використовувати сучасні матеріали, що надають можливість виготовити міцні захвати, які будуть добре працювати на розтягнення та мати малу вагу, що особливо важливо при виконанні ремонтних та обслуговуючих безпосередньо робіт на місцях встановлення насосів.

Список посилань

1. Биков М. С., Нешта А. О., Дегтярьов І. М., Самардак М. П. Аналіз способів затягування стику кришки та корпусу відцентрових насосів та контролю видовження шпильок. Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем - 2022 : тези доповідей . Чернівці : Національний університет «Чернігівська політехніка», 2022. С. 133.

УДК 621.9-1

Плис В.С., аспірант
Дегтярьов І.М., канд. техн. наук, доцент
Метенко О.М., студент

Сумський державний університет, м. Суми, v.plys@tmvi.sumdu.edu.ua

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗРОБЛЕННЯ ШВИДКОПЕРЕНАЛАГОДЖУВАНИХ ГНУЧКИХ ВЕРСТАТНИХ ПРИСТРОЇВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПРИНЦИПУ РОЗТИСКНОЇ ЦАНГИ

Відцентрові насоси знаходять широке застосування в різних сферах і є найпоширенішим різновидом динамічної гідравлічної техніки на сьогодні. Найбільшим попитом вони користуються у хімічній, енергетичній, металургійній, нафтопереробній, харчовій промисловості, а також у водопостачанні та водовідведенні. Такий широкий діапазон застосування обумовлений чудовими технічними характеристиками, а також конструктивними перевагами в порівнянні з іншими типами насосів. Основна задача відцентрових насосів – перекачувати рідини або рідкі суміші різної консистенції, а також створювати і підтримувати необхідний тиск в робочих системах. Насоси можуть мати дуже різні габарити і конструкцію в залежності від типу та призначення, але однаковий принцип дії і основні компоненти – корпус, вал, робоче колесо, апарат спрямовувальний, ущільнення вала, підшипники і т.д. Варто зазначити, що на якість кінцевої продукції, обсяг виробництва та собівартість продукції чи послуг впливають технічні характеристики насоса та його надійність. Ресурс насоса залежить від терміну експлуатації основних деталей, до яких відносяться спрямовувальний апарат і робочі колеса. Найбільш трудомісткими, через наявність у конструкції складнопрофільних каналів, є апарати спрямовувальні, особливо якщо канали обробляються не в одній площині, а мають більш складну форму профілю. Період їх безвідмовної роботи досить короткий і залежить від умов експлуатації і середовища, яке перекачує насос.

Апаратів спрямовувальних треба виготовляти велику кількість. Технологія виготовлення подібних деталей дуже складна і вимагає інноваційних рішень. Раніше їх обробляли на універсальних верстатах із застосуванням поворотного столу і синусної плити, на що витрачалось дуже багато часу. Зараз верстати з ЧПК набули розповсюдження і дозволяють це робити без особливих проблем по трьом і більше координатам за потреби, але виникає інша проблема – надійного закріплення апаратів спрямовувальних, а також інструментальної доступності обробки, яка обмежена самою конфігурацією апарата. Доступ до всіх каналів одночасно дуже проблематичний, тому що апарат повинен бути надійно закріплений, а це викликає певні суперечності. Для забезпечення інструментальної доступності необхідно як мінімум три рази робити перезакріплення в залежності від габаритів апарату. Також існують дуже тонкостінні апарати, які майже немає за що затискати і необхідно використовувати спеціальні підкладки для збільшення площі контакту прихвата. При такому варіанті закріплення підкладки розподіляються на вже оброблених поверхнях декількох сусідніх каналів, а лише потім використовується прихват. При використанні вищезазначеного способу майже неможливо уникнути деформацій. Тому, враховуючи досвід проектування гнучких автоматизованих верстатних пристроїв і обробки деталей за один установ [1,2], є пропозиція спроектувати верстатний пристрій, який би дозволив закріплювати заготовку за ті поверхні, які не обробляються на даній операції. При цьому необхідно забезпечити максимальну інструментальну доступність і унеможливити контакт інструменту з пристроєм під час обробки, а значить зробити так, щоб жоден елементи пристрою не виходив за габаритні межі доступу до каналів. Враховуючи конструкцію спрямовувального апарату і технологічний процес його виготовлення, який передбачає спочатку чорнову токарну обробку, потім фрезерування

каналів, а вже потім обробку посадочних місць, доцільно для забезпечення безперешкодної обробки усіх каналів використовувати розтискний пристрій. Розтискання здійснювати за отвір апарату. При цьому буде реалізована установча база на торці та подвійна опорна база на отворі, також тут же на отворі будуть рівномірно розподілені сили закріплення (рис. 1), яке відбувається за рахунок розклинювання конусом розрізної цанги по всій площі отвору та легкого притягнення його вниз. В якості приводу може бути запропоновано або ручний привід, де необхідно затиснути лише одну гайку високим моментом – для одиничних та дрібносерійних виробництв, або ж пневматичний привід, де шток буде рухатись, і відповідно буде відбуватись затиск, за рахунок подачі повітря під тиском. Альтернативою також може бути компактний електричний привід з високими передатними відношеннями, який, можливо, буде розглядатися в майбутньому дослідженні.

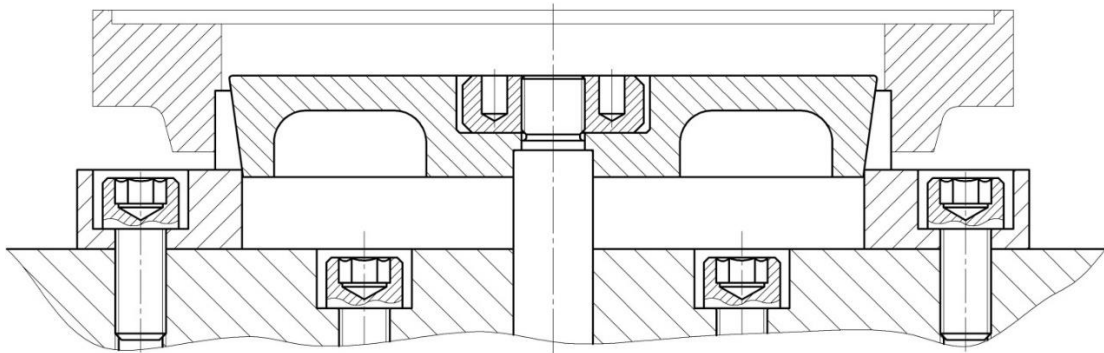


Рис. 1 – Ескіз установлювально-затискних елементів пропонованого пристрою

Наступними нашими завданнями буде дослідити запропоновану конструкцію методами чисельного моделювання та оптимізації. Тема майбутнього дослідження є перспективною, бо автоматизований швидко переналагоджуваний верстатний пристрій, в якому розтискна цанга і притискний конус змінні, може бути використаний для ширшої номенклатури деталей заміною цангової оправки на іншу по посадочним місцям. Всю номенклатуру апаратів ми не перекриємо, але, з урахуванням рекомендацій [1, 2], необхідно розрахувати габаритні розміри деталей, для обробки яких можна використовувати спроектований верстатний пристрій.

Список посилань

1. Ivanov, V., Botko, F., Dehtiarov, I., Kočiško, M., Evtuhov, A., Pavlenko, I., & Trojanowska, J. (2022). Development of flexible fixtures with incomplete locating: Connecting rods machining case study. *Machines*, 10(7), 493. <https://doi.org/10.3390/machines10070493>
2. Ivanov, V., Dehtiarov, I., Zaloga, V., Kosov, I., & Savchuk, V. (2020). Increasing productivity of connecting rods machining. In V. Ivanov, et al. (Eds.), *Advances in design, simulation and manufacturing III* (pp. 264-275). Lecture Notes in Mechanical Engineering. https://doi.org/10.1007/978-3-030-50794-7_26

УДК 621.9.02

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

Приазовський державний технічний університет, м. Маріуполь (м. Дніпро)

aleshenko1954@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ ПОЗИЦІОНУВАННЯ МАШИН ТЕРМІЧНОГО РІЗАННЯ З ЧПК І МЕТОД ЇЇ ПІДВИЩЕННЯ

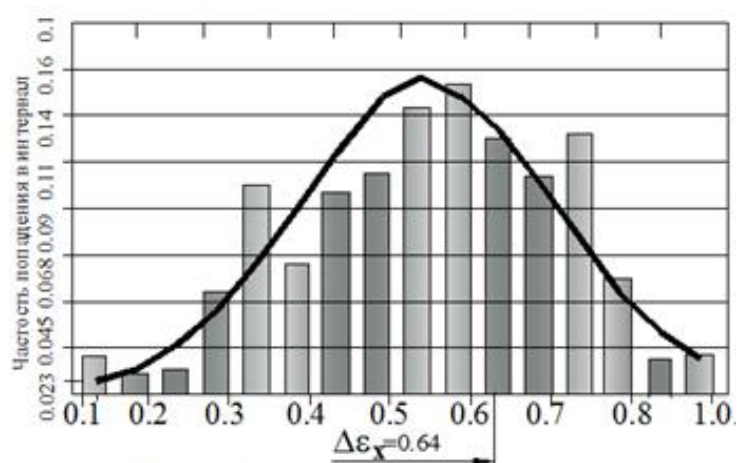
Сучасна машина термічного різання – це верстат із числовим програмним керуванням (ЧПК). Усі режими термічного різання мають особливості алгоритму роботи, який визначаються десятками величин - параметрів, заданими у процесі налагодження на

конкретну операцію чи розрахованими автоматично у процесі роботи устаткування. Системи ЧПК мають у своєму програмному забезпеченні прикладні бібліотеки цих параметрів та здатні забезпечити якісне керування технологією різання. Група параметрів призначена компенсувати похибку позиціонування апаратно-програмним шляхом, записавши за допомогою спеціальної програми у відведений для цієї мети адресний простір ОЗП ЧПК числові похибки у фіксованих точках кожної осі. Алгоритм роботи приводів верстата побудований так, що з координатами точок переміщення супорта, заданими в програмі траєкторії різання, складаються раніше записані в ОЗП ЧПУ односторонні відхилення від заданого положення (поправки) по кожній осі.

Основними вузлами машин термічного різання з ЧПУ є (рис. 1, а): стіл 1, рухомий портал 2 із супортом 3, по напрямних якого вертикально - вісь Z переміщається пальник 4 (рис 1, а). Лист заготовки встановлюється та закріплюється на столі верстата. Рух різання металу здійснюється шляхом двохкоординатного переміщення порталу по напрямних столу - вісь X і супорта з пальниками по напрямних власне порталу вісь Y. Пальники у верхньому положенні при холостому ході і опускаються для режиму "обробка".



а)



б) Інтервали вимірювань вздовж осі X,

б)

Рис. 1 – Компонівка машини термічного різання (а) та гістограма розподілу та крива нормального розподілу похибки позиціонування по осі X (б)



Рис. 2 – Вимірювання похибки позиціонування

Поставлено завдання. Дослідити точність позиціонування, тобто переміщення супорта машини термічного різання з ЧПК і запропонувати метод зниження її похибки.

Статистичні дані похибки позиціонування верстата визначалися пружинною вимірювальною голівкою (рис. 2) - мікатором Fainger 01/M10 (ціна поділу 0.01 мм). Роботи проводилися на машині, включеній до технологічної лінії після виконання на ній всього комплексу робіт з технічного обслуговування та регулювання електромеханічного слідкуючого приводу. Для вирішення поставленої задачі проводилася серія незалежних спостережень (вимірювань відхилень по кожній осі X і Y) випадкової величини (похибки позиціонування) в тих самих умовах. Для цього до індикаторної стійки на столі машини підводився супорт верстата до торкання

ніжкою індикатора. "Скидаємо" індикацію на "0". Відводимо супорт по осі, що вимірюється, далі з ПК задаємо переміщення на швидкому ході у встановлену нульову точку. Записуємо показання індикатора. Повторюємо вимірювання $n=30$ разів. За описаною схемою випадкову вибірку відхилень позиціонування отримуємо для двох осей.

Для середнього значення будувалися гістограми (рис. 1, б) для інтервалів групування експериментальних даних, з розрахунком ймовірності попадання результатів вимірювань (частини) в кожен з інтервалів. На кожному інтервалі будується прямокутник висотою рівної частоти влучення вимірювань у цей інтервал. Отримано розрахункові гістограми розподілу та криві нормального розподілу похибки позиціонування порталу по осі X (рис. 1, а) та по осі Y.

Математичні очікування похибок по кожній осі, як найбільш ймовірні їх значення розраховані засобами пакета MathCAD.

Якщо на етапі підготовки виконання операції, отримані значення похибок записати в системну область пам'яті ЧПУ верстата з протилежними знаками, то при виконанні швидких переміщень (позиціонування) вони будуть автоматично «плюсуватися» до переміщень, записаних у керуючу програму.

Таким чином відбуватися компенсація похибок, що виникає за рахунок інерційності мас, що переміщуються, люфтів в зубчастих з'єднаннях і ін., Тим самим підвищується точність позиціонування, отже і точність порізки заготовки.

Визначений метод дозволяє встановити функціональний зв'язок вихідної точності фасонної поверхні з параметрами допустимих відхилень статичної налагодження та підналагодження, а також забезпечити підвищення точності позиціонування за рахунок малодискретних векторних поправок, масив значень яких записаний у системну область пам'яті ЧПК верстата на етапі підготовки виконання операції.

Запропонована методика дозволяє прогнозувати та враховувати у вигляді системних поправок ймовірне значення похибки позиціонування верстата у кожній точці координатної площини. Таким чином відсоток ймовірнісних похибок, що супроводжують процес різання знижується, тому що частина їх нівелюється ще в процесі налагодження на операцію.

УДК 621.375.826:621

Романенко В.В., канд. техн. наук, доцент

Кагляк О.Д., канд. техн. наук, доцент

Блощин М.С., канд.техн. наук, доцент

Романенко М.В.,

Євсюкова Є.В., студентка

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

romvvv@gmail.com

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ГАЗОЛАЗЕРНОЇ РІЗКИ З ВИГЛАДЖУВАННЯМ ПОВЕРХНІ РІЗІВ

Лазерне різання, особливо тонких листів з вуглецевих сталей, є широко використовуваною технологією в промисловості. Процес лазерного різання включає в себе використання коаксіального потоку допоміжного газу, що реалізує газолазерне різання (ГЛР). Після ГЛР поверхня різів являє собою нерівності у вигляді напівкруглих канавок або рифлень, так званих, борозен. Ці борозни виникають через особливості фокусування лазерного променя, вплив швидкості різання на процес формування різів та характер видалення рідкого металу з порожнини різів. Поверхню різів можна розділити на три зони: верхню з борознами шириною від 0,1 до 0,2 мм, розташовану в області входу лазерного променя, перехідну зону та нижню, що крім борозен містить також відкладення

затверділого рідкого металу та шлаку. Загалом, поверхня лазерного різку має характерний рельєфний візерунок з різною висотою мікронерівностей, залежно від розташування їх відносно верхньої поверхні заготовки.

В процесі газолазерної різки зазнає термічного впливу край вирізаної деталі, що веде до утворення на цьому краї зони термічного впливу (ЗТВ). ЗТВ представляє собою тонкий шар матеріалу зі зміненою мікроструктурою. Висока температура, яка характерна для ГЛР також викликає термічні напруження в цій зоні. Додаткові проблеми виникають внаслідок наявності крапель затверділого матеріалу у вигляді ґрату на нижніх кромках різку, що потребує додаткової операції очистки. Тобто, поверхні, отримані після ГЛР потребують додаткової обробки.

У різних галузях машинобудування протягом кількох десятиліть успішно використовується метод вигладжування кульками. Цей метод дозволяє отримувати поверхні з покращеними властивостями такими, як зміцнений стан, низька шорсткість, втомна міцність та висока стійкість до абразивного зношування. Крім того, кулькове вигладжування створює залишкові стискаючі напруження у поверхневому шарі, що є важливим ефектом для подальшої експлуатації виробів.

Нами була застосована та вивчена комбінована технологія, коли отримані різні в сталі 45 піддавалися подальшому вигладжуванню за допомогою кулькового інструменту (рис. 1).

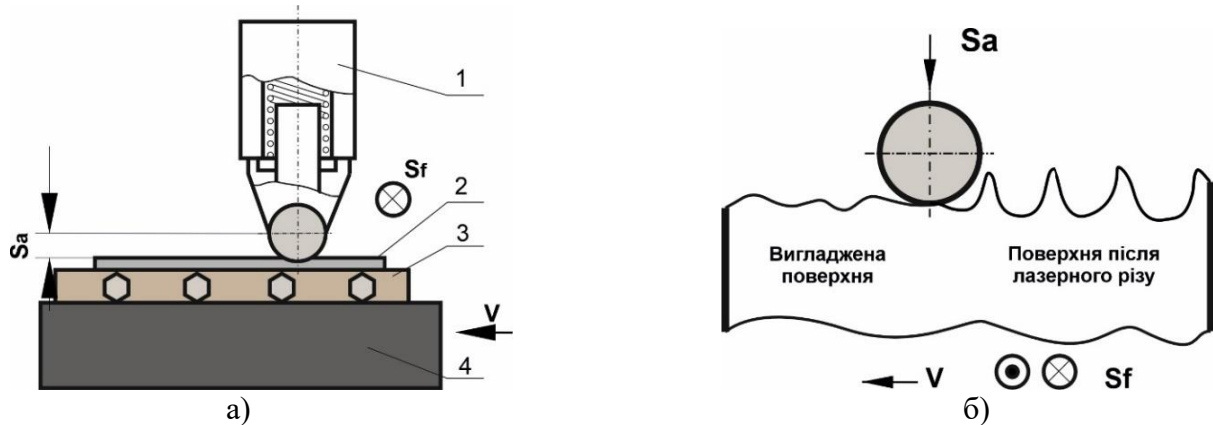


Рис. 1 – Схема реалізації процесу вигладжування кулькою поверхні різку після ГЛР а) та механізм такого вигладжування б).

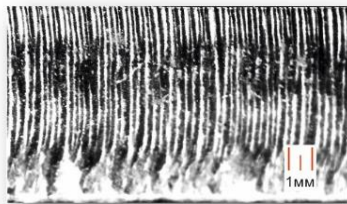
Вигладжувальний інструмент 1 (рис. 1, а) був закріплений у шпинделі фрезерного верстата, а вирізана лазером плоска деталь 2 закріплювалась лежцями 3, які були розміщені на експериментальному столі 4. Стіл рухався зі швидкістю V , примушуючи кулю для вигладжування котитися по поверхні різку, що призводило до деформації вершин нерівностей на поверхні лазерного різку та зменшенню глибини мікроканалов (борозен) його поверхні (рис. 1, б). Зусилля притискання (натяг) забезпечувалося за рахунок стискання пружини при переміщенні кулькового інструменту в напрямку деталі з інтервалом S_a в 0,1 мм. Після кожного проходу кулькового інструменту по поверхні різку стіл 4 здійснював поперечний рух на відстань, що відповідав кроку поперечного переміщення S_f .

В результаті експериментів було виявлено помітне зменшення значень параметрів шорсткості R_a та R_z поверхні лазерних різів після вигладжування. Так, при переміщенні кулькового інструменту в напрямку деталі в діапазоні $S_a = 0,1 \dots 0,4$ мм, що відповідало збільшенню зусилля притискання кульки до поверхні різку в межах 250...950 Н мало місце значне зниження параметрів шорсткості від $R_a = 4,65$ мкм та $R_z = 51,0$ мкм (для поверхні різку після ГЛР) до $R_a = 2,3$ мкм та $R_z = 22,5$ мкм – для поверхні після вигладжування. Встановлено також, що зміна зусилля притискання в названих вище межах призводила до прирісту мікротвердості в ЗТВ вигладженої поверхні різку на $\Delta HV = 40 \dots 50$ одиниць та

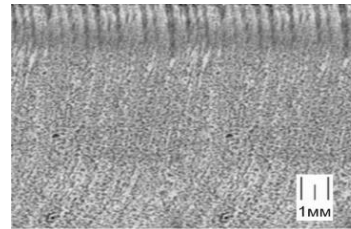
збільшення товщини зміцненого шару на $gh = 20...25$ мкм. Крім того, на поверхні різ у результаті вигладжування було отримано зміну розтягуючих залишкових напружень на стискаючі з величини $\sigma_{max} = +130$ МПа до $\sigma_{max} = -300...375$ МПа.

Виконані експериментальні дослідження показали також, що можна рекомендувати наступні оптимальні режими вигладжування поверхонь різів, отриманих при ГЛР сталі 45 кулькою стандартного діаметра 10 мм такі, як - величина натягу $Sa = 0,25...0,30$ мм та величина кроку поперечної подачі $Sf = 0,15...0,20$ мм.

Поверхня різ у після ГЛР, що має вигляд, приведений на рис.2, а, після вигладжування кульковим інструментом на запропонованих вище оптимальних режимах вигладжування набуває вигляду, що представлений на рис. 2, б.



а)



б)

Рис. 2 – Вигляд поверхні різ у після ГЛР а) та після кулькового вигладжування б).

Таким чином, дослідження можливості використання методу поверхневого пластичного деформування кульковим вигладжуванням для підвищення експлуатаційних параметрів поверхні після газолазерної різки сталі 45 показало, що цей метод можна рекомендувати, як ефективний завершальний крок у обробці таких деталей.

Проведене вдосконалення лазерного різання металів за допомогою допоміжного кулькового вигладжування показало, що такий підхід знижує шорсткість поверхні вирізаних деталей порівняно з результатами, отриманими лише лазерним різанням. Кулькове вигладжування також змінює структуру матеріалу крайок різ у та створює стискаючі залишкові напруження в поверхневому шарі різ у. Це все разом дозволяє отримати деталь з більш "функціональною" поверхнею, порівняно з деталлю, виготовленою лише ГЛР.

Як результат, кулькове вигладжування поверхонь різів можна рекомендувати як фінішну операцію після газолазерної різки, яка при невисоких додаткових капітальних затратах дає можливість значно покращити експлуатаційні характеристики виготовлених в такий спосіб деталей.

УДК 621.7

Чухліб В.Л., докт. техн. наук, професор
Колісник К.Д., аспірант

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
profdnepro@gmail.com

ЯКІСТЬ КОВАНИХ ГАКІВ

Тема дослідження стосується технології отримання кованих гаків великої вантажопідйомності для підвищення їх якості шляхом дослідження технологічних режимів кування.

В роботі проведено огляд якості кованих гаків великої вантажопідйомності. Гаки виконують вантажно-розвантажувальні роботи і витримують на собі всю масу вантажів [1]. Тому ковані гаки великої вантажопідйомності повинні мати високу якість і надійність. Виготовлення гаків методом кування являє собою складний процес і цей процес необхідно виконувати за окремими вимогами.

Основними технологічними операціями кування гаків, які забезпечують високі механічні показники якості при їх виробництві, є операції осаджування і протягування. При протягуванні довжина заготовки збільшується за рахунок зменшення її поперечного перерізу. Осаджування застосовують для збільшення поперечного перерізу заготовки за рахунок зменшення її висоти. При виконанні цих операцій здійснюється максимальна формозміна, яка потрібна для проробки литої структури злитка [2]. Досі невідомо, яка послідовність виконання операцій осаджування і протягування при куванні гаків є раціональною та як повинна відбуватися послідовність їх виконання і яким чином вони впливають на якість кованих гаків. Зробивши аналітичний огляд наукових робіт, можна зробити деякі висновки. Наприклад, є роботи в яких вважається основною операція протягування [3], а є роботи в яких основною є осаджування [4], [5]. Виходячи з результатів власних досліджень можна зробити висновок, що за рахунок виконання розроблених технологічних умов виготовлення кованих гаків показники їх якості можуть бути поліпшені шляхом виконання режимів кування гаків з раціональним комбінуванням ковальських операцій протягування та осаджування.

Список посилань

1. Вплив форми кованого однорогового гака на його ефективність / Г. Д. Портнов, А. А. Тихий, В. В. Дарієнко, В. В. Пукалов // Центральнотраїнський науковий вісник. Технічні науки : Зб. наук. пр. – Кропивницький : ЦНТУ, 2021. – Вип. 4 (35). – с. 127 – 133.
2. Основи творення машин / М.Я. Бучинський, О.В. Горик, А.М. Чернявський, С.В. Яхін (За редакцією О.В. Горика). – Харків : Вид-во «НТМТ», 2017. – 448 с.
3. Development and investigation of resources-saving process of shafts forging. / S. B. Kargin // Die forging, Metallurgical and Mining Industry, 2015, № 1, p. 33-36.
4. Удосконалення технології виготовлення крупних поковок на основі використання нового способу осадження / Марков О. Є., Злигорев В. М., Іванова Ю. О., Лагер О. О., Дорофєєв В. О. // Обработка материалов давлением. ISSN 2076-2151. УДК 621.735.3 21.01.2020 р. №1 (50) с. 91-97.
5. Розробка нового способу осадження крупних злитків / О. Є. Марков, В. М. Злигорев, О. В. Герасименко, Л. І. Алієва, Р. Ю. Житніков, Є. В. Інчаков // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії, №31 (1306), 2018, с.56-60.

УДК 621.831.004.55

Мельник В.Б. канд. техн. наук, доцент
Леусенко Д.В., аспірантка
Титаренко В.В., магістр

Національний авіаційний університет, м. Київ, melnikvb408@gmail.com

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ВУЗЛІВ ТЕРТЯ АЕРОКОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ УТВОРЕННЯМ НА ПОВЕРХНЯХ ТЕРТЯ ФТОРВМІСНИХ НАНО - МІКРО - РОЗМІРНИХ АНТИФРИКЦІЙНИХ ПРОТИЗНОСНИХ СТРУКТУР

Забезпечення низького рівня тертя, зношування та контактної втоми поверхонь тертя деталей в аерокосмічній техніці ускладнено наявністю високих навантажень, швидкостей, розрідженістю або відсутністю атмосфери, ускладненнями або неможливістю застосування мастил. Однією з технологій, що враховує зазначені особливості зношування, є утворення на поверхнях тертя захисних фторвмісних плівок. Об'єктами первинного застосування та апробації розроблених технологій були: роликові та кулькові підшипники кочення компресора, турбіни та редуктора, а також зубчасті колеса планетарного редуктора турбостартера ТС-12М.

Фторвмісні плівки утворюються при фізико-хімічній взаємодії матеріалу поверхонь з мікрочастинками фторованого графіту (CF_x)_n, введеними у вигляді присадки в мастильний

матеріал. Під дією тертя частинки фторованого графіту руйнуються, оголюються зв'язки, що несуть вільні атоми фтору, які хімічно реагують з металевими, наприклад, сталевими поверхнями, і утворюють еластичний шар фторидів заліза FeF_3 , що істотно відрізняється за властивостями базової поверхні. Поверхні тертя при цьому стають гладкішими і міцнішими, витримують більше циклів навантаження до настання викришування, адсорбують мастило і відштовхують вологу - джерело водню, що руйнує поверхню.

Ефективність нової технології обумовлена високою термічною стабільністю та довговічністю плівок $(\text{CFx})_n$ порівняно з оксидами та іншими антифрикційними плівками.

Після взаємодії частинок $(\text{CFx})_n$ з металами на поверхні утворюється шар фторидів, наприклад FeF_3 , що мають дзеркальний вигляд, шорсткість на порядок нижче, ніж у оксидів, більш високу мікротвердість і в 1,2-1,5 рази більшу контактну витривалість. Поверхня набуває гідрофобності та високої хемосорбційної здатності. Технологія утворення фторвмісних захисних плівок пройшла успішні лабораторні та експлуатаційні випробування на авіаційних газотурбінних двигунах, автотранспортних двигунах внутрішнього згорання, газомоторних компресорах, у приводах та шпинделях металорізальних верстатів. Технологічний процес реалізується при обкатуванні пар тертя, коли в обкатну рідину вводять 1...5% порошку карбонофториду. Обкатку вузлів тертя проводять спочатку без навантаження, а потім при номінальній частоті обертання та навантаженні. Якість обкатки забезпечується контролем моменту тертя, мікротвердості, шорсткості, температури розігріву поверхонь, енергії активації (методом склерометрії), параметрів, зношування. Час обкатки уточнюється для кожного вузла тертя і становить від 5-10 хв до 0,5 год. Для номенклатури деталей вузлів тертя редуктора турбостартера ТС-12М рекомендована обробка у фторвмісних приробіткових рідинах підшипників і зубчастих коліс (табл.1).

Таблиця 1 – Номенклатура деталей

Найменування вузла турбостартера	Позначення підшипника	Кількість	Позначення зубчастого колеса	Кількість
Редуктор	85-276207P1	1	Шестерня планетарна (центрально)	1
	5-32206P8	1		
	5-42204Б4	6	Сателіт	3
	26-42209Л2Т1	2	Шестерня кільцева (зубчастий вінець)	1

Обкатку підшипників проводили поза виробом (у лабораторних умовах) на машині тертя МІ-1М за схемою, наведеною на рис. 1. Режими обкатки: частота обертання шпинделя $n_{\text{шп}} = 300 \dots 350 \text{ хв}^{-1}$; радіальне навантаження $P = 0,1 \dots 25 \text{ Н}$.

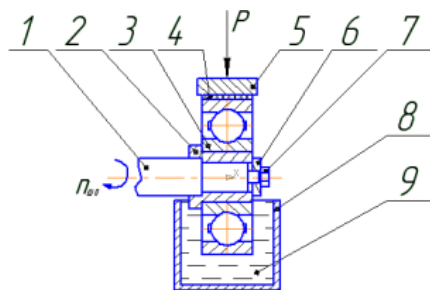


Рис. 1 – Схема дослідження підшипників на машині тертя МІ-1М:

- 1 – шпиндель; 2 – втулка; 3 – підшипник;
- 4 – прокладка фрикційна; 5 – гальмівна колодка; 6 – шайба; 7 – гвинт; 8 – ванна;
- 9 – припрацювальна рідина

Склад присадки $(\text{CFx})_n$ для обкатки деталей турбостартера: карбонофторид $(\text{CFx})_n$ - 30...33% мас; поверхнево-активні речовини ПАВ – 6,0-6,3% мас; гас – інше.

Обкатку зубчастих коліс проводили поза виробом на верстатах токарної групи за схемами, наведеними на рис. 2 і 3.

При обкатуванні зубчастих коліс із зовнішнім зачепленням (рис. 2) планетарна шестерня закріплюється в патроні токарного верстата. Сателіт встановлюється на оправці, що закріплена в різцетримачі супорта верстата.

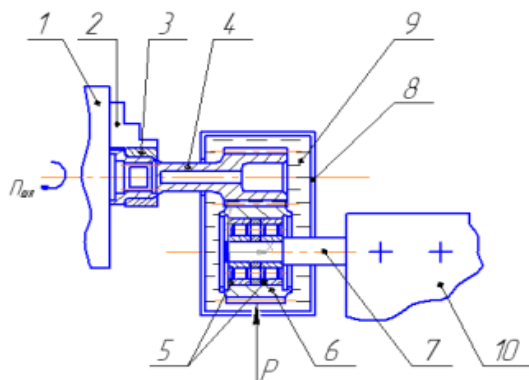


Рис. 2 – Схема дослідження зубчастих коліс.

Зовнішнє зачеплення: 1 – патрон;
2 – кулачок; 3 – полукільця; 4 – шестерня;
5 – підшипники; 6 – сателіт; 7 – оправка;
8 – ванна; 9 – припрацювальна рідина;
10 – супорт

При обкатуванні зубчастих коліс із внутрішнім зачепленням (рис. 3) зубчастий вінець кільцевої шестерні редуктора закріплюється у спеціальному пристрої, встановленому в патроні токарного верстата. Сателіт встановлюється на оправці в різцетримачі верстата. Режими обкатки: частота обертання шпинделя $n_{шп} = 100 \dots 1000 \text{ хв}^{-1}$; радіальне навантаження $P = 0,1 \dots 250 \text{ Н}$. Склад припрацювальної рідини і час обробки ті ж, що і для підшипників. Навантаження у зубчастому з'єднанні створюється поперечним переміщенням супорта токарного верстата. Контроль рівня навантаження здійснюється за тарованим лібмом верстата. Підшипники і зубчасті колеса, що пройшли обкатку і контроль параметрів, підлягали складанню і випробуванню у складі турбостартера.

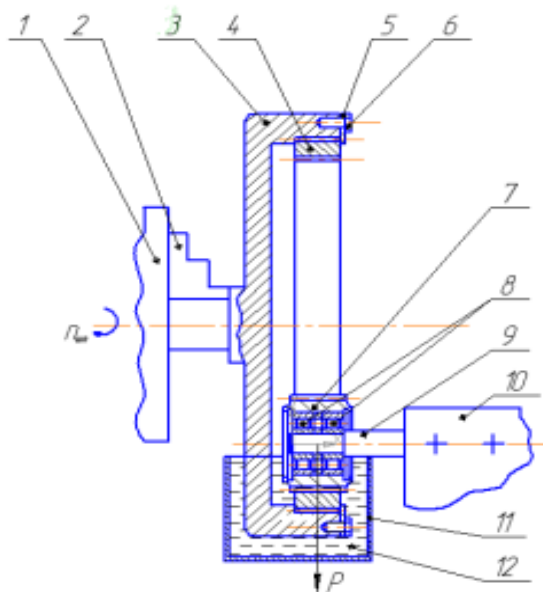


Рис. 3 – Схема дослідження зубчастих коліс.

Внутрішнє зачеплення: 1 – патрон;
2 – кулачок; 3 – пристосування;
4 – зубчастий вінець кільцевої шестерні;
5 – планка; 6 – гвинт; 7 – сателіт;
8 – підшипники; 9 – оправка; 10 – супорт;
11 – ванна; 12 – припрацювальна рідина

Узагальнення результатів лабораторних і стендових випробувань деталей турбостартера ТС-12М показало, що інтенсивність зносу при реалізації технології утворення фторвмісних захисних плівок на поверхнях тертя зменшується не менше ніж на 25-30%; число циклів навантаження до настання викришування в підшипниках зростає в 1,2-1,5 рази; навантажувальна здатність мастильного шару підвищується на 35...40%; навантаження заїдання збільшується до 2 разів.

УДК 621.77.01

Матюхін А.Ю., канд. техн. наук, доцент, зав. кафедри ОМТ

Бень А.М., старший викладач

Національний університет «Запорізька політехніка», benanna1985@gmail.com

Терентієв О.В., нач. техн. бюро

АТ «Мотор Січ», м. Запоріжжя

Арцибашева М.С., студентка

Національний університет «Запорізька політехніка», artsybascheva.m@ukr.net

АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ДЕФОРМАЦІЇ КІЛЕЦЬ ПІДШИПНИКА

Гаряча деформація дозволяє отримувати складні і точні деталі із різних марок сталей. При розробці технологічного процесу необхідно враховувати термомеханічні умови деформації: температуру початку та кінця обробки, загальні та допустимі ступені деформації, що визначають отримання поковок, без порушення суцільності. Ступінь деформації разом із температурою нагріву та охолодження, і швидкістю деформації визначають кінематику деформації відповідають за створення сприятливої структури поковок зі сталі. [1]

Метою дослідження є встановлення впливу температури деформації на схильність сталі ШХ15-Ш до крихкого міжзеренного руйнування.

В ході дослідження було виготовлено внутрішні кільця підшипника методом штампування при різних температурах 940 °C, 990 °C, 1040 °C та 1140 °C. (рис. 1)

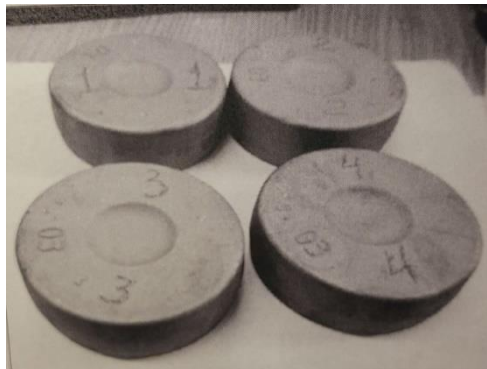


Рис. 1 – Зовнішній вигляд заготовок зі сталі ШХ15-Ш після штампування

Мікроструктура всіх зразків після випробуваних варіантів штампування аналогічна, являє собою пластинчатий перліт. По межах зерен є уривки карбідної сітки, що за протяжністю не перевищують 1 бал за нормативними вимогами, замкнута карбідна сітка не спостерігається (рис. 2).

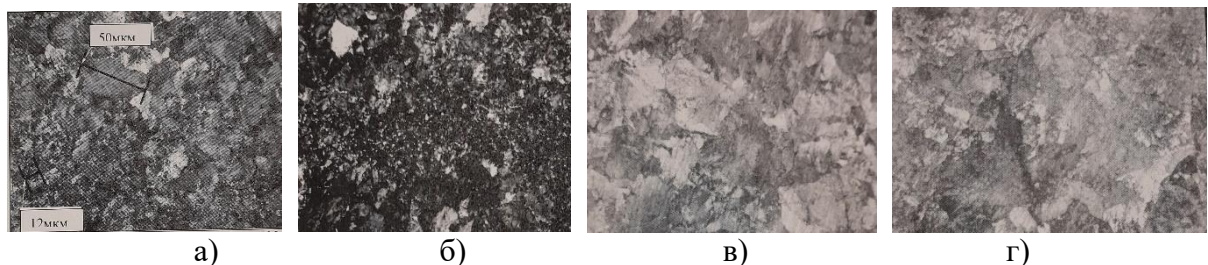


Рис. 2 – Мікроструктура зразків після гарячого штампування за температури деформації 940 °C (а), 990 °C (б), 1040 °C (в) та 1140 °C (г), зб. 500

Слід зазначити, що структура зразків характеризується різнозернистістю, причому ступінь різнозернистості та максимальна величина зерна зростають з підвищенням температури штампування і відповідають наступним балам за нормативними вимогами:

- зразок №1 – $t_0=940^\circ\text{C}$ – 1 бал, одиничні зерна 2 бали;
- зразок №2 – $t_0=990^\circ\text{C}$ – 1-2 бал;
- зразок №3 – $t_0=1040^\circ\text{C}$ – 1-3 бал;
- зразок №4 – $t_0=1140^\circ\text{C}$ – 1-4 бал.

При нормі не більше 1 балу. Розмір зерна на №1 (940°C) відповідає вимогам на зразках № 2, 3, 4 - перевищує необхідну величину. Причому на всіх зразках відзначається різнозернистість. Ступінь різнозернистості та максимальна величина зерна тим більше, чим вище температура штампування. На зразку № 4 найбільша величина зерна. Карбідна сітка та карбідна неоднорідність не проглядаються.

Паралельно було проведено чисельне моделювання процесу деформації (рис. 3).

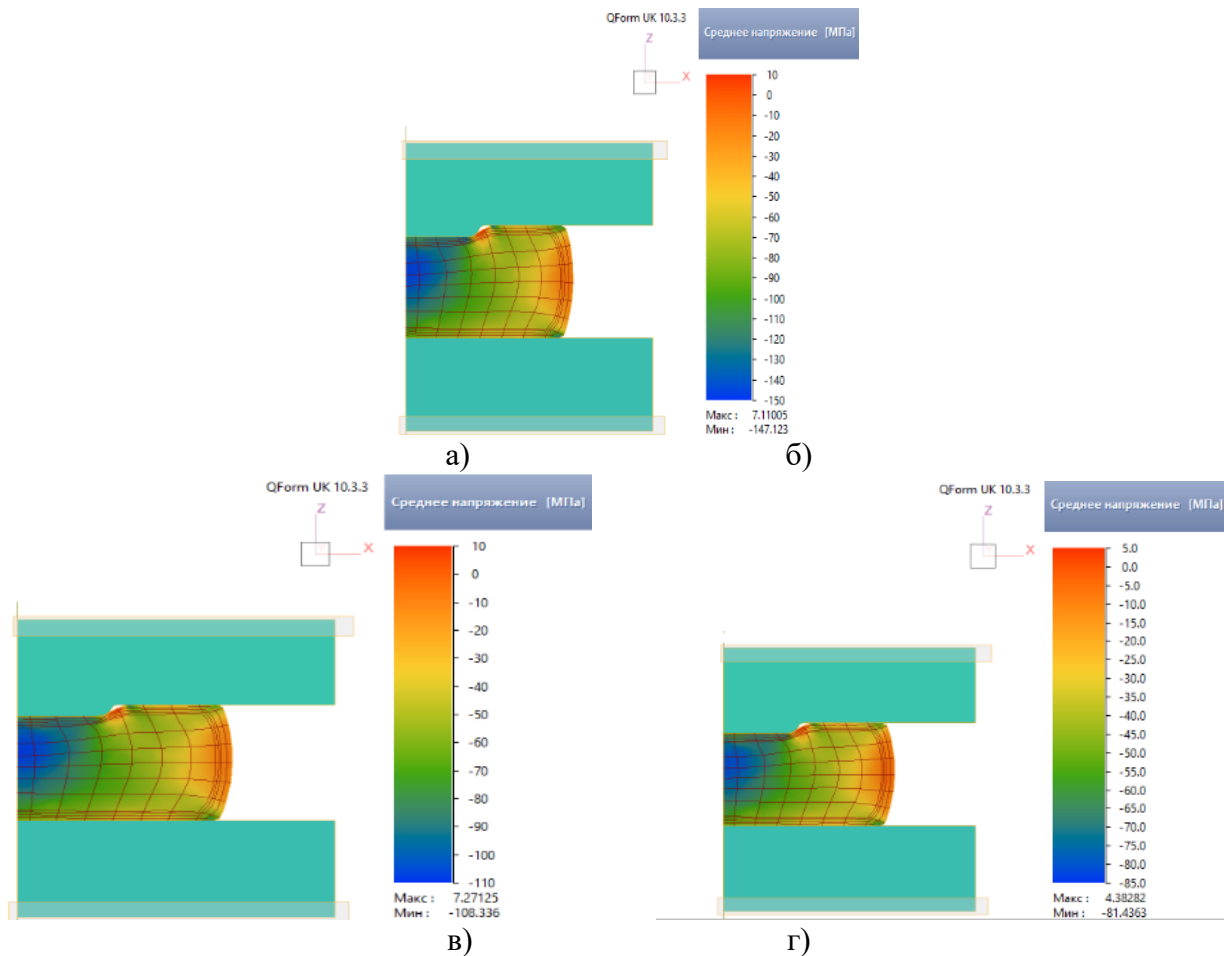


Рис. 3 – Середні напруження заготовки за температури деформації 940°C (а), 990°C (б), 1040°C (в) та 1140°C (г), зб. 500

Моделювання процесу гарячого деформування показало, що деформація проходить рівномірно, дефекти деформації відсутні, а найбільш оптимальною температурою деформації при штампуванні кілець підшипника зі сталі ШХ 15-Ш має бути температура $940\ldots 1040^\circ\text{C}$. Підвищення температури нагрівання не дає жодних позитивних ефектів процесу деформації, як видно із моделювання, а призводить лише до надмірного та необґрунтованого використання енергоресурсів. Отже, нагрівати заготовку до температури вище 1040°C не рекомендується.

Список посилань

1. Богуслаєв В.О. Точне гаряче штампування деталей ГТД / В.О. Богуслаєв, Ю.С. Кресанов, О.Я. Качан, В.В. Клочихин та ін. – Запоріжжя. – 2017. – 563 с.

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

ВПЛИВ УМОВ ДЕФОРМУВАННЯ НА ПОВЕРХНЮ ПЕРА ЛОПАТОК КОМПРЕСОРА ГТД З ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ

У сучасному авіаційному двигуні широкого застосування набули титанові сплави, частка яких сягає понад 35 %. Титанові сплави здебільшого використовують для виготовлення компресорів - дисків, лопаток, напрямних апаратів, кілець тощо, що дає змогу зменшити масу авіаційних двигунів і збільшити надійність їхньої роботи.

Основним методом отримання заготовок деталей авіаційного двигуна є обробка тиском. Обробка тиском заснована на використанні пластичності металів і сплавів, під якою розуміють здатність металів змінювати залишково свою форму, деформуватися як у холодному, так і гарячому стані без руйнування під впливом зовнішніх зусиль.

Пластичне деформування здійснюється різними способами: прокаткою, вільним куванням, об'ємним штампуванням, пресуванням, волочінням і листовим штампуванням

Опір деформації титанових сплавів різко змінюється у разі зміни температури деформації, наприклад, зниження температури деформації сплаву ВТ5 з 1000 °С до 950 °С підвищує питомі зусилля з 170 МН/м² до 400 МН/м², тобто приблизно в 2,5 рази [2].

Дослідження, проведені під час точного штампування робочих лопаток компресора двигуна Д-436 зі сплаву ВТ8, виявили умови отримання нерівномірної деформації та появи зон інтенсивної течії металу. На рис. 3 представлено макроструктуру поверхні пера робочих лопаток компресора зі сплаву ВТ8, отриманих точним штампуванням, з наявністю тонких блискучих смуг як з боку спинки, так і з боку корита. Точне штампування цих лопаток за різних температур деформації здійснювали за один хід інструменту з попередньої заготовки, отриманої видавлюванням із прутка діаметром 30 мм. Дослідження показало, що під час деформації за температури - 55 °С (вихідного прутка 965 °С) на поверхні пера лопатки після стандартної термообробки під час макроаналізу виявлено тонкі блискучі смуги. Аналогічно на рис. 4 представлено макро- і мікроструктуру заготовки лопатки, відштампованої за ще нижчої температури (- 65 °С).

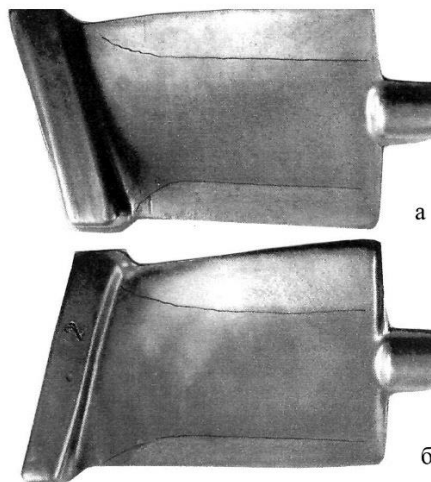


Рис. 1 – Макроструктура поверхні пера робочих лопаток компресора зі сплаву ВТ8

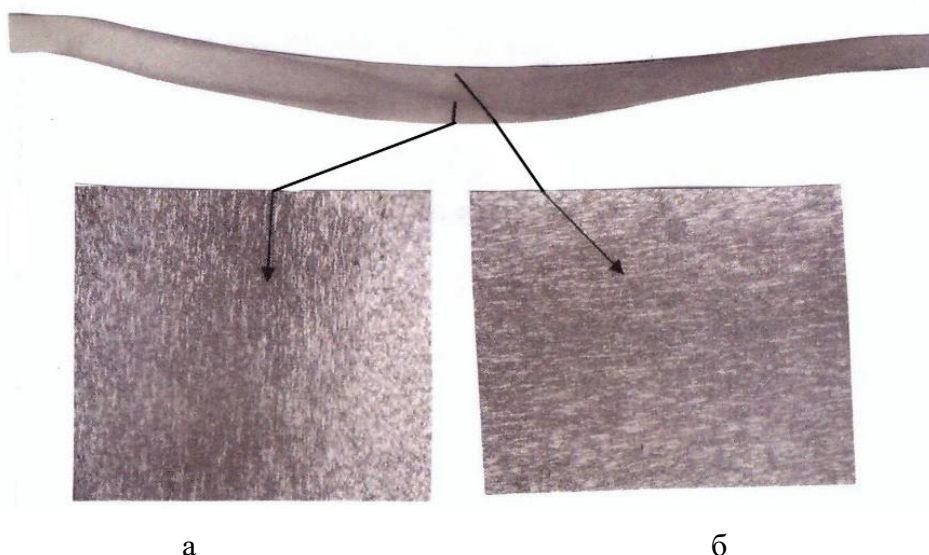


Рис. 2 – Макро- (а) і мікроструктура (б) у лініях інтенсивної течії металу пера лопатки відштампованої за низької температури ($T_{\text{ш}} - 65^{\circ}\text{C}$)

Під час дослідження макроструктури в цих зонах спостерігаються ділянки з різним світловим ефектом травимості, зони утрудненої та інтенсивної деформації, «кувальні хрести», простріли. Зони утрудненої деформації зберігають структуру вихідної заготовки. Макроструктура у вигляді темних ліній утворюється, як правило, при високому ступені деформації за один нагрів і температурі - значно нижчій за температуру поліморфного перетворення. Лінії інтенсивної течії металу мають велику локальну деформацію.

Дослідження зон різної травимості рентгеноспектральним аналізом на растровому електронному мікроскопі JSM6360LA показали відсутність будь-якої хімічної неоднорідності металу. А мікротвердість у зонах інтенсивної течії і в основному матеріалі, виміряна на приладі ПМТ-3 при навантаженні 50 г, виявилася однаковою.

Фонова відмінність поверхні пера свідчить про характер течії металу поверхнею інструменту і являє собою зону ускладненої деформації, за якої відбивається відбиток торкання попередньої заготовки у формі кола зі штампом. У середній частині пера заготовки лопатки в районі максимальної товщини є поздовжня смуга, що має відмінне від основної поверхні фон, що являє собою лінію інтенсивної течії (ЛІТ) металу (рис. 3, а).

Збільшення температури штампування до (-30°C) призвело до того, що ЛІТ стали менш вираженими і займають меншу ділянку перерізу пера (рис. 3, б).

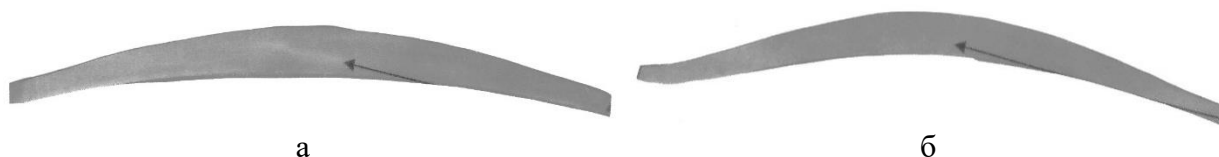


Рис. 3 – Мікроструктура поперечного перерізу пера лопатки (див. рис. 1) при штампуванні з температурою $T_{\text{ш}} - 55^{\circ}\text{C}$ (а) і $T_{\text{ш}} - 30^{\circ}\text{C}$ (б) з ЛІТ

Список посилань

1. Обработка металлов давлением: учебник: в 2 кн. / В. А. Богуслаев, В. В. Борисевич, В. К. Борисевич, С. А. Бычков, А. И. Долматов и др. Харьков: Нац. аэрокосмический ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2002. Кн. 1: Прокатка, ковка, штамповка. 419 с.
2. Качан А. Я., Уланов С. А. Влияние условий деформирования титановых сплавов на качество поверхности пера компрессорных лопаток. *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні*. 2021. № 2. С. 26–31.

УДК 621.762; 621.77

Михайлов О. В., докт. техн. наук, ст. наук. співробітник

Михайлов А. О., доктор філософії

Штерн М. Б., докт. техн. наук, проф., чл. - кор. НАН України

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, м. Київ,

olmi.2021@gmail.com

МОДЕЛЮВАННЯ ПРЯМОГО ВИДАВЛЮВАННЯ ПОРИСТИХ ЗАГОТОВОК, МАТЕРІАЛ ЯКИХ МІСТИТЬ ЖОРСТКІ ВКЛЮЧЕННЯ

Методи порошкової металургії мають ряд переваг, серед яких можна виділити можливість отримання композицій з металевих і неметалевих матеріалів. До таких композицій відносяться матеріали з металевою матрицею та керамічними включеннями. Послідовність технологічних операцій складається з отримання порошків, змішування компонентів, ущільнення та подальшого спікання. Отримана в такий спосіб заготовка є пористою. Для її ущільнення та формування кінцевого виробу потрібна додаткова деформаційна обробка. Широко поширеним методом такої обробки є пряме видавлювання.

Досліджено процес прямого видавлювання пористих заготовок, матеріал яких містить жорсткі включення. Розрахункова схема процесу наведена на рис.1. Деформування заготовки 3 відбувається в результаті впливу пуансона 1. Матеріал заготовки тече в отвір, що звужується.

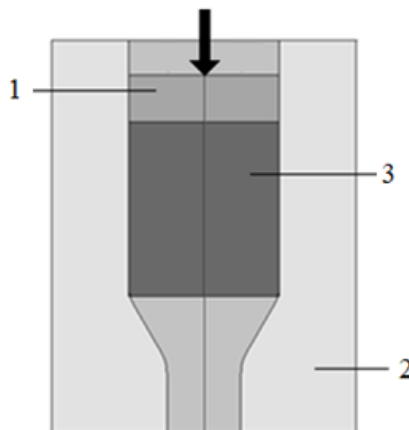


Рис. 1 – Розрахункова схема прямого видавлювання: 1 – пуансон; 2 – матриця; 3 – заготовка

Моделювання виконано методом скінчених елементів [1]. При аналізі деформування металевої матриці використовували співвідношення теорії пластичності пористого тіла [2], яка враховує можливість порошків та пористих матеріалів незворотно змінювати об'єм під дією гідростатичного тиску.

Матеріал пористої матриці був сплав Al. Заготовка містила жорсткі включення, матеріал яких був SiC.

Вважали, що матеріал матриці деформується пружно-пластично, а матеріал включень - пружно. Деформуючий інструмент розглядався як абсолютно жорстке тіло. Початкова пористість матеріалу матриці була 0.3. Коефіцієнт тертя між інструментом та заготовкою приймали рівним 0.15. Розглядали плоско-деформований стан, враховували властивості симетрії.

Моделювання процесу деформування виконувалося поетапно, методом послідовних навантажень. На кожному кроці навантаження визначалися напруження, причому вважали, що матеріал є пружним. Потім обчислювали пластичний потенціал і, в залежності від його величини, проводили коригування напружень і матеріальних параметрів моделі.

Проведено аналіз напружено-деформованого стану на послідовних етапах навантаження. Визначено розподіли накопиченої пластичної деформації матеріалу матриці та величини її залишкової пористості.

При моделюванні когезійної взаємодії між матрицею та включеннями використовували поняття когезійної зони (Cohesive Zone), яка характеризується залежностями напруження – переміщення (або деформації) у нормальному та дотичних напрямках до контактної поверхні. Вигляд цих залежностей, що описують еволюцію руйнування, може бути різним і визначається властивостями зв'язків між компонентами композиційного матеріалу. При цьому допускається деформація з можливим відривом в напрямку нормалі до поверхні контакту під дією навантажень, що розтягують. Під дією стискаючих навантажень деформація не відбувається. Крім того, можлива деформація зсуву. Залежності напруження – переміщення при нормальному і дотичному навантаженні, що визначають еволюцію відшарування матриці від включення, а також параметри когезійної взаємодії були взяті на підставі результатів роботи [3].

Аналіз результатів моделювання показав, що напружено-деформований стан заготовки подібний до стану деформованої заготовки, що не містить жорстких включень. Найбільш інтенсивно процес ущільнення матеріалу пористої заготовки відбувається в області переходу конічної поверхні матриці в більш вузьку циліндричну поверхню.

Наявність жорстких включень вносить низку особливостей. Максимальні напруження виникають в областях біля включень і в них самих. Залежно від величини сил когезійної взаємодії та властивостей матеріалу матриці у цих областях можуть відбуватися відрив включень від матриці або збільшення пористості її матеріалу. Ці процеси можуть відбуватися одночасно. Також встановлено, що в результаті взаємодії жорстких включень, між ними можуть утворюватися локальні області, які характеризуються вищими значеннями накопиченої пластичної деформації та меншою величиною залишкової пористості (рис. 2).

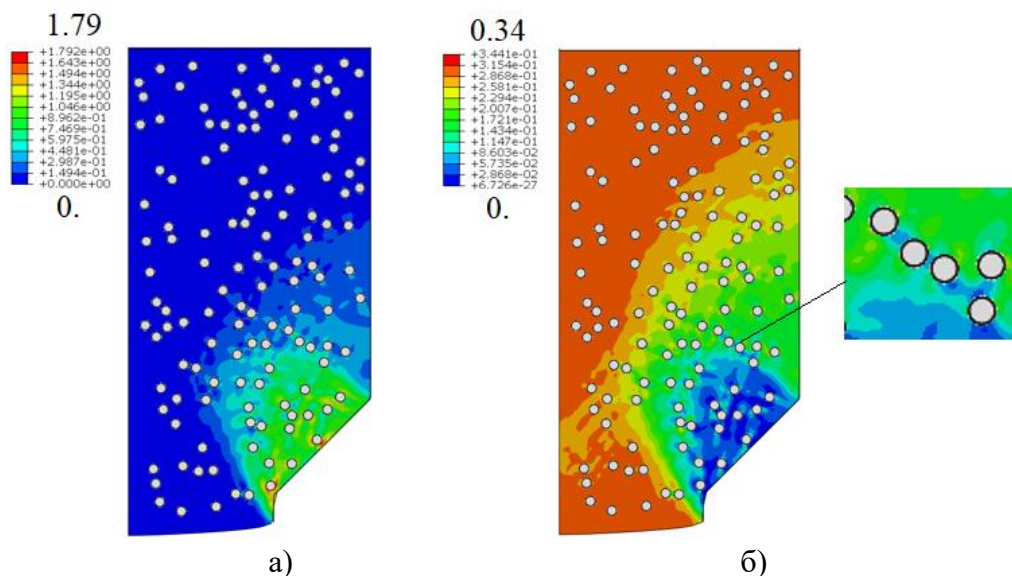


Рис. 2 – Розподіл величин накопиченої пластичної деформації а) та пористості матеріалу матриці б)

Список посилань

1. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике: Пер. с англ./ О. Зенкевич. – М.: Мир, 1975. – 541 с.
2. Штерн М.Б. Узагальнена континуальна модель пластичності порошкових та пористих матеріалів. / Штерн М.Б., Михайлов О.В., Михайлов А.О. // Порошкова металургія. – 2021. – № 1/2. – С. 27 – 44.

3. Dandekar, C.R., & Shin, Y.C. (2011). Molecular dynamics based cohesive zone law for describing Al–SiC interface mechanics. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 42(4), 355–363.

4. Михайлов А.О., Каргузов В.В., Михайлов О.В. Моделювання когезійної взаємодії між пластичною матрицею та жорстким включенням. // Теоретичні і експериментальні дослідження в сучасних технологіях матеріалознавства та машинобудування: матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції TERMM-2023, 16-18 травня 2023 р. Луцьк. 2023. – С. 195-196

УДК 629.7.02:539.67

Мозговий О.В., канд. техн. наук, доцент

Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського,

mavimfto@gmail.com

НАКОПИЧЕННЯ ПОШКОДЖЕНЬ ПРИ ТЕРМІЧНІЙ ДІЇ НА КОМПОЗИТ АЛЮМІНІЙ-БОР

Анізотропність і недосконалості будови волокнистих композиційних матеріалів обумовлюють різку неоднорідність поглинання енергії їх компонентами при механічному навантаженні, особливо в напрямках, відмінних від орієнтації волокон. Для системи алюміній-бор при температурах вище 723 К між волокнами і матрицею відбувається активна фізико-хімічна взаємодія, яка супроводжується утворенням і зростанням на кордоні розділу крихких інтерметалевих фаз.

При дослідженні волокнистого композиту АД1-В було виявлено утворення на границі волокно-матриця інтерметалевого прошарку, кількість якого зростає із збільшенням часу теплового впливу (рис. 1). На виділених волокнах бору із композиту, який витримувався при температурі 823 К від 0,5 год. до 5 год., видно, що хімічна взаємодія між бором і алюмінієм більш активно відбувається на границі зерен бору, так як атомам поблизу міжзеренних границь властива статична і динамічна нестійкість.

Новоутворена крихка перехідна інтерметалева зона обумовлює порушення зв'язку між волокном і матрицею. Виниклі напруги викликають локальні розриви волокон, що призводить до різкого спаду їх механічних властивостей і погіршення експлуатаційних властивостей волокнистого композиту в цілому.

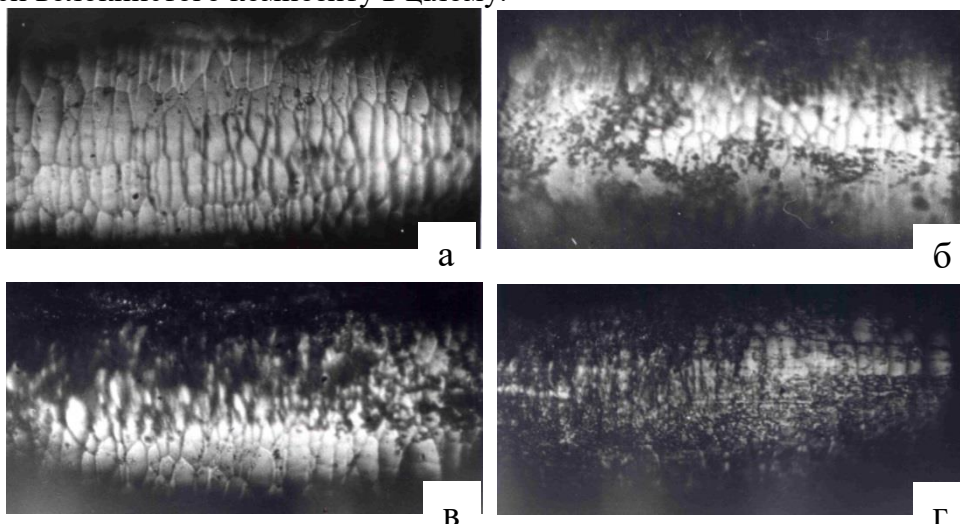


Рис. 1 – Поверхня борних волокон, які виділені з композиційного матеріалу АД1-В в 20% водному розчині NaOH після відпалу при 823 К: а) 0, 5 годин, б) 2 години, в) 3 години, г) 5 годин

Пропонується сформувати таку структуру матриці, яка б розподіляла існуючі напруги рівномірно по всьому об'єму, запобігаючи порушення зв'язку на границі волокно-матриця. Такою структурою є субструктура, яка формується у процесі термоциклювання

композиційних матеріалів у різних температурних інтервалах шляхом накопичення великої густини дислокацій, їх термічною активацією в полях внутрішніх напружень і перерозподілом у потрібні субграниці.

УДК 621.77

Пилипець М.І., докт. техн. наук, професор

Пилипець О.М., канд. техн. наук

Грабовський А.П., аспірант

Тернопільський державний технічний університет ім. І. Пулюя, Pulupetcmi@gmail.com

ВИКОРИСТАННЯ ВИТИХ ЗАГОТОВОК ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПРУЖНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

За необхідності передачі обертання на деяку відстань, або зміни напрямку обертання валів використовують паразитні шестерні, які виконують корисну функцію. Суцільні паразитні колеса створюють додаткове тертя і збільшують шум зубчатої передачі. Дані недоліки відсутні коли паразитне колесо пружне, виготовлене з навивної заготовки. Використання пружних зубчастих коліс забезпечує безшумність роботи зубчастої пари.

Виготовлення пружних зубчастих коліс технологічно складно, у зв'язку з широкою номенклатурою за розмірними параметрами для кожного окремого механізму. Економічно вигідно виготовляти деталь з заготовки максимально наближеної до форми готової деталі, що можна забезпечити точним литтям, штампуванням. Сучасні малі підприємства не в змозі використовувати такі відомі методи виготовлення заготовок як литво, штампування а виготовлення заготовок з круглого прокату приводить до підвищення собівартості паразитних шестерень.

Для виготовлення паразитних шестерень в малих підприємствах та ремонтних майстернях запропоновано спосіб утворення заготовок шляхом навивання на ребро прокатої штаби потрібної ширини (залежно від потрібного типорозміру шестерні). Навивку виконують на оправу відповідного діаметру, в спіраль зі щільно навитими витками, перпендикулярними до осі заготовки.

Для реалізації даного способу використовується відомі технології [1]. Для здійснення такої технології можна використовувати токарно-гвинторізний верстат 16K20 або іншої моделі з токарної групи. Верстат обладнується спеціальним пристроєм [2, 3], який складається з оправы і формуютьуючого ролика. Оправа кріпиться в патроні верстата, формуючий ролик у різцетримачу. Штаба зігнутий під 90° кінцем кріпиться в осьовому пазі оправы і, обертаючи оправу, штаба навивається на торцеву поверхню робочої ступені. Формуютьуючий ролик притискаючи торець штаби забезпечує формуютьування витка заготовки і притискання вже навитих витків до робочої поверхні оправы. Розмір виткої заготовки буде залежати від геометричних розмірів оправы і вихідної стрічки. Після навивання виту заготовку знімають з оправы і піддають подальшій механічній обробці.

Список посилань

1. Пилипець М.І. Рациональні способи виготовлення заготовок для одиничного і дрібносерійного виробництва./М.І. Пилипець, О.М. Пилипець//Міжнародна науково-технічна конференція присвяченої пам'яті професора Гевка Богдана Матвійовича „Проблеми теорії проектування та виготовлення транспортно-технологічних машин“. Тернопіль, ТНТУ. Т.:ФОП Паляниця В. А. 2021. – с. 13.

2. Пат. 63415А, Україна, МКП В21D11/06 Пристрій для навивання смуги на ребро та одночасного калібрування пакета витків. Пат. Заявлено 15.04.2002 Опубл. 15.01.2004 Бюл. № 1, Пилипець М.І., Васильків В.В., Радик Д.Л., Гевко І.Б.

3. Васильків В. Показники технологічності гвинтових заготовок / В. Васильків, О. Лясота // Машинознавство: наук.-техн. і вироб. журн. – Львів. – 2010. – №8. – С. 39-47.

УДК 623.746.3:629.7.048.4

Чава К.С.

Національний авіаційний університет, Київ, ekaterinaserheevna@gmail.com

КИСНЕВЕ ОБЛАДНАННЯ СИСТЕМ ЖИТТЄЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІЙСЬКОВО-ТРАНСПОРТНИХ ЛІТАКІВ

Використання військово-транспортних літаків для здійснення оборонних операцій на території України є досить актуальним питанням. Виконання бойових завдань – непередбачуваний процес з високими навантаженнями та екстремальними умовами важливістю якого є довготривалість польоту. Можливість дозаправки в повітрі зміщує пріоритет для роботи в нормальних і аварійних умовах до оптимального вибору кисневої системи військово-транспортних літаків.

На рівні землі і при збільшенні висоти концентрація кисню у повітрі залишається постійною і становить близько 21%, але парціальний тиск кисню при збільшенні висоти (частинковий тиск кисню в суміші газів, який відповідає його фракції у цій суміші) зменшується. Це приводить до гіпоксії (кисневого голодування) - стану в якому організм не отримує достатньої кількості кисню для підтримки нормальної життєдіяльності (насичення легень, системи кровообігу та інших тканин організму). Відсутність достатньої кількості кисню організму також впливає на діяльність мозку та відповідно на реакцію екіпажу і швидкість прийняття рішень, що не є прийнятним для керування літаком. Парціальний тиск кисню становить приблизно 20% від загального атмосферного тиску. Якщо на рівні моря, це буде близько 152 мм рт. ст., то тиск в легенях - 102 мм рт. ст. Оскільки в легенях безперервно відбувається газообмін, вони містять інші гази які створюють відносно постійний тиск, що розбавляє кисень (наприклад водяна пара становить 47 мм рт. ст., а вуглекислий газ - 40 мм рт.ст.). Ці гази прагнуть витіснити частину кисню, коли він досягає рівня легень, тому вони знижують парціальний тиск кисню в легенях і він знижується до 102 мм рт.ст. [1].

Кисневе обладнання літаків призначено для подачі достатньої кількості кисню організму людини у разі зниження барометричного тиску внаслідок підйому на висоту для запобігання гіпоксії та підтримує парціальний тиск шляхом збільшення концентрації кисню між мінімальним та максимально допустимим значенням [1].

Джерелом постачання кисню може бути: балонна система зі зберіганням кисню на борту літака - газоподібного (GOX - gaseous oxygen) чи рідкого (LOX - Liquid Oxygen) або система генерації кисню, що виробляє кисень з зовнішнього повітря - бортові системи генерації кисню (OBOGS - On-Board Oxygen Generating System) [2].

У газоподібній кисневій системі [3], системі першого покоління, кисень зберігається при 1800 – 2200 psi в балонах високого тиску. Кисень подається до екіпажу через вентилі балонів, трубопроводи до регулятора тиску, який знижує тиск до 70–90 psi, і далі до кисневих приладів та масок кожного з членів екіпажу. Основним недоліком цієї системи є вага та обсяг балонів для зберігання. Балони заряджаються за допомогою точки заряджання збоку літака, до якої підключається зовнішнє джерело кисню (GOX). Щоб забезпечити зберігання більшої кількості кисню, системи другого покоління зберігають кисень у кисневих балонах виконаних по типу посудини Дьюара, який потім перетворюється на пару шляхом проходження через газифікатор (теплообмінник), де температура кисню підвищується майже до температури кабіни і подається на регулятор та маски. Зберігання в рідкому вигляді дозволяє збільшити об'єм кисню приблизно в п'ять разів порівняно з GOX, але балони LOX потрібно знімати з літака для повторної заправки. Система LOX також вимагає значної інфраструктури для зарядки, що перешкоджає розгортанню літаків на непідготовлених базах [4]. Випаровування LOX є ще одним обмеженням, яке вимагає

частого поповнення, яке ще більше збільшується вартість обслуговування системи. LOX потенційно піддається ризику забруднення токсичними матеріалами, найчастіше оксидами азоту, вуглецю монооксид, сірководень, трихлоретилен і вуглеводні.

Системи OBOGS – системи третього покоління (робочий діапазон температур від мінус 40°C до 80°C і тиск подачі від 1 до 8 бар [2]) значно зменшують вагу і об'єм, необхідний для зберігання кисню, оскільки він виробляється на борту за допомогою генератора кисню виконаного по типу молекулярного сита (MSOG). MSOG забирає навколишнє повітря та відокремлює кисень від інертних газів. Матеріал, який використовується як молекулярне сито це цеоліт, який фільтрує молекули азоту, коли повітря проходить через нього. В OBOGS цей пристрій називається концентратор [5]. Кристалічні цеоліти мають тетраедричну структуру, з'єднану натрієм або кальцієм, утворюючи клітини або порожнини. Ці клітини мають спорідненість до адсорбції молекул. Оскільки молекули азоту більші за кисень та інші молекули, вони фільтруються молекулярним ситом. У концентраторі кисень і азот розділені завдяки тому, що азот міцно утримується всередині ситової клітки, ніж кисень. Кисневий концентратор зазвичай складається з двох або більше шарів молекулярного сита [5], через кожен з яких пропускається стиснене повітря. Це стиснене повітря надходить із системи контролю навколишнього середовища літака який відводить повітря з компресора двигуна. Після концентратора виділений газ містить від 90 до 95 % кисню та решту аргону.

Системи OBOGS забезпечують безперервну подачу, однак основним недоліком є те, що несправність відведення повітря з двигуна призводить до відмови OBOGS. Система може працювати в діапазон температур від - 40 °C до 80 °C і тиск подачі від 1 до 8 бар. Такі системи розробляються з урахуванням високих вимог до надійності та безпеки та мають резервні компоненти, щоб забезпечити безперервне постачання кисню в разі відмови основної системи. Система OBOGS забезпечує високу гнучкість у розгортанні літаків, оскільки не потребує спеціальної інфраструктури для зберігання та поповнення кисню. Це дозволяє літакам діяти з будь-якої бази, включаючи ті, які не мають розвиненої логістичної підтримки.

До переваг використання систем OBOGS також можна віднести:

- покращення технічних характеристики літака (через відсутність балонів);
- необмежена тривалість постачання кисню, через вироблення саме на борту літака;
- зменшення витрати на обслуговування та логістику (такі як з перевезенням та зберіганням рідкого або газоподібного кисню), що підвищує оперативну ефективність.
- зменшує ризики, пов'язані з зберіганням рідкого кисню (є вибухонебезпечним і може бути забруднений токсичними матеріалами) і транспортуванням.

Кожна система має свої переваги та недоліки, але удосконалення виробництва систем OBOGS є перспективною технологією для майбутніх розробок кисневих систем у військовій авіації особливо для легких літаків або літальних апаратів великої дальності польоту.

Список посилань

1. Joint service specification guide. 2010-10.
2. NASA/CR-2001-210903. On-board oxygen generation system
3. SAE-AIR825/6.
4. Christopher T. Carey, "A Brief History of US Military Aviation Oxygen Breathing Systems".
5. Mil-D-85520.

УДК 378: 371.333

Пасов Г.В., канд. техн. наук, доцент

Кологойда А.В., канд. техн. наук, доцент

Завертанний Б.С., докт. філософії, старший викладач

Національний університет «Чернігівська політехніка», genarasov@gmail.com

КОМП'ЮТЕРНА ОБРОБКА ПОМИЛКОВИХ ДОСЛІДІВ У ГАЛУЗЕВОМУ МАШИНОБУДУВАННІ ТА АВТОМОБІЛЕБУДУВАННІ ЗА ДОПОМОГОЮ MICROSOFT EXCEL

Комп'ютеризація, що бурхливо вторгається у всі сфери людської діяльності, багато в чому змінила і характер сьогоденної системи освіти. Останніми рокам в освіті все більшого поширення набувають сучасні комп'ютерні технології. Однією з нових областей застосування комп'ютерів в освіті нинішнього процесу стало їх використання для виконання лабораторних та практичних робіт по різних дисциплінам., в тому числі і для інженерно-технічних спеціальностей, де необхідно працювати з великими потоками інформації.

В сучасній інженерії проводиться велика кількість різноманітних експериментів, оскільки експериментальне дослідження дає більш точну відповідність між вивчаємими параметрами. Як правило, будь-які вимірювання в ході дослідного експерименту супроводжуються помилками. Коли отриманий результат вимірювання різко відрізняється від інших, виникає підозра, що допущено грубу помилку через порушення умов експерименту або вимірювання. Тому треба одразу проконтролювати відповідність реальних умов заданим. Якщо вони порушуються, то отриманий результат не враховують. Якщо таку перевірку виконати неможливо, питання про виключення результату, що відрізняється, вирішується за допомогою статистичних оцінок. При цьому використовуються різні критерії, які мають громіздкий характер математичного апарату, який проте, як правило, не відрізняється особливою складністю і зводиться до шаблонного використання ряду формул. Проте, велика кількість складних рутинних розрахунків, в яких легко можна заплутатися, призводить до того, що виконання подібних завдань викликає труднощі у здобувачів вищої освіти. Тому для сучасного інженера комп'ютер стає необхідним робочим інструментом саме в силу того, що з його допомогою збільшується в десятки та сотні мільйонів разів швидкість виконання арифметичних і логічних операцій, колосально підвищуючи тим самим продуктивність та точність інтелектуальної праці

Складнощі математичної обробки даних експерименту можна вирішити за допомогою, наприклад, прикладної програми Microsoft Excel, яка дозволяє вирішувати чисто математичні задачі, уникаючи громіздких. Але для цього необхідно проводити попередні заняття для ознайомлення з основними можливостями вказаних програм. Навчальні програми практично по всіх дисциплінах математичного циклу в теперішній час передбачають активне використання персональних комп'ютерів та пакетів прикладних програм під час вивчення таких дисциплін, починаючи з перших семестрів. Для того, щоб здобувач вищої освіти встигав, наприклад, по дисципліні з числових методів, рівень його базової підготовки по інформатиці повинен бути достатньо високим. Здобувачі починають проводити наукові дослідження на перших курсах, але спеціальних знань ще не мають, тому було розроблено програмний продукт «Помилка у дослідженнях, Microsoft Excel», який дозволяє здобувачам проводити дослідження без проведення попередніх занять для ознайомлення з його принципами роботи [1, 2].

Для інтенсифікації процесу розрахунків і оптимізації процесу виявлення помилкових експериментів скористаємося програмою Microsoft Excel. Вихідними даними для розрахунків будуть результати паралельних експериментів, які поставлено під сумнів; кількість паралельних експериментів, а також рівень значимості експерименту. Номер експерименту генерується автоматично після введення значення Y, яке перевіряється,

завдяки функції ROW. Табличне значення критерію Стюдента програма рахує завдяки функції TINV. Інші значення програма рахує за допомогою типових математичних та логічних функцій у відповідності з описаною вище методикою, а також візуально виділяє статус експерименту: вірний – “зеленим”, а помилковий – “червоним” кольорами. Приклад розрахунку наведено на рисунку 1.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2		Кількість паралельних експериментів без урахування помилкового експерименту					$n =$	7
3		Рівень значимості					$\alpha =$	0,05
4		Табличне значення критерію Стюдента					$t_{табл.} =$	2,447
5								
6		№ експерименту	Перевіряєме значення y	$\bar{y}$	S^2	S	tp	Статус експерименту
7		1	40	43,143	19,143	4,375	0,718	Вірний
8		2	38	43,429	16,286	4,036	1,345	Вірний
9		3	41	43,000	20,000	4,472	0,447	Вірний
10		4	45	42,429	19,619	4,429	0,581	Вірний
11		5	47	42,143	17,143	4,140	1,173	Вірний
12		6	39	43,286	17,905	4,231	1,013	Вірний
13		7	50	41,714	10,571	3,251	2,548	Помилковий
14		8	42	42,857	20,476	4,525	0,189	Вірний

Рис. 1. – Приклад використання Microsoft Excel для відкидання помилкових експериментів

Розроблений програмний продукт може ефективно використовуватись магістрами при вивченні дисциплін “Математичне моделювання процесів обробки на металорізальних верстатах” та “Планування та обробка результатів експериментів на автомобільному транспорті” [3, 4], а також при проведенні експериментів під час написання магістерської випускної кваліфікаційної роботи.

Список посилань

1. Душинський В.В. Основи наукових досліджень. Теорія та практикум з програмним забезпеченням: Навч. посібник – К.: НТУУ “КПІ”, 1998. – 408 с.
2. Пасов Г.В., Міщенко М.В. Використання елементів теорії планування експериментів у моделюванні кібернетичних систем і процесів: Навч. посібник. – Друк: ПАТ «ПВК «ДЕСНА», 2012. – 156 с.
3. Математичне моделювання процесів обробки на металорізальних верстатах. Методичні вказівки до практичних робіт для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 133 “Галузеве машинобудування” освітньо-професійної програми “Галузеве машинобудування” / Укл.: Кальченко В.В., Пасов Г.В. – Чернігів: НУ “Чернігівська політехніка”, 2023. – 32 с.
4. Планування та обробка результатів експериментів на автомобільному транспорті. Методичні вказівки до практичних робіт для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 274 “Автомобільний транспорт” освітньо-професійної програми “Автомобільний транспорт” / Укл.: Кальченко В.В., Пасов Г.В. – Чернігів: НУ “Чернігівська політехніка”, 2024. – 32 с.

УДК 621

Третяк О. В., докт. техн. наук, доцент

Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського «ХАІ», o.tretyak@khai.edu

РОЗРАХУНОК НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ БАНДАЖНОГО ВУЗЛА ТУРБОГЕНЕРАТОРА

Вал ротора турбогенератора складається з середньої активної частини (бочки) і двох хвостовиків (рис. 1). Лобові частини обмотки ротора підкріплюють фіксуючими кільцями, що складаються з бандажного і центруючого кілець. На бандажне кільце діють відцентрові зусилля від власної маси та від лобових частин обмотки ротора, а також зусиль, що викликані посадкою фіксуючих кілець з натягом. На номінальних режимах бандажний вузол працює в умовах помірного температурного навантаження, викликаного нагріванням обмоток.

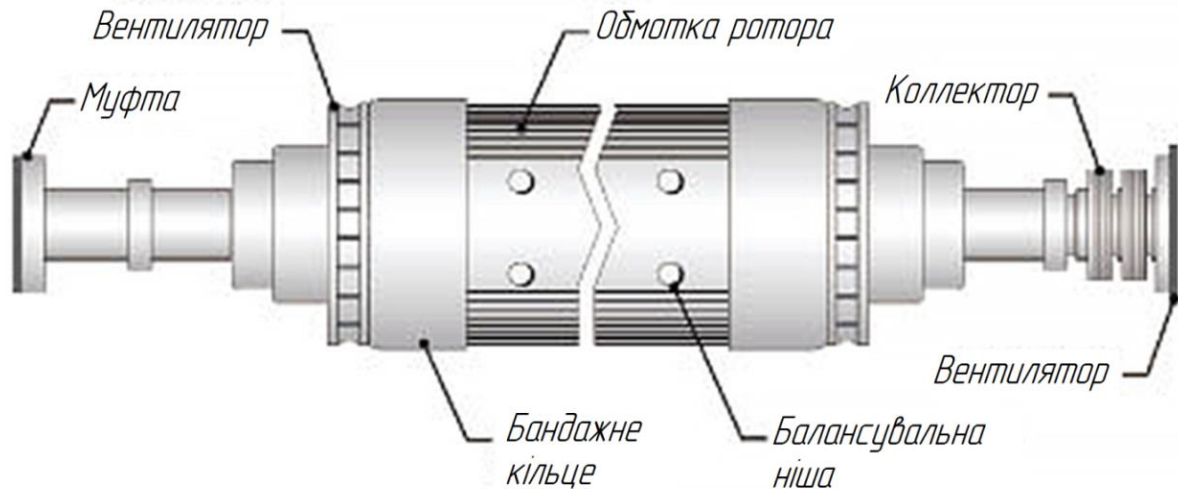


Рис. 1 – Загальний вигляд ротора генератора

При проектуванні бандажного вузла необхідно забезпечити його надійну працездатність на всіх експлуатаційних режимах. Для цього був проведений аналіз НДС в конструкціях та оцінена їх міцність на номінальних та критичних режимах роботи машини. При цьому враховуються роз'єднувальні частоти обертання, при яких відбувається роз'єднання бандажного кільця з опорами. Маса лобових частин обмотки ротора розподілена нерівномірно щодо поздовжньої і поперечної осей ротора, тому в кільці, крім розтягуючих зусиль, виникають згинальні моменти, які прагнуть надати бандажному кільцю овальну форму.

Проведено чисельне дослідження напруженого стану бандажного вузла турбогенератора потужністю 560 МВт при впливі силових і температурних навантажень, викликаних посадочними напруженнями та експлуатаційними навантаженнями. Виконувалося дослідження міцності деталей бандажного вузла ротора в спокої і при експлуатації, визначення роз'єднувальної частоти обертання бандажного кільця, посадженого з натягом на бочку ротора і центруюче кільце, а також дослідження податливості деталей бандажного вузла.

Бандажне кільце виготовлено зі сталі з межею плинності $\sigma^{0.2} = 900$ МПа, матеріал вала ротора і центруючого кільця – високолегована сталь з $\sigma^{0.2} = 687$ МПа.

На (рис. 2, а) представлена розрахункова схема бандажного вузла, використовувані граничні умови і результуюче поле напружень від власних відцентрових сил тяжіння при угонній частоті обертання і залишкових посадочних напруженнях. Зміна напружень на бічній поверхні бочки ротора представлено на рис. 2 б. Напруги мають складний характер

з наявністю локального максимуму в області закінчення паза (вирізу) в бочці і очікуваною тенденцією до збільшення рівня напружень до ротора, вони змінюються від 0,7 МПа до 207 МПа.

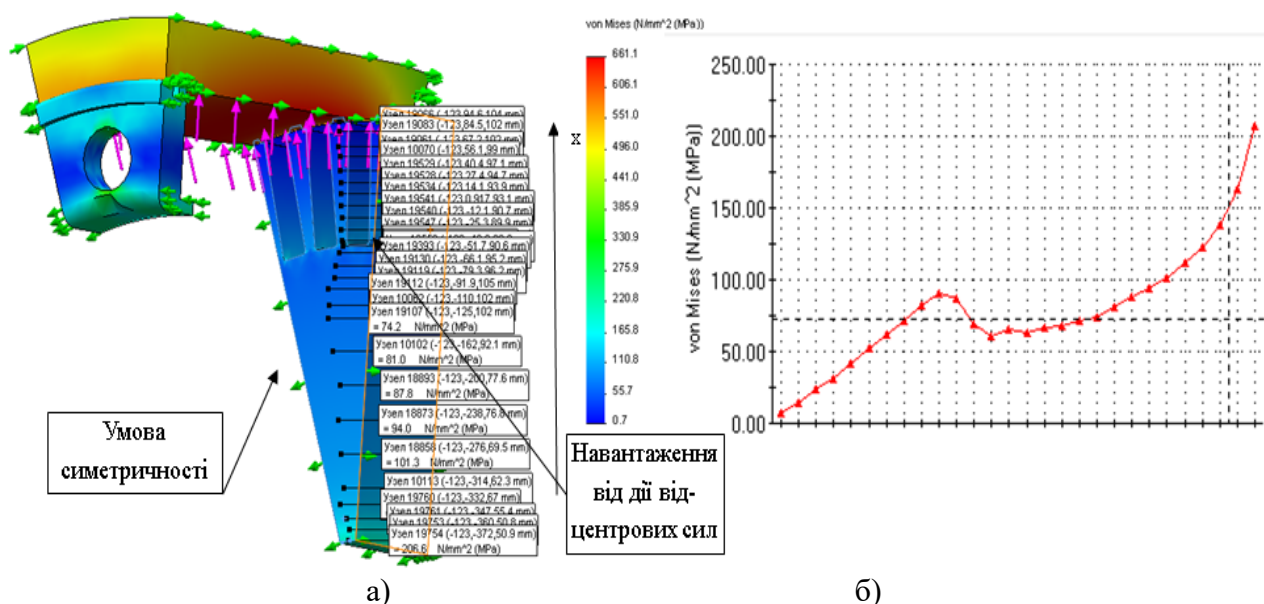


Рис. 2 – Поле напружень в бандажному вузлі (угонна частота обертання)

Середнє значення радіальних переміщень в області контакту кільця з бочкою ротора дорівнює $\Delta r_{\text{сер}} = 1,35 \cdot 10^{-3}$ м, а в області контакту з центруючим кільцем – $\Delta r_{\text{сер}} = 1,15 \cdot 10^{-3}$ м. При цьому максимальне переміщення бандажного кільця спостерігається в середній частині і так само $\Delta l_{\text{max}} = 1,689 \cdot 10^{-3}$ м.

У таблиці 4 наведені результати розрахунку роз'єднувальних частот обертання. Встановлено, що роз'єднувальні частоти обертання бандажного кільця і бочки ротора, а також бандажного кільця і центруючого кільця для холодного і нагрітого стану значно відрізняються.

Таблиця 1 – Роз'єднувальні частоти бандажного вузла

Сполучені деталі бандажного вузла		Температурний стан	Частота, об/хв
1 деталь	2 деталь		
бандажне кільце	бочка ротора	холодне	3609
		нагріте	3100
бандажне кільце	центруюче кільце	холодне	4938
		нагріте	4050

З таблиці 1 видно, що найменша частота роз'єднання спостерігається в поєднанні бандажного та центруючого кілець в нагрітому стані і вона дорівнює 3100 об/хв. Це значення вище номінальної частоти обертання.

The work "Analysis of the strength of high-power Turbogenerator assembly units to ensure their reliable operation under the influence of supercritical loads to ensure the energy security of Ukraine during martial law" registration number 224/0008 from 15.11.2023 completed within the project Cambridge - NRFU 2022. Individual research (developments) grants for researchers in Ukraine (supported by the University of Cambridge, UK).

УДК 621.941

Ковальов В.Д., докт. техн. наук, професор
Клименко Г.П., докт. техн. наук, професор
Васильченко Я.В., докт. техн. наук, професор
Шаповалов М.В., канд. техн. наук, доцент

Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, kovalov.viktor@gmail.com

РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОСТАТИЧНОЇ ЧЕРВ'ЯЧНО-РЕЙКОВОЇ ПЕРЕДАЧІ ДЛЯ ВАЖКИХ ТОКАРНИХ ВЕРСТАТІВ ПІДВИЩЕНОЇ ТОЧНОСТІ

Гідростатичні черв'ячно-рейкові передачі вважаються найкращим технічним рішенням для гасіння вібрацій у місці навантаження системи. Гідростатика також може витримати значні навантаження та забруднені середовища. Однак, більшість традиційних гідростатичних черв'ячно-рейкових передач є відносно дорогавартісними, потребують багато часу для встановлення та вимагають інженерних рішень щодо їх виготовлення. З цих причин, вони рідко застосовуються. Створення працездатної черв'ячно-рейкової передачі з гідростатичним змащенням та її освоєння в серійному виробництві потребує вирішення низки конструкторсько-технологічних завдань. Тому виникла необхідність комплексного дослідження цих передач [1-4]. Значна трудомісткість виготовлення деталей черв'ячно-рейкової передачі з гідростатичним змащенням, їхня висока точність, чутливість до похибок виготовлення, збирання та монтажу потребують оцінки критеріїв працездатності передачі в реальних умовах виробництва.

Найкращою системою живлення для гідростатичної черв'ячно-рейкової передачі є система «насос-кишеня», що вирізняється простотою виготовлення і мінімальними енергетичними втратами, оскільки тиск у кишенях встановлюється залежно від величини зовнішнього навантаження. За підвищених вимог до жорсткості та навантажувальної здатності може бути використана система з мембранним дільником потоку (система постійної витрати масла). При її застосуванні можливе збільшення статичної жорсткості більш ніж у 2 рази. Живлення передачі в цьому разі може здійснюватися від одного насоса, продуктивністю в 2 рази меншою, ніж сумарна продуктивність насосів у системі «насос-кишеня».

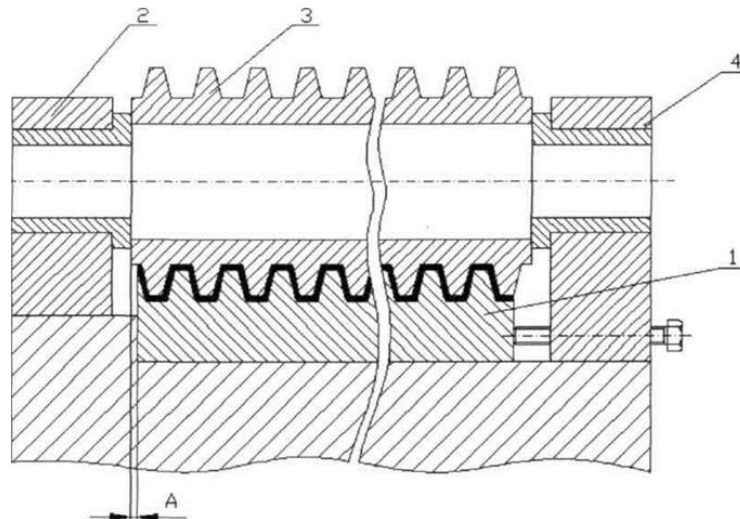


Рис. 1 – Схема формування робочих поверхонь профілю рейок за допомогою самозатверджувальних пластмас: 1 – рейка; 2,4 – опори; 3 – майстер-черв'як

Дослідження показали хороші експлуатаційні характеристики передач черв'як-рейка. Поряд з високою жорсткістю, несучою здатністю і демпфуванням забезпечується надійна робота навіть в умовах недостатнього змащування (без тиску). Під час проектування

передачі слід враховувати сильний вплив на жорсткість деформацій опор черв'яка, кронштейна та інших елементів, що входять до силової схеми. Податливість масляного шару зазвичай не перевищує деформації цих елементів [3].

Спроектовано гідростатичну черв'ячно-рейкову передачу важкого токарного верстата. (рис. 2).

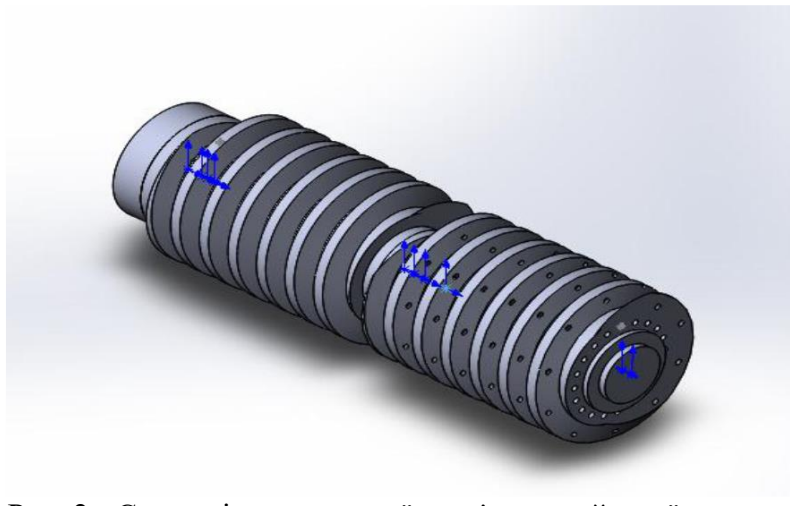


Рис. 2 - Схема гідростатичної черв'ячно-рейкової передачі

Розроблено блок-схему алгоритму роботи керуючого мікроконтролера. Алгоритм роботи розбито на дві функціональні частини: основну програму, підпрограму переведення прямого двійкового коду в код датчика та обробник переривання за таймером. Спроектовано адаптивну систему управління передачею. Встановлено, що домінуючими факторами, які впливають на точність обробки на важких токарних верстатах, є геометричні похибки та теплові деформації напрямних поздовжнього переміщення, а найбільш проблемним параметром точності типових виробів є точність форми в поздовжньому перетині.

Список посилань

1. Ковальов В.Д., Мельник М. С., Васильченко Я.В. Нестеренко В.М. Комплексний підхід до організації проєктних робіт при створенні сучасних мехатронних верстатів / Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. : зб. наук. пр. Краматорськ, 2018. № 1 (43). С. 133-140
2. Ковальов В.Д., Нестеренко В.М., Сільченко Д.К. Підвищення продуктивності виготовлення деталей з важкооброблюємих матеріалів за рахунок вдосконалення важких верстатів/ Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво: тези доповідей XVIII Всеукраїнської молодіжної науково-технічної конференції. Краматорськ, 2018. С. 87
3. Ковальов В.Д., Левченко М.М. Система автоматичної стабілізації положення осі обертання шпинделя при зміні значення і напрямку навантаження за рахунок застосування регульованих гідростатичних опор Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку: матеріали XVII Міжнародної науково-технічної конференції / за заг. ред. В. Д. Ковальова. Краматорськ, 2019. С. 60.
4. Ковальов В.Д., Нестеренко В.М. Удосконалення конструкцій важких верстатів для твердо-го точіння / Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку: матеріали XVII Міжнародної науково-технічної конференції / за заг. ред. В. Д. Ковальова. Краматорськ, 2019. С. 62

УДК 621.7. 669.02

Огінський Й.К., докт. техн. наук, професор

Власов А.О., канд. техн. наук, доцент

Гречаний О.М., канд. техн. наук, доцент

Васильченко Т.О., канд. техн. наук, доцент

Таратута К.В. канд. техн. наук, доцент

Шевченко І.А. канд. техн. наук, доцент

Запорізький національний університет, oginskyu@googlemail.com

Грідін О.Ю., докт. техн. наук, професор

Падерборнський університет, Німеччина

НОВИЙ НАПРЯМОК ВИРОБНИЦТВА ЗАГОТОВОК ДЛЯ МЕТАЛУРГІЇ ТА МАШИНОБУДУВАННЯ НА ОСНОВІ МЕТОДА ВАЛКОВОЇ ПРОШИВКИ- ПРОКАТКИ

Процес валкової розливки-прокатки (існує і інший термін - «беззлиткова прокатка») є одним з найбільш перспективних напрямів у металургії та металопереробних галузях в частини отримання нових видів металургійної та машинобудівної продукції, у тому числі нових виробів, що мають нетрадиційні для валкової розливки-прокатки форми, розміри та параметри. До таких видів продукції, зокрема, належить заготовка, що використовується у прокатному виробництві та машинобудуванні.

Основні принципи та особливості процесу валкової розливки-прокатки були вперше сформульовані в 1865 р. сером Г. Бессемером [1]. На шляху до реалізації процесу виникли технічні складності, внаслідок чого його промислове використання відстало від ідеї майже на сто років (початковим періодом промислового освоєння процесу валкової розливки-прокатки є 50-ті роки минулого століття). Серед останніх технічних рішень найбільш значною та перспективною є розробка для виробництва суцільних та порожнистих заготовок методом валкової розливки-прокатки [2]; зазначена розробка є першою у світовій практиці, виконаною у цьому напрямі. Розробка виконана у Запорізькому національному університеті кафедрою металургійного обладнання, вона характеризує собою початок нового етапу в чорній та кольоровій металургії у частині виготовлення заготовки для прокатного переділу та машинобудування. Вихідними передумовами до виконання розробок стали дослідження, виконані раніше разом із Ганноверським і Падерборнським університетами Німеччини [3-7], зокрема, створення експериментального прокатно-ливарного комплексу [4].

Валкова розливка-прокатка у найзагальнішому вигляді продовжує залишатися перспективним напрямом у металургії завдяки своїм безумовним перевагам: скорочення технологічного циклу; компактність агрегату; зниження енерговитрат (у тому числі, за рахунок скорочення технологічного циклу); за рахунок відсутності проміжного підігріву металу та мінімізація числа технологічних операцій; покращення екологічної обстановки виробництва (у тому числі, за рахунок відсутності проміжного підігріву); підвищення якості металу (зокрема, за рахунок покращення структури металу) більш висока продуктивність виробництва; скорочення чисельності персоналу.

Процес валкової розливки-прокатки є багатофакторним, він протікає в присутності непростих фізико-хімічних явищ, механіки, трибології, теплотехніки, гідравліки. Складність і багатофакторність процесу вимагає відомостей з суміжних областей знань і робить його вельми наукоємним. На даний час у світовій практиці валкової розливки-прокатки сформувалися неповні відомості (іноді і суперечливі думки) практично за всіма основними ознаками: температурно-швидкісними параметрами розливки, швидкістю обертання валків діаметрів валків, матеріалів валків, способів і матеріалів покриття робочих поверхонь валків, формування мікроструктури металу в зоні кристалізації-прокатки в

нестационарних умовах. Цілком очевидно, що стосовно отримання суцільних і порожнистих тіл, виникають додаткові труднощі.

На основі попередньо виконаних розробок та досліджень авторами створено нове рішення використання процесу валкової розливки-прокатки для отримання масивних заготовок, переважно, для прокатного переділу. Подібні спроби відомі у практиці експериментальних досліджень, вони проводилися ще в першій половині 20-го століття, але всі вони виконувались з використанням традиційних підходів (метод Г. Бессемера). З цієї причини перші випробування показали результати, що недостатньо обнадійливі, і метод не отримав свого подальшого розвитку. Незважаючи на інтерес з боку металургів, отримання заготовки методом валкової розливки-прокатки було припинено. Пізніше в результаті пошуку нових рішень було створено альтернативний процес безперервної розливки сталі. Досягнуті успіхи в цій галузі визначили напрямок розвитку металургії на досить тривалий час і знизило інтерес до пошуку інших рішень.

Створено принципово новий спосіб та пристрій для отримання методом валкової розливки-прокатки порожнистих і суцільних заготовок. Конструкція пристрою включає три валки-кристалізатори, які в сукупності з іншим оснащенням установки дозволяють утворити об'ємний міжвалковий простір, в якому відбуваються температурні, кристалічні та деформаційні перетворення металу і створюється об'ємне масивне тіло заготовки.

Розроблено і виготовлено лабораторний дослідницький комплекс, де проведені перші експериментальні дослідження, метою яких було перевірка працездатності способу і конструкції. Виготовлена експериментальна партія суцільних і порожнистих заготовок, які за своїми параметрами відповідають своєму призначенню. Результати опробувань підтвердили працездатність запропонованого способу та пристрою для реалізації способу. Промислове виготовлення суцільних і порожнистих заготовок методом валкової розливки-прокатки дозволить поліпшити техніко-економічні показники металургійних і машинобудівних підприємств: скоротити металургійний цикл, знизити енергозатрати, зменшити металоємність обладнання, поліпшити екологічний стан. Результати роботи можуть бути покладені в основу створення дослідно-промислової установки та після проведення додаткових досліджень використані підприємствами металургійного та машинобудівного комплексів для створення промислового обладнання.

Список посилань

1. Винахід. Патент 49053 США, B22D11/0622. Improvement in the manufacture iron and steel/ Bessemer H. (США) – № 49053 ; опубл. 25.07.1865 – 4 р.
2. Винахід. Патент 122095 Україна, B22D 11/06 від 10.09.2020 р. Огінський Й.К., Таратута К.В., Грідін О.Ю., Єршов С.В., Востоцький С.М. Пристрій для валкової розливки-прокатки металевих суцільних і порожнистих заготовок.
3. Винахід. Патент 104950 Україна. B22D 11/06, B21B 27/03, B21B 27/08 Валок для валкової розливки-прокатки / Грідін О.Ю., Огінський Й.К., Данченко В.М., Головка О.М. (Україна) – № 201213079; Заявл. 16.11.12. Опубл. 25.03.14, Бюл. №6. 6 с.: з іл.
4. Грудин О.Ю. Огінський Й.К., Шапер М. Технологічний літєйно-прокатний комплекс експериментальних досліджень процесів валкової розливки-прокатки Падерборнського університету. Пластична деформація металів : Колективна монографія. – Дніпро : Акцент ПП, 2017. С. 210-220.
5. Винахід. Патент 113368 Україна, МПК (2006.01) B22D 11/06, B22D 11/10 Пристрій для валкової розливки-прокатки профільованих штаб / Грідін О. Ю. (UA), Огінський Й. К. (UA), Бондаренко С. В. (UA), Шапер М. (DE) – № 201600100; Заявл. 04.01.16. Опубл. 10.01.17, Бюл. №1. – 5с.: з іл.
6. Хвист В.А., Грідін А.Ю., Огінський Й.К Стабілізація положення сталевий смуги у валковому кристалізаторі при отриманні біметалічного алюмінієво-сталевий композиту способом валкової розливки-прокатки/ Сучасні проблеми металургії. 2012. № 15. С. 3–13.
7. Grydin O.Yu. Experimental twin-roll casting equipment for production of thin strips / O.Yu. Grydin, Y.K. Ogins'kyu, V.M. Danchenko, F.-W. Bach // Metallurgical and Mining Industry. 2010. № 5 (2). P. 348–354.

УДК 621.771

Огінський Й.К., докт. техн. наук, професор

Запорізький національний університет, oginskyu@googlegmail.com

Огінський О.Й., аспірант

Ремез О.А., канд. техн. наук, доцент

Бояркін В.В., канд. техн. наук, доцент

Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро

НОВІ ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ У ВИРОБНИЦТВІ ПРОФІЛЬНИХ ТРУБ

Профільні труби отримують одним із способів: прокаткою (профілюванням), волочінням, пресуванням. Процес прокатки є найбільш продуктивним, має відносно невисоку енергоємність, витратний коефіцієнт при цьому близький до одиниці, точність виконання геометричних розмірів профілю на сучасних станах може бути досить високою. Серед профільних труб найбільшого поширення набули квадратні та прямокутні. Труби, виготовлені прокаткою, можуть бути безшовні або зварені, останні, як правило, прямошовні. У свою чергу, прямошовні зварні квадратні та прямокутні труби можуть бути отримані за способами профілегибочної або трубної технології. У першому випадку спосіб включає формування смуги з утворенням граней і кутів з наступним зварюванням. За трубною технологією профільну трубу формують із круглої трубної заготовки, яка може бути зварена або безшовна. Найбільшого поширення набуло виробництво за трубопрофільною технологією, технологічні основи отримання квадратних і прямокутних труб почали створюватись досить давно, пізніше вони розвивалися в багатьох роботах, зокрема, в роботах [1, 2].

Профільні труби виробляють, як правило, в холодному стані (у гарячому стані виробляють особливо товстостінні та спеціальні труби), Основу технологічного обладнання при прокатці складають кліті з чотирьохвалковими (універсальними) калібрами. Це є загальною ознакою всіх способів, якщо оцінювати виробництво з позицій складу обладнання. Концептуально основні принципи побудови систем калібрів сформувалися досить давно, всі вони полягають у тому, що вихідну круглу трубу-заготовку деформують у послідовно розташованих валках з струмками радіусу, що змінюється. Радіус струмків при цьому послідовно збільшують від калібру до калібру, тим самим зменшуючи опуклість сторін труби до чистового калібру, в якому остаточно формують плоскі грані труби.

Недоліком всіх відомих способів є можливість надмірного прогину стінки вглиб труби, що значно знижує якість труб. Найбільше це стосується кінців труб, де утворюється збільшений прогин, що виходить за межі вимог стандартів (ГОСТ, DIN та інші). Кінці труб із збільшеними прогинами виробники змушені обрізати по причині невідповідності розмірів кінців вимогам стандартів. Все це змушує виконувати додаткові допоміжні операції та створює відходи металу. Ще одним недоліком є те, що при переформуванні труби круглого перерізу в квадратний або прямокутний для кожного профілерозміру потрібен новий комплект валків, а це призводить до збільшення їх парку і, відповідно, збільшення експлуатаційних витрат. Перед авторами стояло завдання зменшення можливості утворення надлишкового прогину стінки на кінцях труб, підвищення точності формування граней труб, уніфікації валків та зменшення їх парку і в цілому знизити експлуатаційні витрати. Виконано аналіз механізму формозміни стінок труби починаючи від первинного її торкання зі стінками калібру і всі наступні етапи - заповнення осередка деформації металом, перехід до процесу, що з'явився, звільнення валків від металу. В результаті було докорінно перетворено параметри калібрів, змінено форму струмків і, відповідно, найбільш характерні кінематичні ознаки на контакті валок-метал. Завдяки формуванню труби-заготівлі в чотирьохвалкових калібрах попереднього профілювання від круглого профілю до опуклого багатокутного профілю досягається одночасний торкання торця труби-заготівлі і в подальшому розкочуванні з парою валків, що утворюють калібр, по чотирьох точках, що

сприяє центруванню труби-заготовки. симетрії. Торкання торця труби-заготовки і в подальшому гуркоті з другою парою валків калібру відбувається аналогічно. Зазначений характер торкання запобігає надмірному прогину стінки труби в напрямку обтиснення. Що стосується пристрою для виготовлення квадратних або прямокутних труб, що містить послідовно розташовані чотирьохвалкові калібри попереднього і остаточного профілювання, згідно винаходу [3], робочі поверхні валків калібрів попереднього профілювання утворені зрізаними круговими конусами, що сходяться малими підставами до вершини калібру.

Залежно від співвідношення сторін при прокатці профільних труб можливі варіанти калібрування в частині конусності струмків, що утворюють калібри [2], Залежно від співвідношення сторін при прокатці профільних труб можливі варіанти калібрування в частині конусності струмків, що утворюють калібри, аж до того, що одна з пар валків може бути циліндричною. При виготовленні прямокутних труб з великим відношенням сторін ділянки розкату, що формуються циліндричними валками, набувають зменшений радіус у порівнянні з трубою-заготовкою і, тим самим, небезпека утворення надмірного прогибу на малій стороні прямокутної труби знижується. Це дозволяє спростити форму робочої поверхні пар валків, що обжимають малу сторону, і понизити експлуатаційні витрати. При цьому формування більшої сторони прямокутної труби здійснюється в умовах, в яких зберігається можливість утворення надмірних прогинань, і з цієї причини її формування відбувається за принципом, де робочі поверхні валків калібрів попереднього профілювання утворені нециліндричними поверхнями.

Стан [1, 2] включає безперервну групу із шести універсальних клітей, які скомпоновані у вигляді трьох двоклітьових блоків. Кожен блок включає дві безстанинні попередньо-напружені універсальні кліті калібри, у який утворені парами приводних горизонтальних і непривідних вертикальних валків. Вузол попереднього навантаження розташований у верхній частині кліті. Конструкція універсальної кліті створена з урахуванням розробок, виконаних раніше. Вертикальні валки встановлені в окремому блоці (касеті), який включає дві горизонтальні несучі рами, між якими розташовані вертикальні валки; важільно-ексцентрикові натискні пристрої; вузли та елементи з'єднання з подушками горизонтальних валків. Блок містить пару вхідних і вивідних вертикальних роликів, які призначені для додаткової деформації труби в міжклітинних проміжках і одночасно виконують роль вступної і вивідної арматури.

Проектно-конструкторські та технологічні розробки реалізовані на виробничому підприємстві "Південтрансбудкомплект" (м. Дніпро) при створенні трубопрофільного стану 40-400 (40 та 400 - мінімальна та максимальна сторони сторони труби, відповідно). Перехід на нову технологію уможливило спрощення виготовлення бандажованих робочих валків. Розширений діапазон суміжних розмірів квадратних і прямокутних труб які виробляються на одному і тому ж комплекті валків. Стало можливим унеможливити утворення збільшених прогинів на кінцях труб.

Список посилань

1. Тимофеев О. Ю. Нові технічні рішення у виробництві великогабаритних профільних труб / О. Ю. Тимофеев, В. І. Синяговський, Й. К. Огінський // Металургійна та гірничорудна промисловість. – 2011. – № 7. – С. 206–210.

2. Винахід. Патент 82691. Україна МПК В21В 39/00. Стан безперервної прокатки профільних труб/Л. В. Михайленко, І. К. Огінський, В. І. Синяговський, Телевна Н. О., О. Ю. Тимофеев, Л. В. Тимошенко, Ю. В. Фролов.- 2005 10555. Заявлено 08.11.2005. Опубл. 12.05.2008. Бюл. № 9. – 6 с.: іл.

3. Винахід. Патент 101551. Україна МПК В21В 39/00. Спосіб виготовлення квадратних або прямокутних труб і пристрій для його здійснення (варіанти)/ Й.К. Огінський, О. Ю. Тимофеев, В. І. Синяговський, Й.К. Огінський, В.В. Бояркин, Є.О. Тимофеев, А.В. Синяговський,- 2011 10656. Заявлено 05.09.2011. Опубл. 10.04.2013. Бюл. № 7. – 6 с.: іл.

УДК 621.941-2

Волошин В.Н., канд. техн. наук, доцент

Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя, voloshyn@tk.te.ua

ПРИВОД ЗАТИСКУ ВІД ЕЛЕКТРОШПИНДЕЛЯ ГОЛОВНОГО РУХУ ТОКАРНОГО ВЕРСТАТА З ЧПК

У сучасне машинобудування за останні роки все більше впроваджується цифрове виробництво, основу якого складають кіберфізичні системи [1]. Важливими активними системними компонентами в цих системах, які самостійно управляють своїми технологічними і логістичними процесами, є технологічне обладнання та оснащення. Тому одним із важливих напрямків «розумного» машинобудівного виробництва є здатність швидко і гнучко перенастроювати автоматизоване технологічне обладнання [1]. Мехатронні модулі головного руху із механізмами затиску суттєво впливають на гнучкість токарних верстатів з ЧПК та точність і продуктивність токарної обробки. Використання електричного приводу у механізмах затиску токарних верстатів з ЧПК є дуже перспективним, який на відміну від гідравлічного має наступні переваги: низьке енергоспоживання; компактність; легкість контролю та регулювання силу затиску; екологічність, менша потреба у технічному обслуговуванні [2]. Зменшення складності і вартості електромеханічних приводів затиску можливе за рахунок нових концепцій енергоефективних мехатронних затискних пристроїв із використанням в якості джерела механічної енергії двигуна приводу головного руху [3]. Тому розроблення та дослідження енергоефективних електромеханічних приводів затиску затискних механізмів для токарних верстатів з ЧПК з використанням в якості джерела механічної енергії двигуна приводу головного руху є актуальною науково-практичною задачею.

Проведений огляду існуючих електромеханічних затискних механізмів сучасних токарних верстатів з ЧПК показує, що вони являють собою мехатронну систему, яка включає окремий привідний двигун, редуктор та передачу для перетворення обертового руху в зворотно-поступальний (кульково-гвинтову, роликово-гвинтову, або ін.), що приводить в дію тягу приводу затиску [4]. Вони також оснащені системою давачів для контролю зусилля затиску, положення тяги затиску та ін. Це призводить до їх складності та високої вартості.

Одним із способів зменшення складності і вартості таких затискних систем є запропонована в даній роботі концепція енергоефективного приводу затиску від електрошпинделя головного руху токарного верстата з ЧПК. Вона розроблена на основі генетико-морфологічного підходу [5] і передбачає один привід для затиску та обертання заготовки в процесі обробки. Для перемикання із режиму затиску на режим передачі крутного моменту заготовці служить зубчата муфта щеплення.

Привід затиску-розтиску деталі, встановленої у затискному патроні 4, здійснюється від шпинделя 1 (рис. 1). В режимі обробки внутрішній зубчатий вінець муфти щеплення 9 з'єднаний із зубчатыми вінцями гайки 7 і стакана 8. Таким чином гайка 7, стакан 8, гвинт 6 і труба затиску 5 обертаються з частотою обертання шпинделя 1 із затискним патроном 4. В режимі затиску-розтиску зубчатий вінець муфти щеплення 9 з'єднаний із зубчатым вінцем 11, приєднаним до корпусу приводу затиску, та зовнішнім зубчатым вінцем гайки 7. Керування пересуванням муфти щеплення 9 здійснюється від електромагнітного приводу 12 через тягу 13 із вилкою. При затиску за допомогою електромагнітного приводу 12 через тягу 13 муфта щеплення 9 переміщається вліво і входить в зачеплення із зубчатым вінцем 11, встановленим жорстко в корпусі приводу затиску. В результаті цього гайка 7 стає нерухомою і більше не з'єднана із шпинделем 1. Обертання шпинделя 1 призводить до обертання гвинта 6 і його загвинчування у нерухомій гайці 7 та лінійного переміщення тяги

затиску 5. Для контролю кутового положення шпинделя служить магніторезистивна вимірювальна система, що складається з магнітного барабана 14 та вимірювальної головки 15. Зупинка шпинделя 1 у відповідному кутовому положенні забезпечує правильну роботу муфти щеплення 2 із зубчатыми вінцями 10 і 11 на стакані 8 та корпусі приводу затиску. Контроль довжини ходу труби затиску 5 здійснюється сенсором лінійного переміщення 19, який слідує за осовим переміщенням контрольного диска 16.

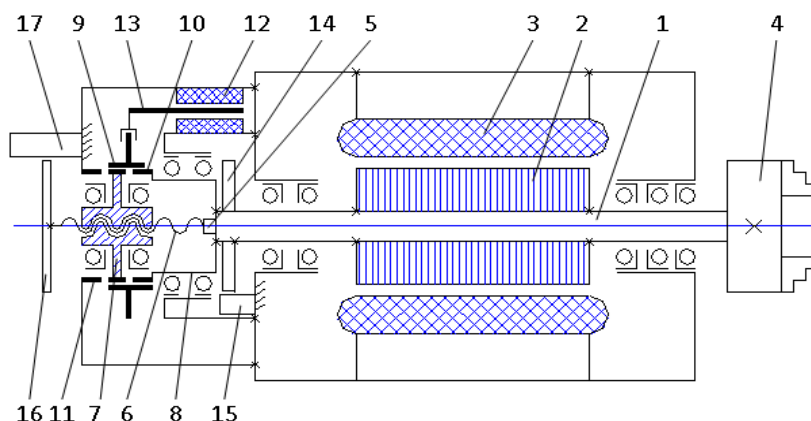


Рис. 1. Конструктивна схема приводу затиску від електрошпинделя приводу головного руху

В рамках теоретичних досліджень розроблено розрахункову схему приводу затиску, виведено залежності для визначення його кінематичних характеристик та встановлено взаємозв'язок між ними. Розроблено математичну модель для визначення загальних втрат енергії у механічній частині електромеханічного приводу затиску від шпинделя у процесі затиску. Математична модель враховує втрати енергії на переміщення мас ланок електромеханічного приводу затиску та роботу (еквівалент енергії), що виконується для подолання сил тертя у самогальмівній гвинтовій парі. З використанням пакету прикладних програм MathCAD проведено моделювання втрат енергії у механічній частині електромеханічного приводу затиску від шпинделя в процесі затиску в залежності від осової сили приводу затиску та коефіцієнта тертя у гвинтовій парі.

Запропонований привод затиску від електрошпинделя приводу головного руху із пристроєм перемикачів режимів роботи у вигляді зубчатої муфти має ряд суттєвих переваг, таких як енергоефективність, компактність, легкість керування, здатність підтримувати необхідну силу затиску без підведення енергії після затиску та її регулювання.

Список посилань

1. Industrial Internet of Things. Cybermanufacturing Systems/ S.Jeschke, C. Brecher, H. Song, D.-B. Rawat. – Springer, 2017. – 709 p.
2. Кузнецов Ю.М. Приводи затискних механізмів металообробних верстатів: монографія/ Ю.М. Кузнецов, Б.І. Придальний. – Луцьк: Вежа-Друк, 2016. – 352 с.
3. Jang D. Design of A High Force Electromechanical Actuator for Electrically Driven Lathe Machine/ D. Jang, H. Shin, S. Paul, J. Chang and Y. Yun// IEEE Transactions on Industrial Electronics – vol.10, 2019. – p. 1-10.
4. Волошин В.Н. Мехатронна система затиску токарного верстата з ЧПК з магнітореологічним середовищем/ В.Н. Волошин// Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС-2020): матеріали тез доповідей X Міжнародної наук.-практ. конф., [Чернігів], 29–30 квітня 2020р./ Національний університет «Чернігівська політехніка». – Чернігів, 2020, Т1. – С.115-116.
5. Кузнецов Ю.М. Передумови генетико-морфологічного синтезу електромеханічних приводів затискних механізмів, що обертаються/ Ю.М.Кузнецов, Б.І. Придальний// Вісник НТУУ «КПІ». Серія машинобудування. – 2015.– №3(75). – С.48 – 55.

УДК 620.22

Шевченко О.А., канд. техн. наук, доцент

Панасюк А.А., студент

Нитка С.М., асистент

Національний авіаційний університет, Київ, oashev@nau.edu.ua

ВИПРОБУВАННЯ ПОСУДИН ПІД ТИСКОМ ПОКРИТИХ КОМПОЗИТНОЮ ОБОЛОНКОЮ

Посудини що працюють під тиском знайшли широке застосування в паливних, пневмогідравлічних та системах життєзабезпечення аерокосмічних апаратів. В залежності від конструктивного призначення, посудини виготовляють сферичної або циліндричної форми. Згідно з класифікацією Американського товариства інженерів-механіків (ASTM) та Міжнародної організації стандартизації (ISO) посудини під тиском поділяють на п'ять типів: I - повністю металеві сталеві або алюмінієві; II - сталевий або алюмінієвий лайнер (вкладиш) та композитний обруч обгортання; III - сталевий або алюмінієвий лайнер та повне композитне обгортання; IV - пластиковий лайнер та повне композитне обгортання; V – немає лайнера - повністю композитна оболонка, (рис. 1) [1].

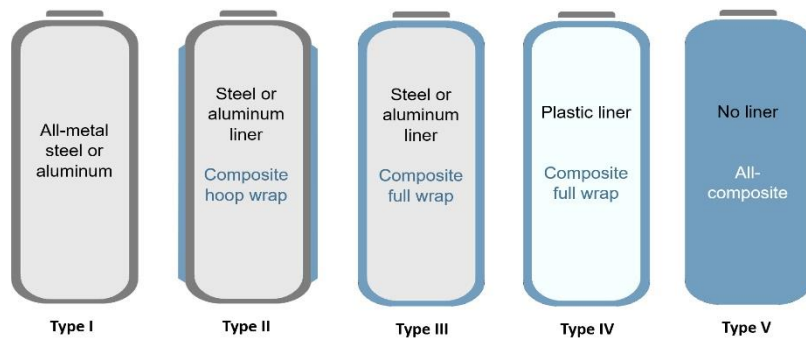


Рис. 1 – Класифікація типів посудин, що працюють під тиском

У даній роботі розглянуто виготовлення та вимоги до випробувань посудин під тиском з композитними оболонками, які відносяться до типу III (див. рис. 1). Посудини з композитними оболонками, що працюють під тиском, відомі в англomовних джерелах під аббревіатурою COPV (composite overwrapped pressure vessels), з'явилися завдяки Національному управлінню з аеронавтики і дослідження космічного простору (NASA) і свого часу стали доступними для громадськості через Програму використання технологій NASA. В сьогоденному світі COPV знайшли широку комерційну реалізацію у ряді галузей промисловості, включаючи системи зберігання для транспортних засобів, що використовують природний газ, хімічну обробку, видобуток нафти, фармацевтичне виробництво та морське буріння.

Зменшена, подекуди в два рази у порівнянні з суцільнометалевими посудинами, вага COPV при збереженні експлуатаційних характеристик для посудин, що працюють під тиском, визначили пріоритетність застосування COPV в паливних, пневмогідравлічних системах та системах життєзабезпечення аерокосмічних апаратів.

Широка комерціалізація COPV почалась в результаті успіху концепції дихальної системи NASA Firefighter's Breathing System, прийнятої пожежними службами США, яка включала нові посудини з композитними оболонками із скловолокна, що мали вдвічі меншу вагу в порівнянні з суцільнометалевими, зберігаючи при цьому необхідну кількість повітря для дихання пожежників. Після сертифікації цих COPV Міністерством оборони США (DoD) в 1975 році розпочалось їх комерційне виробництво [2].

COPV потребують специфічних вимог до проектування, виготовлення, випробувань, експлуатації, які регламентовані стандартом ANSI/AIAA S-081B-2018 [3]. Проектування

COPV вимагає аналізу лайнера (вкладиша), волокнистого покриття і взаємодії між ними. Металевий лайнер в COPV виконує декілька функцій: герметичне ущільнення рідин та газів, форма або оправка, на яку намотується композитна оболонка, і в деяких випадках несучий елемент конструкції. Металевий лайнер виготовляють з алюмінію, високоміцної сталі, сплаву Inconel®, титану або криогенної нержавіючої сталі типу AISI [2].

Композитну оболонку отримують намотуванням просочених в'язким волокон, які виконують функцію сприйняття основної частини навантаження. Правильне розміщення волокон полегшує розподіл навантаження та забезпечує захист. Зазвичай в'язким є полімерна матрична смола, а волокна використовують вуглецеві, скляні та арамідні (Kevlar® і Zylon®) [4]. Якщо посудина не сферична а циліндрична, зазвичай застосовують як поздовжнє (спіральне), так і окружне (обручеве) намотування волокон. Після намотування просочених волокон, полімеризації смоли при підвищеній температурі і наступної перевірки полімеризації, посудина може бути змінена за розміром або піддана автофретажу для поліпшення структурних характеристик. Автофретаж – це процес, за допомогою якого тиск COPV перевищує границю текучості металевго вкладиша, що призводить до пластичної деформації або розширення вкладиша. Залишкова деформація стиснення у вкладиші призводить до покращеного його терміну служби [2].

Аналітичні розрахунки COPV практично неможливі, але можуть бути проведені методом скінчених елементів за допомогою спеціальних програм наприклад MSC Nastran/Patran, яка дозволяє розраховувати конструкції з шаруватих композиційних матеріалів. Але для розрахунків композиційної оболонки необхідним є знання механічних характеристик шарів, які враховують відповідну технологію намотування та відповідні режими отвердження. Планується виготовлення зразків з односпрямованої вуглецевої стрічки просоченої епоксидним сполучником SR 8500 фірми SICOMIN (Франції) з активатором КТА-221, що дозволить отримати високі характеристики міцності і жорсткості. Отримані при випробуваннях механічні характеристики шарів будуть використані при розрахунках напружено-деформівного та граничного станів посудин.

Кількість випробувань, які проводять на різних етапах створення COPV, призначених для аерокосмічних апаратів, є значною. До них відносять перевірку фізико-хімічних властивостей матеріалів, неруйнівний контроль, перевірку герметичності, і такі специфічні для COPV, як візуальне випробування порогу механічного пошкодження, випробуванням на пошкодження оболонки, стійкість до пошкоджень у найгіршому випадку, витік перед вибухом (LBB) (англійською – Leak before burst). LBB – режим відмови COPV, при якому посудина протікає під тиском, перш ніж вона лопне [4]. LBB зазвичай стосується лише металевго вкладиша, але з усіма вище переліченими випробуваннями входить до переліку стандартних випробувань COPV [3].

В роботі представлені відомості про виробництво та випробування посудин, що працюють під тиском з композитними оболонками (COPV) призначених для застосування у аерокосмічних апаратах. Наведені матеріали для виготовлення COPV, відомості щодо особливостей випробувань COPV, і нормативні документи з вимогами до COPV і особливо їх випробувань. Представлено напрямок експериментальних досліджень, з метою визначення механічних характеристик композитної оболонки для використання у моделюючих комп'ютерних програмах.

Список посилань

1. Composites end markets: Pressure vessels (2022) URL [Електронний ресурс]: <https://etcwinders.com/news/compositesworld-the-markets-pressure-vessels-2022/>
2. Composite Overwrapped Pressure Vessels, A Primer, NASA/SP-2011-573, Pat B. McLaughlan, P.E. Scott C. Forth, Ph.D. Johnson Space Center, Houston, Texas Lorie R. Grimes-Ledesma, Ph.D. Technical Review Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, Calif .
3. ANSI/AIAA S-081B -2018 Space systems- Composite Overwrapped Pressure Vessels.

4. Inspection for Damage to Carbon/ Epoxy Composite Overwrapped Pressure Vessels. NASA White Sands Test Facility. August 2010.

УДК 629

Кужельний Я.В., канд. техн. наук, доцент

Галенко Д.А., здобувач вищої освіти

Палій І.М., здобувач вищої освіти

Національний університет «Чернігівська політехніка», kyzhelnuyitm@stu.cn.ua

ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ТА РОБОТИ ГІБРИДНИХ АВТОМОБІЛІВ

Тренд на екологічність транспортних засобів зростає, також збільшується кількість авто на електротязі. Автомобіль з гібридним двигуном отримує для роботи енергію від різних джерел живлення. У такому автомобілі використовуються ДВЗ та електродвигун, які доповнюють один одного. Завдяки цьому знижується навантаження та підвищується ефективність автомобіля [1].

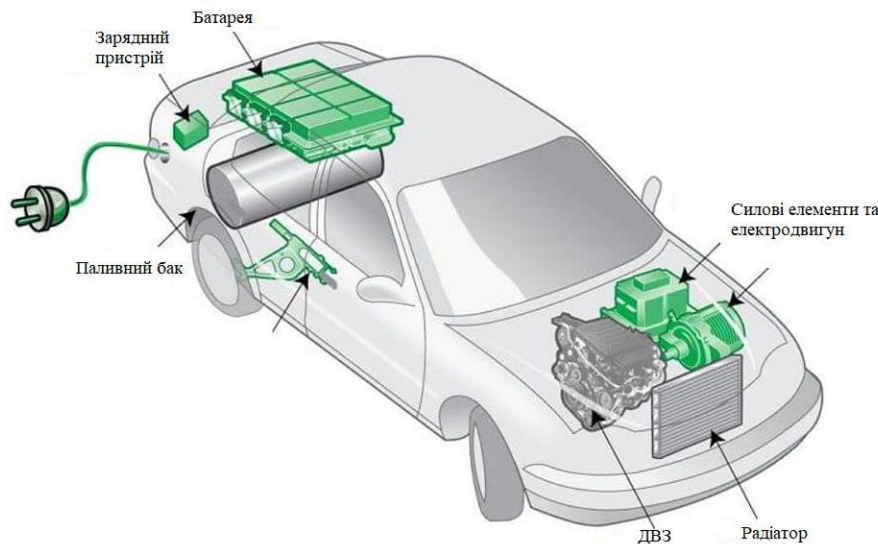


Рис.1 – Основні складові частини гібридного автомобіля

Гібридні автомобілі мають унікальні особливості як у своїй конструкції, так і у режимі роботи. Розглянемо конструкцію гібридного автомобіля на прикладі Ford Fusion Hybrid.

1. Двигун: гібридні автомобілі мають два джерела потужності: двигун внутрішнього згоряння та електродвигун. Зазвичай це бензиновий двигун в поєднанні з електродвигуном або двигуном, що працює на дизельному паливі, які узгоджені за допомогою складної системи керування.

2. Батарея: гібридні автомобілі обов'язково мають батарею для зберігання електричної енергії. Це дозволяє зберігати енергію, отриману під час гальмування або від електричного джерела, та використовувати її під час руху або для запуску автомобіля.

3. Режими роботи: гібридні автомобілі мають декілька режимів роботи:

- Електричний режим: автомобіль може рухатися тільки на електричному двигуні, що зменшує споживання палива та викиди.

- Гібридний режим: використовуються обидва джерела енергії, при цьому автомобіль може самостійно визначати, коли використовувати кожен тип двигуна для оптимальної ефективності.

- Традиційний режим: використовується лише двигун з внутрішнім згорянням, який може бути важливим під час експлуатації у швидкісному режимі та розгону автомобіля або під час руху у складних дорожніх умовах.

4. Регенерація енергії: під час гальмування або сповільнення гібридні автомобілі використовують систему регенеративного гальмування для перетворення кінетичної енергії у електричну енергію, яка потім зберігається в батареї.

5. Керування: гібридні автомобілі мають складні системи керування, які враховують різні умови дороги, стан батареї та вимоги водія для оптимізації роботи двигунів.

6. Відновлювані джерела енергії: деякі гібридні моделі можуть бути оснащені сонячними панелями або іншими відновлюваними джерелами енергії для зарядки батареї, що сприяє зменшенню споживання палива та викидів.

Гібридні автомобілі представляють собою комплексні системи, які поєднують в собі переваги як двигуна внутрішнього згоряння, так і електричного приводу, щоб забезпечити оптимальну ефективність та екологічність у різних умовах експлуатації [2,3].

До переваг гібридного автомобіля відносяться:

1. Ефективність: гібридні автомобілі споживають менше палива порівняно з традиційними автомобілями з двигуном внутрішнім згорянням, оскільки використовують електродвигун для ефективного руху на короткі відстані та при низьких швидкостях.

2. Низькі викиди: зменшення використання палива призводить до зменшення викидів CO₂ та інших шкідливих речовин, що сприяє поліпшенню якості повітря.

3. Економія коштів: зменшене споживання палива дозволяє власникам гібридних автомобілів економити кошти на заправках.

4. Тихий рух: електричний режим руху забезпечує тихий хід автомобіля без викидів шкідливих речовин, що особливо корисно в міському середовищі.

До недоліків гібридного автомобіля відносяться:

1. Вища вартість автомобіля: гібридні автомобілі зазвичай коштують дорожче ніж автомобілі із звичайним ДВЗ через додаткові витрати на батареї та електричну систему.

2. Обмежений запас ходу на електротязі: більшість гібридних автомобілів мають обмежений запас ходу при роботі у електричному режимі, що може бути проблемою для довгих поїздок.

3. Потреба в заряджанні: для максимальної вигоди від гібридного автомобіля потрібно регулярно заряджати батарею, що може бути не зручно або неможливо у деяких ситуаціях.

4. Складніше обслуговування: гібридні системи потребують спеціалізованого обслуговування, що може бути дорожче та складніше, ніж у звичайних автомобілів.

Перспективи розвитку гібридних автомобілів можуть охоплювати декілька напрямків, спрямованих на поліпшення ефективності, зменшення викидів та розширення можливостей для водіїв:

1. Покращення батарейної технології.
2. Розширення електрифікації.
3. Удосконалення технологій керування.
4. Використання відновлюваних джерел енергії.
5. Розвиток більш ефективних систем регенеративного гальмування.
6. Використання інноваційних матеріалів.

В цілому, гібридний автомобіль – це більш сучасний вид транспорту, який має свої переваги та недоліки. Але завдяки тому, що гібридний автомобіль має два джерела енергії від ДВЗ та електродвигуна, підвищується ефективність експлуатації автомобіля.

Список посилань

1. Що таке автомобілі-гібриди? Які бувають і навіщо вони потрібні? <http://surl.li/touuj>
2. Переваги гібридних автомобілів для бізнесу <https://www.toyota.ua/business/business-plus/toyota-hybrid-benefits>
3. Чи вигідні гібриди? Переваги гібридних автомобілів? <https://www.aria.lviv.ua/chy-vyhidni-hibrydy-perevahy-hibrydnykh-avtomobiliv/>

УДК 621.9:537.6:539.4:004.9

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

Ковалевська О.С., канд.техн.наук, доцент

Сидюк Д.М., аспірант

Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, kovalevskii61@gmail.com

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МАГНІТНО-РЕЗОНАНСНОЇ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ МАШИНОБУДУВАННЯ

Попередні дослідження авторів показали, що механічні наноамплітудні вібрації зразків у рівномірному магнітному полі сильного (неодимового) магніту можуть спричинити зміни у структурі сталевих деталей та підвищити твердість матеріалів[1,2]. В роботі запропоновані математичні моделі щодо магнітно-резонансної обробки, які враховують магнітні, механічні та термодинамічні ефекти для оптимізації властивостей оброблюваних матеріалів, а також наведено експериментальне підтвердження їхньої практичної ефективності в реальних умовах.

Модель, що описує зміцнення матеріалу через впорядкування дефектів у структурі, може використовувати принцип суперпозиції стресів та їх релаксації. Вплив вібрацій можна розглядати як періодичне прикладання та зняття навантаження, що веде до поступової релаксації напружень навколо дефектів і, відповідно, до зменшення їхнього впливу на міцність матеріалу:

$$\sigma(t) = \sigma_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t), \quad (1)$$

де $\sigma(t)$ — миттєве напруження в матеріалі, σ_0 — початкове напруження, β — коефіцієнт релаксації, ω — кутова частота вібрацій.

Зменшення втоми можна моделювати, використовуючи модифіковану модель Палмгрена-Майнера для накопичення пошкоджень. Якщо припустити, що вібрації зменшують швидкість накопичення втомних пошкоджень, модель може виглядати наступним чином:

$$D(t) = \int_0^t \frac{dN}{N_f(\sigma(t'))} dt', \quad (2)$$

де $D(t)$ — ступінь втомного пошкодження, dN — кількість циклів навантаження, N_f — кількість циклів до руйнування при даному максимальному напруженні $\sigma(t')$.

Для неметалічних матеріалів, як-от полімерів, можна використовувати модель, яка враховує залежність в'язко-пружних властивостей від частоти вібрацій. Релаксація напружень в полімерах може бути описана через комплексний модуль пружності, що залежить від частоти:

$$\sigma(t) = E^*(\omega) \epsilon(t), \quad (3)$$

де $E^*(\omega)$ — комплексний модуль пружності, який залежить від частоти вібрацій, $\epsilon(t)$ — деформація.

Комплексний модуль включає в себе як зсувну, так і в'язку складову, що дозволяє моделювати часові зміни деформації під впливом постійних вібрацій.

Модель, яка розглядає термодинамічні ефекти внаслідок вібрацій в магнітному полі, включає декілька кроків: від генерації тепла в матеріалі до впливу цього тепла на термічне розширення і напруження. Модель потрібно розглядати з урахуванням енергетичного балансу та механічної взаємодії між структурами матеріалу.

$$\dot{Q} = f(A, f, \rho, c_p, V), \quad (4)$$

де: $\dot{Q}$ — швидкість генерації тепла, A — амплітуда вібрацій, f — частота вібрацій, ρ — щільність матеріалу, c_p — теплоємність матеріалу, V — об'єм матеріалу.

Ця функція має враховувати, як вібрації в магнітному полі перетворюються на теплову енергію, що поглинається матеріалом.

$$\Delta L = \alpha L \Delta T, \quad (5)$$

де: ΔL — зміна довжини матеріалу, α — коефіцієнт термічного розширення, L — початкова довжина, ΔT — зміна температури.

Зміна температури ΔT може бути зв'язана з генерацією тепла через:

$$\Delta T = \frac{\dot{Q}}{mc_p} \Delta t, \quad (6)$$

де m — маса матеріалу, а Δt — час впливу вібрацій.

$$\sigma_{thermal} = E \alpha \Delta T \quad (7)$$

де: $\sigma_{thermal}$ — термічні напруження, E — модуль Юнга (еластичність) матеріалу.

Надана схема впливу на пластини ріжучого інструменту CNMG 120508E-M рівномірного магнітного потоку, ініційованого в результаті резонансних коливань зразка, викликаних ширококутовим впливом рівній амплітуди за допомогою генератора «білого шуму» в діапазоні 20 Гц ... 20 кГц і п'єзо випромінювача для варіантів взаємного розташування елементів складання для експериментальних досліджень магніторезонансної обробки евтектоїдної сталі з хімічним складом: C = 0,8%; Si=0,15%; Mn=0,15%; P=0,012%; S=0,017%; Cr=0,10%; Al=0,009%; Cu=0,10% (рис.1).

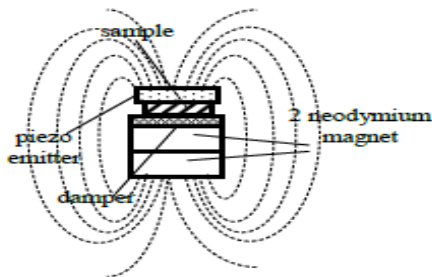


Рис. 1 – Принципові схеми розташування зразків (sample) для зміцнення, неодимових магнітів (neodymium magnet), п'єзозбуджувача (piezo emitter) і демпфера (damper)

Додавання зразкам механічних коливань в рівномірному постійному магнітному полі дозволив максимально досягти об'ємного зміцнення зразків від 145 НВ до 197 НВ. Зразки твердого сплаву, що поміщені в магнітне поле постійного магніту, піддані резонансним коливанням, викликаним ширококутовим впливом постійної амплітуди - «білим шумом», змінюють твердість і досягають максимального значення вже після 20...30 хвилин магніторезонансної обробки і після цього стабілізують значення твердості. Порівняльна ефективність магніторезонансної обробки зразків за представленими схемами забезпечена ширококутовим п'єзоелектричним збудником потужністю до 5 Вт.

Список посилань

1. Ковалевський, С., Ковалевська, О. (2022). Нові можливості для обробки матеріалів у сильному магнітному полі. // Технічні науки та технології, (4(26), 7–14. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-4\(26\)-7-14](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-4(26)-7-14).
2. Ковалевський, С. В., Ковалевська, О. С., Пелипенко, О. О. (2022). Магніторезонансна обробка металевих немагнітних зразків матеріалів. // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС-2022): Матеріали тез доповідей XII міжнародної науково-практичної конференції (Том 2, с. 46-47). Чернігів: Чернігівський національний технологічний університет. Доступно на: <https://conference-chernihiv-polytechnik.com/wp-content/uploads/2023/03/Tezy-2022-Part-1-46-47.pdf>.

УДК 621.6-11

Павленко П.М., докт.техн.наук, професор

Заслужений діяч науки і техніки України,
лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки,
професор Національного авіаційного університету,
petrpav@ukr.net

ЦИФРОВІ ДВІЙНИКИ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В МЕТАЛООБРОБНИХ ГАЛУЗЯХ ПРОМИСЛОВОСТІ

Сьогодні у світовій інженерії стрімко розвиваються два глобальні тренди, які, на думку експертів, визначають найближче майбутнє багатьох галузей:

- дослідження, розроблення та використання адитивних технологій для металевих 3Ддруку деталей і конструкцій;
- дослідження, розроблення та використання цифрових двійників[1,2].

Розглянемо коротко кожен із них окремо, а потім їх спільне використання.

В останні кілька десятиліть промислове виробництво більше не обмежується традиційними видами виробництва металевих виробів. Процес адитивного виробництва, що інтенсивно розвивається і використовується, відповідає сучасним вимогам обробки високоякісних і складних форм, а також виробництва виробів з індивідуальним дизайном. З дев'яти основних видів адитивного виробництва виокремимо пряме осадження енергії та матеріалів (DED –DirectEnergyDeposition) – спеціалізована технологія адитивного виробництва для друку металевих деталей. А з цього виду виокремимо конкретну, наразі досліджувану, технологію та відповідний 3Ддрук, а саме – адитивне виробництво дрютяної дуги (WAAM –WireArcAdditiveManufacturing). Як джерело енергії тут використовується електрична дуга, а як вихідний матеріал – дріт з різних матеріалів. Ця технологія є одним із найперспективніших процесів у категоріях методу DED, оскільки саме вона дає змогу виготовляти деталі з різних сплавів з необхідною щільністю та зниженою пористістю, порівняно з лазерними та іншими металевими адитивними системами. Технологія WAAM привертає значну увагу в промислових галузях практично всіх індустріально розвинених країн світу, включно з машинобудівною, приладобудівною, оборонною та іншими, завдяки своїй здатності виготовляти великогабаритні металеві деталі з високою швидкістю наплавлення, часом виробничого процесу, необхідною точністю та економічністю.

Для масового індустріального використання адитивного виробництва дрютяною дугою необхідно забезпечити якісний 3Ддрук з першого разу. Однак, наразі необхідно методом проб і помилок оптимізувати параметри процесу для кожної конкретної деталі. Якщо друкується нова деталь зі складною геометрією, то, як правило, спочатку необхідно виконати кілька тестових ітерацій. Крім того, під час цього процесу можливо багато невизначеностей. Через зміну умов довкілля, температури або забруднення вихідного матеріалу, підкладки або потоку інертного газу можуть виникнути дефекти, що призводять до виробничого браку і значних витрат. І хоча фізичний процес цієї адитивної технології виготовлення деталей добре вивчений, автоматизація управління цим процесом у реальному режимі часу і забезпечення високої точності та якості одержуваних деталей все ще залишається відкритою дослідницькою проблемою.

Вирішення цих проблем сьогодні ґрунтується на використанні саме технологій і можливостей цифрових двійників. Цифрові двійники адитивного виробництва здатні розв'язувати завдання скорочення кількості дефектів, вирішуючи оптимізаційні задачі на кожному з етапів 3Ддруку металевих деталей і конструкцій. Однак, розробка наукових і прикладних рішень для цифрових двійників адитивних технологій з виготовлення металевих виробів перебуває на ранній стадії досліджень. Нижче представлені авторські

матеріали щодо актуальних наукових та прикладних завдань вище описаних проблем і варіантів їх вирішення, над якими наразі працюють науковці в усіх промислово розвинених країнах світу.

Комплекс, що реалізує безперервний та якісний процес виготовлення металевих деталей за технологією WAAM, зображений на рисунку 1.

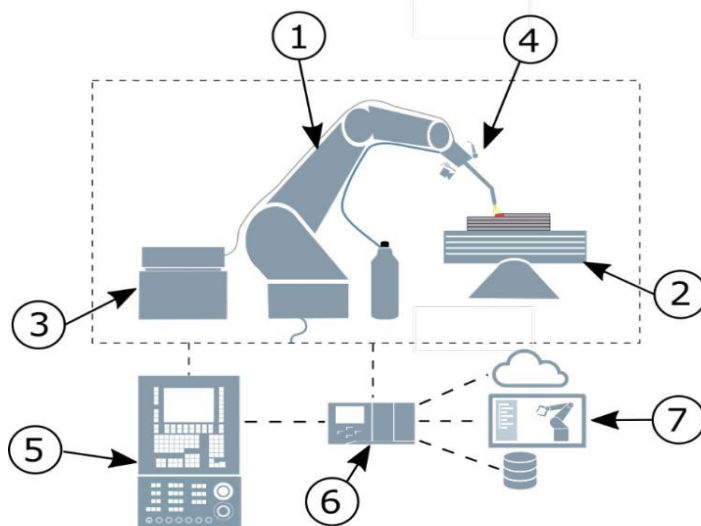


Рис.1 – Схема інтелектуальної виробничої системи WAAM:

- 1) робот, 2) поворотно-відкидний стіл, 3) зварювальне джерело, 4) сенсорна установка контролю, 5) система управління, 6) система моделювання, 7) цифрові двійники

Інтелектуальна виробнича система складається із семи частин, як показано на рисунку. Кінематична установка ґрунтується на шестивісному роботі (1) з двовісним похило-поворотним столом (2). Процес зварювання активується зварювальним джерелом (3). Процес WAAM контролюється сенсорною установкою (4), що включає датчик напруги та струму, зварювальну камеру, спектрометр, структурний акустичний датчик, мікрофон і датчик витрати газу. Кінематика, як і зварювальне обладнання, управляється числовим контролером (5), підключеним до комп'ютерної системи моделювання (6). Система обробляє дані від датчиків та аналізує їх. Крім того, вона забезпечує пряму трансляцію, збагачену інформацією про всі дані процесу, оператору або інженеру через людинно-машинний інтерфейс цифрових двійників (7).

Розглянемо тепер поняття і термін цифрові двійники.

Згідно зі стандартом ISO 23247 цифровий двійник – це цифрова модель конкретного фізичного об'єкту, процесу або їхнього життєвого циклу, що забезпечує конвергенцію між фізичним і віртуальним станами з відповідною швидкістю синхронізації.

Компоненти цифрового двійника класифікують таким чином.

1 Елементні компоненти:

- 1.1 Фізичний (може бути продуктом, процесом, роботою або їхнім життєвим циклом).
- 1.2 Цифровий (віртуальний компонент).
- 1.3 Інформаційний потік між фізичним і цифровим активом.

2 Імперативні компоненти:

2.1 Пристрої Інтернету речей (IoT) – для збору інформації датчиків від різних підкомпонентів фізичного активу і периферійних пристроїв.

2.2 Дані збираються з різних компонентів і програмного забезпечення.

2.3 Машинне навчання – для прогнозування та реалізації зворотного інформаційного зв'язку, а також для визначення ефективних стратегій пом'якшення або усунення похибок і проблем виготовлення деталі.

Очевидно, що до цієї класифікації можна додавати й інші складові, такі, як великі бази експериментальних даних, безпека даних тощо. З урахуванням цієї інформації, очевидно, що вищевказане визначення ISO стандарту не відображає суті сучасного стану цифрового двійника.

На нашу думку, цифрові двійники – це комп'ютерні моделі фізичного об'єкту, процесу або їхнього життєвого циклу, синхронізовані в реальному часі за допомогою двостороннього зіставлення з метою прогнозування характеристик і усунення проблем, що виникають та забезпечення їх якісної роботи або поведінки.

З цього визначення і з досвіду проведених досліджень випливає важливий висновок. Для складних об'єктів і процесів цифровий двійник може, і, як правило, повинен представлятися не однією комп'ютерною моделлю, а кількома моделями.

Нижче подано рекомендовані етапи та завдання розроблення цифрових двійників для адитивних технологій виготовлення деталей із металів за технологією WAAM.

Етап1. Створення цифрового двійника деталі або процесу її експлуатації, без безпосереднього спостереження за фізичним процесом 3D друку:

1.1 Проектування 3D-моделей з використанням CAD/CAM/CAE-систем і комп'ютерне моделювання за допомогою цифрових платформ (3DExperience та ін.) з урахуванням особливостей адитивного виробництва, таких як можливість створення деталей складної геометрії та інших характеристик.

1.2 Створення цифрового двійника деталі або конструкції. Включає в себе дані фізичної структури, дані про параметри та характеристики функціонування та поведінки.

1.3 Тестування та оптимізація віртуальних випробувань деталі, конструкції або процесу (оцінювання міцності, гідродинаміки та стійкості до різних умов експлуатації та інші характеристики).

1.4 Коригування та зміна деталі, конструкції або процесу за результатами досліджень.

Етап 2. Створення цифрового двійника процесу моделювання металів, сплавів і додаткових матеріалів для дослідження та управління властивостями матеріалів (розв'язання матеріалознавчих задач):

2.1 Вибір відповідного металевого дроту (порошку) або іншого матеріалу для адитивного виробництва.

2.2 Дослідження властивостей матеріалу, включно з температурними характеристиками, міцністю, стійкістю до корозії тощо.

2.3 Комп'ютерне мультифізичне моделювання даних – попереднього друку, геометрії деталі, налаштувань 3D-принтера, динаміки краплі металу (порошку), термічних процесів, еволюції мікроструктури та напружень/деформацій.

2.4 Створення цифрового двійника адитивного процесу для забезпечення оптимальних параметрів і характеристик друку та прогнозування результатів у нових сценаріях друку.

2.5 Згенеровані оптимальні процеси передаються оператору або інженеру для зміни складу вихідного матеріалу або налаштувань 3D принтера.

Етап 3. Створення цифрового двійника процесу 3D друку для його симуляції та оптимізації:

3.1 Налаштування та використання датчиків і сенсорів, встановлених на принтер, для моніторингу та використання даних у реальному часі.

3.2 Використання методів машинного навчання, методів комп'ютерного зору, методів семантичної сегментації та інших сучасних інтелектуальних методів оперативного опрацювання даних під час 3D друку.

3.3 За допомогою CAE-системи (наприклад, Abaqus) і спеціальних датчиків, встановлених на принтері, проводять симуляцію процесу друку, включно з тепловими й механічними параметрами та характеристиками для оптимізації параметрів друку і запобігання виникненню дефектів.

3.4 Отриманий цифровий двійник процесу 3D друку використовує дані датчиків для прямих вимірювань та обчислювальні дані (моніторинг і прогнозування) спостережуваних даних про шар металу для створення віртуального представлення відбитка металу в реальному часі.

3.5 Шаруватий процес друку металевих виробів дає змогу захоплювати й обробляти постійний інформаційний потік даних, вносячи корективи в кожний наступний шар обробки.

3.6 Оптимізація процесу друку, шляхом підбору оптимальних параметрів друку, включно зі швидкістю, температурою, висотою шару та орієнтацією деталі.

3.7 Застосування стратегій підтримки для деталей зі складною геометрією.

Етап 4. Створення цифрового двійника процесу функціонування 3D-принтера:

4.1 Створення цифрового двійника для вдосконалення фізичного 3D-принтера на основі його віртуального представлення та моделювання системи управління.

4.2 Виготовлення прототипів складних деталей для перевірки функціональності процесу 3D друку та його ефективності.

4.3 Проведення випробувань, включно з механічними тестами, для оцінювання якості та надійності процесу 3D друку.

Етап 5. Створення інтелектуального цифрового двійника процесу управління життєвим циклом 3D друку:

5.1 Аналіз результатів тестування та внесення змін до процесу друку для поліпшення якості та продуктивності.

5.2 Інтеграція з життєвим циклом продукту–виробу або процесу:

5.3 Розвиток цифрового двійника протягом усього життєвого циклу продукту, включно з оновленням моделі на основі даних про експлуатацію та обслуговування.

5.4 Адаптивне обслуговування з використанням даних із цифрових двійників для адаптації до планового технічного обслуговування, виходячи з їхнього сталого стану та умов експлуатації.

5.5 Оновлення компонентів для швидкого виробництва оновлених або модифікованих компонентів та комплектуючих.

Усі із запропонованих етапів вимагають тісної взаємодії інженерів, технологів, матеріалознавців та IT-фахівців для створення ефективних і функціональних цифрових двійників 3D друку металевих виробів. Цифровий двійник поєднує в собі комп'ютерне моделювання, симуляцію, машинне навчання, оптимізацію та використання Інтернет речей (IoT) у реальному часі. Цифровий двійник забезпечує не тільки оптимізацію деталі, конструкції або процесу, а й забезпечує превентивне прогнозування та локалізацію можливих дефектів. Поєднання цифрових двійників та адитивних технологій у багатьох галузях промисловості зможе, забезпечуючи значні переваги в гнучкості конструкцій, швидкості, точності та надійності, не тільки скоротити витрати і час на розробку та виготовлення, а й підвищити ефективність металообробних підприємств країни.

Список посилань

1. Shaw C., Feng I., Albert T., Jones K., Guodong S., Data Requirements for Digital Twins in Additive Manufacturing. Proceedings of the ASME 2023 International Manufacturing Science and Engineering Conference, June 12-16, 2023, New Brunswick, NJ, USA, paper #: MSEC2023-10113.

2. Hengrui L., Xichun S., Bintaow W., Diego R., Zengxi P., Huijun L., Wire arc additive manufacturing: A review on digital twinning and visualization process. Journal of Manufacturing Processes, 116 (2024), P. 293–305.

UDC 686.12.056

Ivanko Andrii, PhD in Technical Sciences, Associate professor
Zenkin Mykola, Doctor of Sciences in Engineering, Professor
Kolinko Illia, Master student

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",
ivanko-a@ukr.net

DESIGNING A DEVICE FOR MAKING CARDBOARD TEMPLATES

There is a wide range of various devices and mechanisms for manufacturing cardboard templates [1]. Typically, printing enterprises use platen presses for making cardboard templates.

There are many different drive designs with various approaches to cutting technology. The problems that arise when cutting cardboard are as follows. Firstly, it is the accelerated blunting of cutting elements, and secondly - the laborious removal of cardboard trimmings from the processing area. Examining the developments of recent years, it can be noticed that efforts are also being made to eliminate these drawbacks. The problem of removing trimmings from the cutting area is complex. This research is dedicated to a series of works [2-4].

The aim of this work is to improve the drive and cutting method of cardboard templates. The idea lies in improving the platen press drive system by replacing its articulated cyclic mechanisms with pneumatic cylinders.

The project proposes a fundamentally new method of cutting cardboard templates using pneumatic drive. Figure 1 shows the pneumatic drive of the device. The pneumatic drive of the platen consists of pneumatic cylinders 1, which are attached to the base of the plate using specialized fasteners 2. The pressing plate contains a housing (pneumatic chamber) 3 which has variously profiled openings 5 for the passage of cutting knives and the creation of an "air cushion" that will form in the cavity 4. The plate with cutting knives 7 is stationary and reflects the contours of the future cardboard packaging. Ejector cushions 6 perform the function of holding the sheet material. The drive system also has corresponding adjustments for cutting cardboard and guides 8.

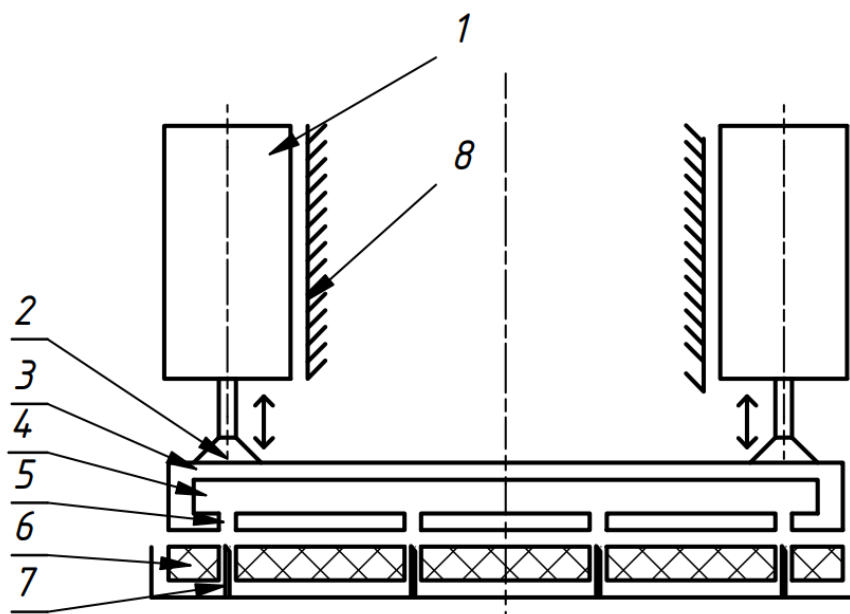


Fig. 1 – Scheme of the pressing plate drive

A fundamentally new method of cutting and a device for its implementation have been designed in the work. This method involves creating the necessary pressure on the cardboard. By using the

method of cutting cardboard templates with the help of a pneumatic chamber with differently profiled slots at its base, it is possible to achieve quality in performing the technological process.

As a result of using the proposed method, it is expected to improve the quality and efficiency of the cardboard template cutting process. This will have a positive impact on the production of cardboard products in general.

References

1. Zenkin M. The analysis of printing equipment manufacturing / M. Zenkin, D. Makatora, A. Ivanko, A. Makatora. AD ALTA: Journal of Interdisciplinary Research. Hradec Kralove, Czech Republic, 2022. Vol. 12, no. 2. P. 69–72. URL: http://www.magnanimitas.cz/ADALTA/120228/papers/A_13.pdf.
2. Ivanko A. Modelling of the technological process of removing cardboard scraps in the die-cutting section / A. Ivanko, M. Zenkin, V. Pasichnyk / Наукові записки / УАД. Львів, 2023. Вип. 2 (67). С. 249–258. URL: <http://nz.uad.lviv.ua/static/media/2-67/26.pdf>.
3. Іванко, А. І. Пристрій для транспортування картонних розгорток у зону технологічної обробки / А. І. Іванко, І. В. Юхименко. Технологія і техніка друкарства / НТУУ “КПІ ім. Ігоря Сікорського”. Київ, 2023. Вип. (2(80)). С. 75–85. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.2\(80\).2023.291793](https://doi.org/10.20535/2077-7264.2(80).2023.291793).
4. Ivanko A. Designing the pressing plate mechanism of the flat die-cutting press / A. Ivanko, I. Kolinko. Технологія і техніка друкарства / НТУУ “КПІ ім. Ігоря Сікорського”. Київ, 2023. Вип. 1(79). С. 77–90. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.1\(79\).2023.54015](https://doi.org/10.20535/2077-7264.1(79).2023.54015).

УДК 621.9.06

Четвержук Т.І., канд. техн. наук, доцент
Повстяной О.Ю., доктор техн. наук, професор
Редько Р.Г., канд. тех. наук, доцент
Полінкевич Р.М., канд. тех. наук, доцент

Луцький національний технічний університет, eti_tar@ukr.net

ЗАЛЕЖНІСТЬ ЖОРСТКОСТІ РАДІАЛЬНО-УПОРНОГО КУЛЬКОВОГО ПІДШИПНИКА ШПИНДЕЛЬНОГО ВУЗЛА ВЕРСТАТА ВІД СПІВВІДНОШЕНЬ ЗОВНІШНІХ НАВАНТАЖЕНЬ

Жорсткість шпиндельного вузла (ШВ) верстата – одна з найбільш важливих його характеристик, оскільки визначає величину пружних деформацій шпинделя при різанні. Статична жорсткість ШВ залежить від типу опор і конструктивних розмірів шпинделя. Баланс пружних деформацій на передньому торці шпинделів на опорах кочення в токарних верстатах наступний: деформації передньої опори складають 40...50%, задньої – 2...3%, деформації консольної ділянки шпинделя – 15...20%, міжопорної ділянки – 30...40%.

Жорсткість опор кочення залежить від типу підшипника. Радіальна жорсткість опор з дворядним роликотпідшипником вища, ніж з двома радіально-упорними кульковими підшипниками в 2...3 рази. Осьова жорсткість кулькових підшипників (в умовних одиницях) при рівних діаметрах, в основному визначається величиною попереднього натягу і кутом контакту, приведена нижче:

- дворядний упорний кульковий підшипник 1,0
- дворядний упорно-радіальний кульковий підшипник з кутом контакту 60°...0,65...0,72
- два радіально-упорних кулькових підшипника з кутами контакту 25° 0,21...0,25
- теж саме з кутом контакту 15° 0,1...0,12

Як радіальна, так і осьова жорсткість кулькових підшипників при низьких частотах обертання пропорційні величині попереднього натягу в степені 1/2, а силі натягу 1/3. Відповідно із збільшенням натягу жорсткість з початку збільшується швидко, а після цього ріст її повільний і подальше збільшення натягу залежить від величини навантажень на шпиндель: при будь-яких навантаженнях в роботі повинні приймати участь всі тіла кочення. Частково, допустиме по цій умові осьове навантаження, що сприймається

кульковими підшипниками з попереднім натягом, не повинне перевищувати трьохкратної сили натягу (при $dn \leq 0.4 \cdot 10^6 \text{ мм} \cdot \text{хв}^{-1}$).

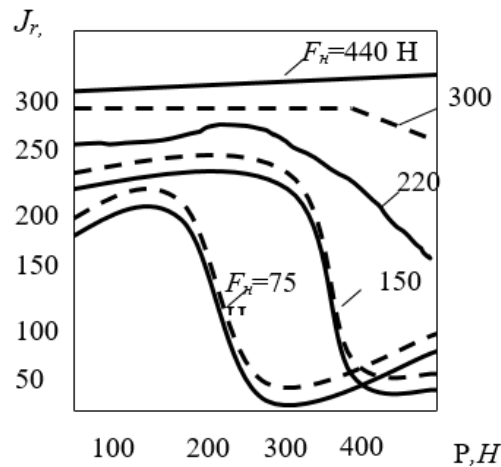


Рис. 1 – Залежності радіальної жорсткості j_r радіально-упорних підшипників 36100 (—) і (---) з кутом контакту 15° від зовнішнього навантаження P і сили попереднього натягу F_n .

На рисунку 1 наведені залежності жорсткості радіально-упорного кулькового підшипника від співвідношень зовнішнього навантаження (реакції опори) і сили попереднього натягу. Крива для $F_n = 440 \text{ Н}$ характерна для випадку, коли в роботі беруть участь всі тіла кочення, зниження кривих пояснюється поступовим виходом з роботи все більшого числа тіл кочення у зв'язку з ростом зовнішнього навантаження.

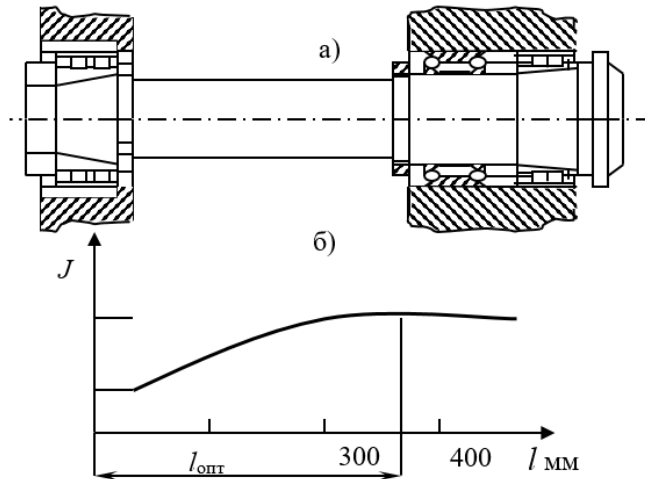


Рис. 2 – Ескіз ШВ (а) і залежність жорсткості ШВ j від відстані між опорами (б)

Залежність жорсткості ШВ від відстані l_{opt} між опорами при дії радіального навантаження на торець шпинделя представлена на рисунку 2.

Статична жорсткість опор буде рівна $3p_n F k \Delta^{-1}$, де p_n – тиск у кишені, Δ – діаметральний зазор в підшипнику, F – площа кишені, k – коефіцієнт, який враховує вплив ексцентриситету шийки шпинделя відносно отвору під навантаженням. Для розрахунку $k \approx 1$.

Як бачимо з графіка, існує оптимальне значення l_{opt} міжопорної відстані, при якій податливість мінімальна. Однак справа від оптимальності підйом кривої незначний і в реальних межах податливість мало відрізняється від мінімальної. Зліва від оптимальності податливість зростає різко, тому відстань між опорами, визначається значенням l_{opt} ,

потрібно розглядати, як мінімально допустиме. Вагомий вплив на величину жорсткості ШВ дає виліт шпинделя a , тому при проектуванні необхідно добиватися його зменшення.

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. Гордєєв О. Ф. Безрозбірна діагностика стиків металорізальних верстатів на основі самоподібності деформацій / О. Ф. Гордєєв, Т. І. Четвержук // Прогресивні технології і системи машинобудування. – 2014. - № 1. – С. 99-105.
3. Проектування обладнання галузевого машинобудування: Шпиндельні вузли на опорах кочення. [Електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра, за освітньою програмою «Технології комп'ютерного конструювання верстатів, роботів та машин» спеціальності 131 – Прикладна механіка; КПІ ім. Ігоря Сікорського.– Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 135 с.
4. Четвержук Т.І. Проблеми та задачі проектування та розрахунку несучих частин металорізальних верстатів з урахуванням навантажень. / Т.І. Четвержук, Р.Г. Редько, Р.М. Полінкевич, О.М. Залета, Б.П. Валецький. // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». Луцьк, 2022. №73. – С. 101-104.

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

Одним з напрямків підвищення безпеки автомобілів і живучості військової автомобільної техніки є застосування безповітряних шин [1]. Але порівняно невеликий досвід експлуатації таких шин не дозволив накопити достатньої кількості наукових робіт про теоретичні узагальнення і конструкції 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) [2]. В експериментальних дослідженнях використовуються методи двофакторного експерименту [3].

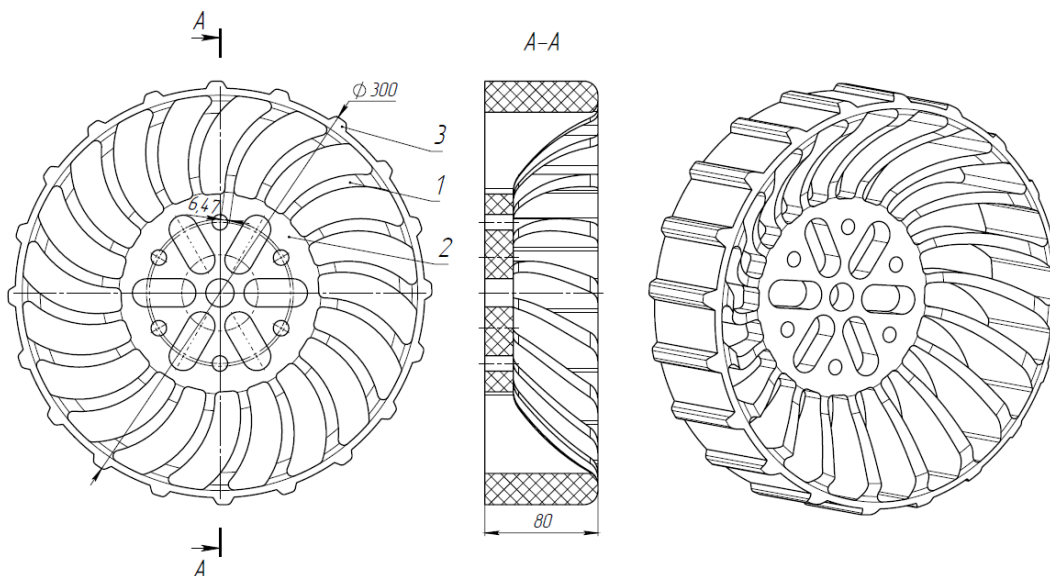


Рис. 1 – Автомобільне колесо з безповітряною шиною з еластичних поліуретанів:
– гнучкі спиці; 2 – дискове колесо з глибоким ободом; 3 – протектор

Метою даного дослідження є визначення деформації безповітряного поліуританового колеса в залежності від навантаження та пружності матеріалу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі дослідження:

– провести експерименти на імітаційного моделювання зі зміною визначених параметрів навантаження та пружності;

– отримати математичні залежності розрахункового прогину колеса до настання граничного стану експлуатації його форми згідно матриці планування досліджень.

Для побудови емпіричної залежності впливу навантаження (X_1) та пружності (X_2) на Для побудови емпіричної залежності впливу навантаження (X_1) та пружності (X_2) на деформацію (Y_i) проведено двофакторний експеримент (ПФЕ 2²) наведений у роботі М

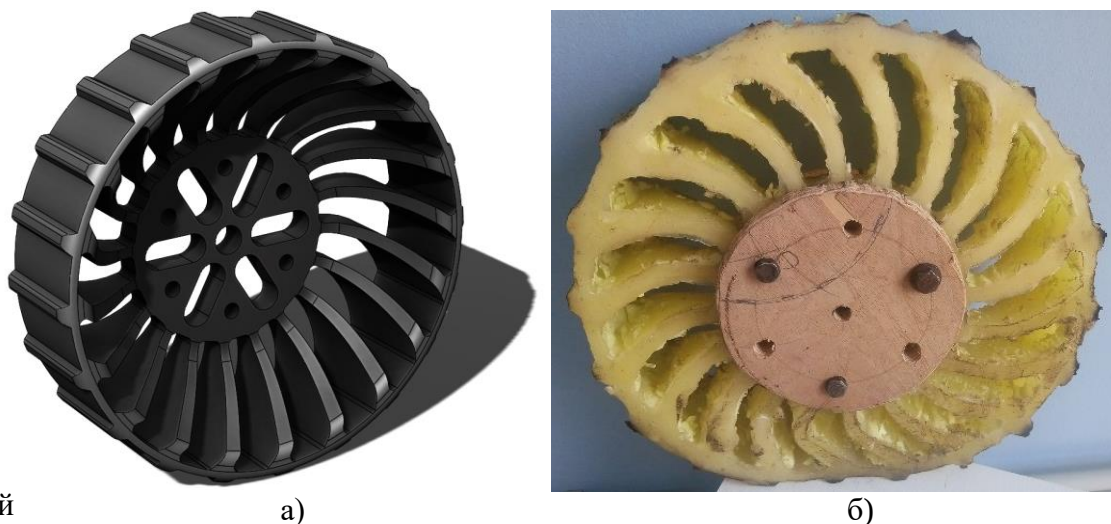


Рис.2 – Безповітряне колесо: а) – 3D-модель; б) – експериментальний зразок;

Таблиця 1 – Значення факторів та відповідно їх рівні

Фактор	Основний рівень (0)	Нижній рівень (-1)	Верхній рівень (+1)
Навантаження, Н, X_1	55	50	60
Модуль пружності, МПа, X_2	3,4	0,8	6

В таблиці надано обрані фактори та їх рівні (верхній: +1; нижній: -1; основний: 0).

Згідно розробленого плану експерименту для виготовленого колеса (рис.1) було проведено імітаційне моделювання визначення прогину залежно від коефіцієнту пружності колеса і навантаження, отримані значення на основі яких був отриманий апроксимуючий поліном

$$Y = 16,74 - 11,96X_1 + 9,48X_2 + 21,4X_1X_2$$

В результаті проведення експериментів за допомогою імітаційної моделі отримано граничні прогини колеса, що обмежуються навантаженням і коефіцієнтом пружності та визначають його еластичність.

Отримані рішення дозволяють визначати коефіцієнт пружності матеріалу із урахуванням навантаженням на колесо.

Список посилань

1. Automobile portal: vopros-otvet [Electronic resource]. URL: <http://vopros-avto.ru/chto-luchshe-kamernye-ilibeskamernye-shinyirazbiraemsya> (date of application: 19.02.2024).

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/mateconf/202337501002>.

3. Винарський М.С. Планування експерименту в технологічних дослідженнях / М.С. Винарський, М.В. Лур'є - Київ: Техніка, 1975 р. – 168 с.

УДК 655.3.021.11

Кохановський В.О., канд. техн. наук, доцент

Гуца В.В., студент

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

kokhanovskyy@gmail.com

ВПЛИВ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗВОЛОЖУВАЛЬНИХ АПАРАТІВ НА ЯКІСТЬ ДРУКУ

Зволожувальні апарати (ЗА) в офсетних друкарських машинах характеризуються різноманіттям конструкцій. Зволожувальний розчин (ЗР) може передаватися та наноситися на друкарську форму механічним, пневмо-механічним, відцентровим, електростатичним або конденсаційним методами.

Зволожувальні апарати повинні: забезпечити подавання на форму тонкого рівномірного шару зволожувального розчину завтовшки 0,2 – 0,3 мкм з допуском 0,1 мкм; підтримувати стабільність складу і сталість температури зволожувального розчину; мати малу інерційність і допускати безступінчасте регулювання кількості вологи незалежно від швидкості машини; не впливати негативно на зношування форми. Окрім цих специфічних вимог, до ЗА ставлять загальні вимоги: простота при налагоджуванні і регулюванні; мінімальна потреба в технічному обслуговуванні протягом довготривалого періоду експлуатації; мінімальні витрати на виготовлення і експлуатацію; забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу і відсутність шкідливого впливу на навколишнє середовище.

Контактні ЗА класичних конструкцій, які наносять ЗР (як правило, водяний) безпосередньо на форму, інерційні, характеризуються потребою нагромадження вологи на поверхнях накочувальних валиків. Вони не забезпечують рівномірного нанесення ЗР, нерідко на це впливає мікроклімат цеху. Такі апарати потребують кваліфікованого обслуговування, своєчасної профілактики та контролю. Тканинне облямування легко забруднюється фарбою та паперовим пилом. Частинки фарби та паперу потрапляють у резервуари із ЗР, а звідти на форму, порушуючи процес друкування.

Можливість забезпечити суцільний шар вологи на формі – основна перевага ЗА контактної типу, що пояснює їх широке застосування (незважаючи на недоліки порівняно з безконтактними).

Надходження ЗР у безконтактних ЗА стабільне, оскільки не залежить від мікроклімату цеху. Тут можливе коригування подачі розчину по всій ширині форми. Недоліки таких ЗА – підвищена корозійність і можливість нагромадження вологи на формі у вигляді крапель, а не у вигляді суцільного шару, як у контактних. Відсутність спеціальних оболонок на накочувальних валиках у спиртових ЗА робить їх малоінерційними. У деяких конструкціях ЗР подається через фарбовий апарат, тоді габаритні розміри друкувальних секцій трохи зменшуються. Під час друкування до ЗР можуть потрапляти частинки паперового пилу. Вони спричиняють певні труднощі. Тому рекомендують оснащувати ЗА приладами для неперервної очистки ЗР.

При підвищених адгезії та в'язкості друкарської фарби машини із традиційними системами зволоження мають певну перевагу, оскільки в них трохи завищена кількість ЗР, що подається. Задля забезпечення стабільного балансу «фарба – ЗР» ці машини потребують більшого шару фарби на формі (завдяки високій в'язкості фарби). У протилежному разі

підвищена подача ЗР при малій кількості фарби зумовлює зниження інтенсивності відбитка, його блідість.

Використання фарб низької в'язкості на машинах з контактним зволоженням спричиняє виникнення емульсії «фарба – у воді», що призводить до замаслювання відбитків. Для машин із спиртовим зволоженням потрібні фарби із зниженою адгезією (липкістю). Спиртове зволоження працює з тоншим шаром ЗР і, відповідно, з більш тонкими шарами фарби. Завищена подача фарби зумовлює її збільшення на відбитку, внаслідок чого знижується швидкість закріплення фарби.

Подавання тонкого рівномірного шару розчину в сучасних швидкісних машинах не дозволяє обмежитися простими регулювальними пристроями і змушує розробляти і застосовувати складні системи автоматичного контролю і регулювання зволожувальних апаратів [3-4].

Деякі ЗА друкарських машин оснащуються пристроями автоматизованого керування товщиною плівки ЗР на формі. Вперше таку систему «Automatic Aqua Control» (AAC) застосувала японська фірма «Ryobi»[1-2].

Сьогодні практично всі фірми, які виготовляють друкарські машини, прагнуть повністю автоматизувати друкарський процес. Автоматизація підтримки балансу «фарба – ЗР» має позитивні наслідки. Відхилення від еталонної якості відбитків, здобутих на машинах, оснащених системою AAC, дуже незначні [5].

Список посилань

1. Зенкін, М. А., Кохановський, В. О., Іванко, А. І. Комп'ютеризовані поліграфічні системи: аналіз ефективності та практичного застосування. (2024). Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences, 331(1), с. 297-304. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-331-45>
2. Зенкін, М. А., Іванко, А. І., & Кохановський, В. О. (2023). Тенденції та майбутнє комп'ютеризованих поліграфічних систем: прогноз розвитку технологій та їх застосування у поліграфічному виробництві. Technology Audit and Production Reserves, 5(1(73)), с. 12–19. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.290273>
3. Kokhanovskyi V. O., Zorenko O. V., Khokhlova R. A. Factors that Determine the Need of the Printing Enterprise in Basic Technological Equipment // Технологія і техніка друкарства. К.: НН ВПІ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. № 1(79). – с. 71-76. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.1\(79\).2023.278136](https://doi.org/10.20535/2077-7264.1(79).2023.278136)
4. Кохановський, В. О. Методика збору та обробки експлуатаційної інформації для визначення показників надійності поліграфічних машин // Технологія і техніка друкарства. К.: ВПІ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2013. № 3 (41). – с. 37–43.
5. Кохановський, В. О. Теоретичні питання надійності електротехнічних комутуючих пристроїв поліграфічних машин // Технологія і техніка друкарства. К.: ВПІ НТУУ «КПІ», 2008. № 1 (19). – с. 105-109.

УДК 621.515

Цивінда Н.І. канд. техн. наук, доцент
Пікільняк А.В. канд. техн. наук, доцент
Зуєв І.О., магістрант

Криворізький національний університет, civinda.n@knu.edu.ua

ОСНОВНІ НАПРЯМКИ ЗНИЖЕННЯ ТРУДОЄМНОСТІ РЕМОНТУ ГІДРОЦИЛІНДРІВ

Надійність гідросистеми гірничої машини, строк служби гідроциліндра до капітального ремонту залежить від матеріалів пар тертя, від якості покриттів штоку та гільзи, а також від способу установки і закріплення гідроциліндру на машині. В гідроциліндрах гірничих машин цей показник майже однаковий для різних конструктивних виконань і в середньому дорівнює 6-7 рокам. Строк служби до списання гідроциліндру співпадає зі строком служби

до списання самої гірничої машини. В середньому відновлення причини відмови на гідроциліндрі багато в чому залежить від конструкції, і зокрема від способу з'єднання кришок з корпусом, а також конструкції зовнішнього приєднувального елемента штока. Одним зі шляхів зниження трудоемності ремонту гідроциліндрів для прийняття оптимального технічного рішення є оцінка його технологічності.

Якщо об'ємні гідравлічні насоси, контрольно-регулююча і розподільча апаратура стандартизовані та виготовляються на спеціалізованих підприємствах, то гідроциліндри, в більшості випадків, проектується та виготовляються до гірничих машин – на заводах – виробниках. На Криворізьких підприємствах на сьогодні здійснюють ремонт гідроциліндрів.

Враховуючи те, що підприємства і фірми випускають гідроциліндри з різноманітними параметрами, зручно використовувати відносні одиничні показники призначення:

$$K_{01}=T/G_0; \quad K_{02}=T/L_0, \quad K_{03}=T/D_{\max};$$

де G_0 –маса гідроциліндру при ході рівному нулю;

L_0 –довжина гідроциліндру при ході рівному нулю;

Узагальнений показник призначення може бути визначений з відношення:

$$K_n=1/n(m_1K_{n1}+m_2K_{n2}+m_3K_{n3});$$

де n –кількість одиничних показників;

m –вагомість одиничного показника.

Аналіз показує, що відносні показники призначення мають тенденції до росту по мірі росту діаметрів гідроциліндрів. Це цілком закономірно, так як для стандартного ряду діаметрів: 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160 ; 200; 250; 320; 400 та інші – $\phi = 1,56$, а для ряду тисків – $\phi = 1,25$. Таким чином і одиничні показники і узагальнені показники по мірі росту діаметру гідроциліндрів повинні збільшуватись зі знаменником прогресії, що дорівнює $\phi = 1,25$, що майже витримується для всіх типів гідроциліндрів.

Основні одиничні показники технологічності гідроциліндру—це трудомісткість і матеріалоемність, точність розмірів, рівень уніфікації деталей. Найбільшу трудомісткість і металомісткість в гідроциліндрі має корпус. Таким чином, технологічність гідроциліндру можна оцінити по технологічності його корпусу. З конструкцій, що порівнювались кращий показник технологічності має корпус гідроциліндру на шпильках. Необхідно відмітити, що ця конструкція найбільш технологічна не тільки в виготовленні, але й в складанні.

До показників стандартизації і уніфікації необхідно віднести показник уніфікації деталей.

$$K_{y1}=D_y/D,$$

де D_y –кількість уніфікованих деталей в гідроциліндрі;

D – загальна кількість деталей.

Показник уніфікації конструктивних елементів:

$$K_{y2}=Q_y/Q,$$

де Q_y – число уніфікованих типорозмірів;

Q –загальне число типорозмірів конструктивних елементів.

Показник стандартизації деталей:

$$K_{y3}=E_{ст}/E,$$

де $E_{ст}$ – число стандартних деталей;

E –загальне число деталей.

Аналіз конструкцій гідроциліндрів, що порівнювались показав, що K_{y2} і K_{y3} у них майже однаковий, а показник K_{y1} у гідроциліндрів на шпильках в два рази вище в порівнянні

з іншими конструкціями за рахунок того, що у нього передня і задня голівки уніфіковані і всі десять варіантів кріплення гідроциліндра до машини здійснюються з використанням уніфікованих голівок.

Узагальнений показник якості гідроциліндру визначається з виразу:

$$K=1/7(m_1K_H+m_2K_D+m_3K_T+m_4K_Y+m_5K_{EC}+m_6K_P+m_7K_E),$$

где m —відповідний коефіцієнт вагомості окремого показника.

Найбільш недовговічними елементами гідроциліндру є ущільнення штока і поршня, шток, напрямна штоку, корпус і поршень. Одночасно з підвищенням показників надійності і геометричних параметрів гідроциліндрів, які впливають на компоновку всіх вузлів машин її габарити і масу, необхідно поліпшувати технологічний і економічний показник якості, тобто вдосконалення конструкції елементів гідроциліндра.

Аналіз одиничних показників якості дозволяє визначити основні напрямки підвищення якості гідроциліндрів різноманітних гірничих машин. Показники призначення можуть бути поліпшені за рахунок підвищення робочого тиску в гідроциліндрах, зменшення маси, довжини при ході $S=0$, зменшення зовнішніх діаметрів.

З аналізу показників надійності видно, що дуже низький показник середнього напрацювання на відмову у гідроциліндрів з еластичним ущільненням, що є наслідком швидкого виходу з ладу ущільнення штока і поршня. Основними напрямками підвищення довговічності ущільнень, в яких в початковому періоді (при малому тиску) геометричність забезпечується м'яким еластоміром, а при підвищенні тиску стирається протектор з твердого і зносостійкого матеріалу (протекторні ущільнення); удосконалення конструкції брудознімача; застосування більш сучасних фільтрів для тонкого очищення робочої рідини; підвищення якості і застосування більш стійких покриттів штока і гільзи; застосування алмазного виглажування при виготовленні штоків і гільз.

Інші показники надійності такі як: строк служби до капітального ремонту; строк служби до списання; середній час відновлення і середня трудомісткість ремонту задовільні, однак вони можуть бути поліпшені шляхом підвищення якості матеріалів та пар тертя, поліпшення антикорозійних і зносостійких покриттів, використання в шарнірних з'єднаннях швидкознімних провусин і втулок, поліпшення технологічності ремонту трудоемних деталей і вузлів.

Визначений резерв мають гідроциліндри гірничих машин і в питанні зниження трудомісткості ремонту. Доводку внутрішньої поверхні гільз слід виконувати на спеціальних верстатах; слід відмовитись від трудомісткого бронзування поршнів і втулок, а в тих випадках, коли чавун не задовольняє – використовувати покриття поліамідами; слід ширше застосовувати гідроциліндри на шпильках.

Висновки: Для стаціонарних машин (верстати, прокатні стани і т.п.) за комплексним показником кращими є гідроциліндри з призматичними (квадратними) голівками і з'єднаннями головок с корпусами (гільзою) на шпильках.

Для мобільних машин (гірничі машини, самоскиди, екскаватори і т. п.) кращими за показниками естетики (форма виробів) є гідроциліндри з циліндричними головками, однак за технологічністю, рівню уніфікації вони дещо відстають. При створенні ряду похідних уніфікованих гідроциліндрів слід використовувати методи: секціювання, базового агрегату, конвертування, компаундування, модифікації, зміни лінійних розмірів, агрегатування. Особливу увагу слід приділити уніфікації розмірів приєднуваних елементів гідроциліндру.

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

АНАЛІЗ ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНИХ КОНСТРУКЦІЙ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ ТА ОСОБЛИВОСТЕЙ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ

Виготовлення високоякісних товарів з максимальною продуктивністю є основною вимогою до сучасного виробництва. Значна частина операцій пов'язана з обробкою металів різанням. Наразі в промисловості використовується значна номенклатура різального інструмента, що призначений для обробки різних типів поверхонь. Для підвищення якості та продуктивності виготовлення товарів проводять розробку нових конструкцій різального інструмента. Також значна увага приділяється матеріалу різальної частини та її формі.

Відомі представники інструментального виробництва [1, 2] пропонуються різноманітні за конструкцією та матеріалом інструменти. З'являються нові більш ефективні конструкції інструментів, що забезпечують покращення умов в зоні різання, та відповідно збільшують точність й продуктивність обробки.

Для збільшення продуктивності обробки отворів пропонують використовувати нову конструкцію свердла з трьома канавками [1, 2] (рис. 1).

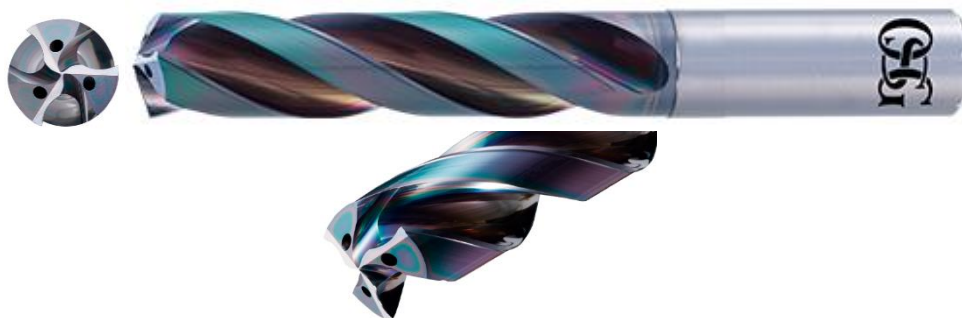
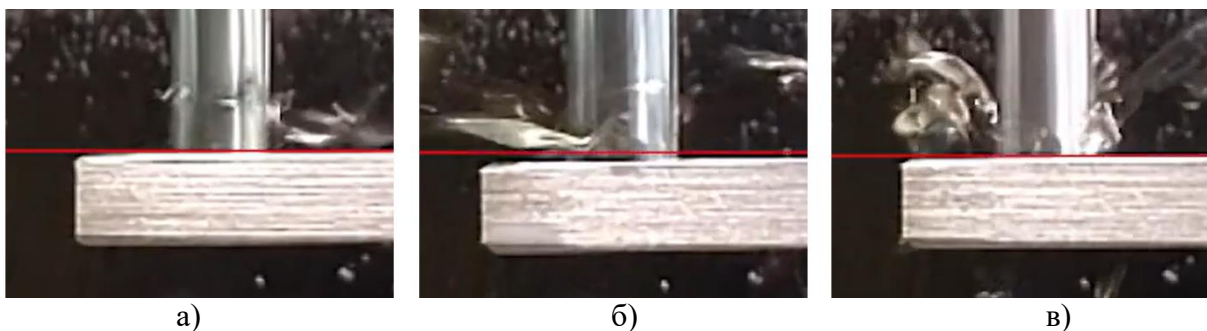


Рис. 1 – Свердло з трьома канавками

За рахунок наявності трьох канавок і відповідно трьох різальних кромek, миттєвий припуск на різання розподіляється на три леза, на відміну від типового дволезового свердла. За рахунок цього інструмент може працювати з більшими подачами, що підвищує продуктивність.



а)

б)

в)

Рис. 2 – Відхилення заготовки під час свердління отвору

а) – звичайне свердло з двома канавками; б) – звичайне свердло з трьома канавками;

в) – свердло з трьома канавками покращеної конструкції.

Однак, при цьому збільшується загальна сила різання, що вимагає більшого обертаючого зусилля верстатного обладнання. А також підвищує пружне відгинання заготовки при

свердлінні, що погіршує точність обробки [3]. На рис. 2 показано відхилення консольної заготовки від нульового рівня при свердлінні звичайним свердлом з двома канавками (рис. 2, а) та при обробці свердлом з трьома канавками (рис. 2, б). Графік зміни сили різання впродовж утворення отвору наведено на рис. 3, криві а) та б), відповідно для двоканавочного та триканавочного свердл. За графіком видно, що сила різання збільшується в 1,5-2 рази.

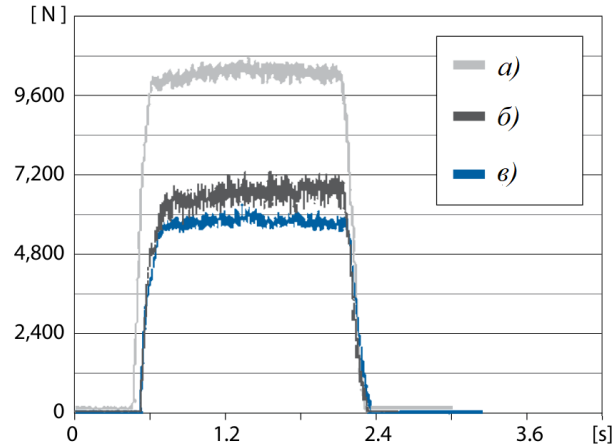


Рис. 3 – Сила різання впродовж свердління отвору

а) – звичайне свердло з трьома канавками; б) – звичайне свердло з двома канавками;
в) – свердло з трьома канавками покращеної конструкції.

Крім того при використанні нової конструкції свердла виникає проблема з відведенням стружки, оскільки вона має більшу довжину в порівнянні зі стандартним свердлінням (рис. 4) [4]. Для вирішення цих проблем пропонується виконувати спеціальну радіусну кромку на поверхні свердла (рис. 5).

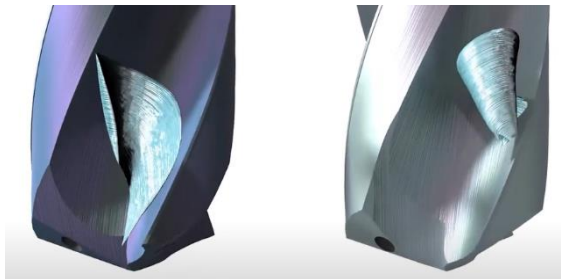


Рис. 4 – Форма стружки для свердла з трьома канавками звичайної та покращеної конструкцій

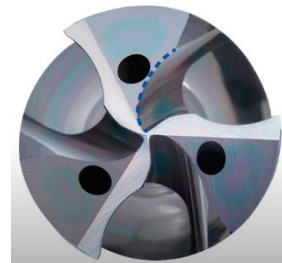


Рис. 5 – Геометрія радіусної засічки

При використанні свердла з радіусною кромкою сила різання зменшується до величини близької і навіть меншої ніж при обробці звичайним інструментом (рис. 3, в), при цьому зменшується пружне віджимання заготовки (рис. 2, в), що підвищує точність отвору. Також така форма допомагає ділити стружку на більш дрібні частини (рис. 4) та збільшує канал для відведення стружки з зони обробки.

Список посилань

1. Tooling Solutions. Product Catalog. (2024). / OSG USA, INC. 1708 p. <https://www.osgtool.com/books/8002024CA/ToolingSolutionsProductCatalogVol1.pdf>
2. Coolant-through, 3-fluted carbide drill series. ADO-TRS & TRS-HO SERIES (2019). /OSG Europe. https://nl.osgeurope.com/media/pdf/ADO-TRS-3-5D_VOL1.1-3_snijder_boor.pdf
3. <https://www.youtube.com/watch?v=J9I7gybSon0&t=1s>
4. <https://www.youtube.com/watch?v=kDOHCFXmma0>

УДК 621.822

Денисюк В.Ю., канд. техн. наук, доцент
Луцький національний технічний університет, v.denysiuk@lntu.edu.ua

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ВРІЗНИМ ШЛІФУВАННЯМ

Метою автоматизації обробки на шліфувальних верстатах, у тому числі за допомогою приладів активного контролю, є підвищення точності та продуктивності. Тобто, необхідно обробити партію деталей із заданим допуском за розміром, формою та шорсткістю. Для того щоб виконати ці умови, необхідно стежити за вказаними параметрами оброблюваної деталі, а також за швидкістю подачі шліфувального круга, швидкістю знімання припуску, часом циклу, зношенням шліфувального круга. На шліфувальних верстатах це завдання вирішується застосуванням доволі складних циклів (алгоритмів) обробки.

Автоматизація системи керування шліфувальним верстатом стикається з кількома проблемами, що виникають випадковим чином від деталі до деталі: непостійність розміру заготовки, непостійність швидкості подачі шліфувального круга, зміна часу швидкого підведення шліфувального круга до деталі (так зване «шліфування повітря»), зупинка (зависання) круга при виходжуванні тощо. Ці проблеми намагалися вирішити різними способами, у тому числі за допомогою приладів активного контролю. Як правило, це не давало потрібних результатів. Тільки останнім часом з покращенням конструкції шліфувальних верстатів та оснащенням їх системами ЧПК виявилось можливим вирішити більшість зазначених проблем та підвищити якість обробки [1, 2].

Вимірювання величини припуску на початок шліфування дозволяє системі ЧПК вибрати оптимальний для цього припуску режим подач шліфувального круга та підвищити продуктивність та якість обробки, змінюючи величини подач за інформацією, отриманої від приладу активного контролю. Знаючи припуск, система ЧПК може також підвести шліфувальний круг близько до заготовки на великій швидкості, уникаючи «шліфування повітря». Однак при такому вимірюванні є одна особливість. Заготовка має бути попередньо прошліфована або начисто проточена. Якщо заготовка «чорна», можуть пошкодитися контактні наконечники вимірювального оснащення приладу активного контролю [3].

У традиційних алгоритмах управління припуском типу $v_z = f(S)$ параметри процесу: швидкості чорнової та чистової подач v_{z1} і v_{z2} , припуски S_1 , S_2 та S_3 етапів шліфування та рівні спрацьовування вихідних команд приладу залишаються незмінними. Умови процесу шліфування (припуски заготовок, ріжуча здатність круга) змінюються. Тому було багато пропозицій удосконалення алгоритму $v_z = f(S)$ шляхом перебудови параметрів робочого циклу зміною заданих значень швидкостей подач та припусків S_2 та S_3 . Відомі різні варіанти перебудови циклу тільки за допомогою приладів активного контролю, який використовують для отримання додаткової інформації про процес шліфування. За допомогою приладів визначають:

- припуск заготовки S ;
- дійсну швидкість знімання припуску v_z ;
- відхилення форми (овал) оброблюваної деталі;
- час циклу шліфування чи його етапів.

Отримувану інформацію використовують для зміни значень припуску різних етапів шліфування шляхом подачі приладом верстата додаткових керуючих команд. Всі ці цикли призначені для верстатів, забезпечених нерегульованими механізмами подач. На кожному етапі шліфування (крім виходжування) подача шліфувального круга здійснювалася з постійною швидкістю.

Під час шліфування на обробку надходять заготовки з різним припуском. На початку циклу обробки шліфувальний круг відводять досить далеко від оброблюваної деталі, щоб уникнути його врізання у заготовку при швидкому підведенні, так як врізання на великій швидкості може призвести до «виривання» деталі з центрів, до руйнування круга і як мінімум до порушення геометричної форми оброблюваної деталі (припиків). Підведення круга до заготовки здійснюють на великій швидкості та, трохи не доходячи до передбачуваної поверхні заготовки, зменшують швидкість, переходячи на чорнову подачу. В результаті частину шляху до контакту із заготовкою круг проходить на порівняно невеликій швидкості (так зване «шліфування повітря»). Це призводить до втрати продуктивності обробки [4, 5].

Щоб підвищити продуктивність на сучасних круглошліфувальних верстатах та уникнути небезпечного врізання круга в деталь, на верстат встановлюють ультразвукові датчики врізання. Датчик складається з мікрофона (або двох) та п'єзоелектричного перетворювача. Датчик закріплюється на кожусі шліфувального круга, на шліфувальній бабці або іншому вузлі верстата, який найбільшою мірою змінює свої коливання при торканні кругом деталі. Датчик має кабельний або безкабельний зв'язок зі верстатом.

Датчик працює в діапазоні частот 60 – 230 кГц. На початку циклу обробки датчик вимірює і запам'ятовує всі фонові частоти, що виникають від вузлів верстата, що обертаються (підшипники, електродвигуни тощо), щоб при врізанні відрізнити зміну частоти вібрацій вузла верстата, на якому встановлено датчик. З наближенням шліфувального круга до заготовки та її дотику, частота вібрацій вузла верстата, на якому встановлений датчик, різко змінюється і датчик врізання видає команду в систему керування верстата на перемикання швидкості з швидкого підведення на чорнову подачу. Це дозволяє виключити «шліфування повітря» та підвищити продуктивність обробки.

Поєднання в приладі розмірного контролю у процесі обробки з контролем силового параметра забезпечує найбільшу ефективність керування процесом різання протягом усього циклу обробки завдяки:

- скороченню часу «шліфування повітря» та управління початковим етапом врізання шліфувального круга в заготовку з урахуванням похибки форми оброблюваної поверхні;
- стабілізації силового параметра на чорновому та чистовому етапах обробки;
- діагностиці ріжучої здатності шліфувального круга та визначення моменту правки;
- більш раціональному розподілу припуску між окремими етапами циклу.

Описаний алгоритм управління показує великі можливості приладів активного контролю в оптимізації процесу шліфування.

Список посилань

1. Марчук, В.І. Автоматизоване управління точністю оброблення деталей: монографія. / В. І. Марчук, В. Т. Михалевич – Луцьк: РВВ ЛНТУ, 2013. – 184 с.
2. Денисюк, В.Ю. Метрологічне забезпечення точності приладів активного контролю в процесі обробки. / В. Ю. Денисюк, В. П. Симонюк, Ю. С. Лапченко, Б. І. Новосад // «Перспективні технології та прилади»: зб. статей. – 2020. – Вип. 16. – С. 38 – 47.
3. Денисюк, В.Ю. Аналіз похибок обробки деталей при автоматичному розмірному контролі. / В. Ю. Денисюк, В. В. Пташенчук // «Перспективні технології та прилади»: зб. статей. – Луцьк, 2023. – Вип. 22. – С. 31 – 37.
4. Денисюк, В.Ю. Аналіз особливостей конструювання та метрологічного забезпечення приладів активного контролю. / В. Ю. Денисюк // «Перспективні технології та прилади»: зб. статей. – Луцьк, 2024. – Вип. 24. – С. 32 – 37.
5. 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 621.923.42

Венжега В.І., канд. техн. наук, доцент

Пасов Г.В., канд. техн. наук, доцент

Кологойда А.В., канд. техн. наук, доцент

Національний університет «Чернігівська політехніка» vivenzhaga@gmail.com

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ НА ДВОСТОРОННІХ ТОРЦЕШЛІФУВАЛЬНИХ ВЕРСТАТАХ ВАРІАЦІЄЮ ФУНКЦІЇ ФОРМОУТВОРЕННЯ

Деталі з високоточними робочими торцевими поверхнями входять до багатьох вузлів та механізмів сучасних конструкцій машин. З метою підвищення точності обробки пропонується спосіб шліфування орієнтованими абразивними кругами торців деталей на двосторонніх торцешліфувальних верстатах, який потребує спеціального профілювання шліфувальних кругів [1].

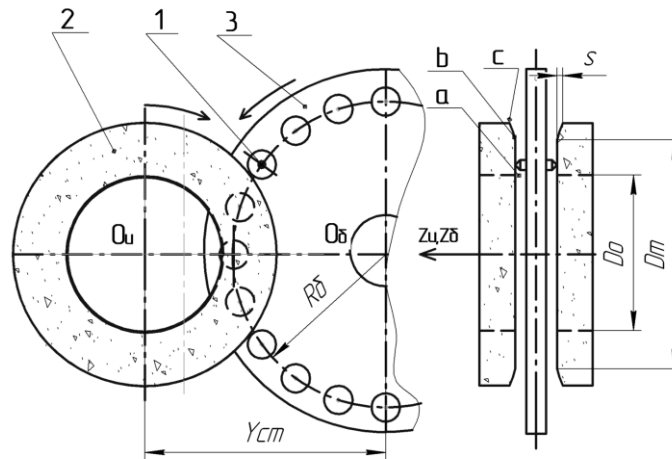


Рис. 1 – Правка шліфувальних кругів для отримання калібруючої ділянки

Алмазний олівець 1 кріпиться на барабані подачі 3, що здійснює кругову подачу при правці зі швидкістю w_b на відстані R_b від осі його обертання. Калібруюча торцева поверхня шліфувального круга 2 є слідом руху алмазу в системі координат круга. Радіус-вектор r_{ua} точок траєкторії алмазу в системі круга буде дорівнювати [2], [3].

$$\bar{r}_{ua} = A_{ua} \cdot \bar{r}_a,$$

де r_a – радіус-вектор точкового інструменту, що є радіусом-вектором початку координат $e_4(0,0,0,1)^T$, суміщений з вершиною алмазного олівця;

A_{ua} – матриця переходу із системи координат алмазу в систему координат круга.

Список посилань

1. Кальченко В.В. Підвищення ефективності двостороннього шліфування торців циліндричних деталей орієнтованими абразивними кругами: дис. канд. техн. наук: 050301 / ХГПУ Харків, 1998. 142с.
2. Кальченко В.В. Наукові основи ефективного шліфування з осями абразивного інструменту, що схрещуються, і оброблюваної деталі: дис. д-ра техн. наук: 050301/ НТУ „ХП” Харків, 2006. 489 с.
3. Венжега В.І. Підвищення ефективності шліфування торців з осями, що схрещуються, деталі і круга з калібруючою ділянкою: дис. канд. техн. наук: 05.03.01/ НТУ „ХП” Харків, 2009. 214с.

УДК

Венжега В.І. канд. техн. наук, доцент
Машковцев Д.С., аспірант

Національний університет «Чернігівська політехніка», mashkovtsevdmitro@gmail.com

ПОРІВНЯННЯ ВЕРСТАТІВ ДЛЯ ШЛІФУВАННЯ ЗІ СХРЕЩЕНИМИ ОСЯМИ

На Харківському верстатобудівному заводі [2] виготовляють спеціальний шліфувальний напівавтоматичний верстат з ЧПК ХШЗ-57Ф2 який призначений для обробки профілю кулачків розподільного валу.



Рис. 1 – Шліфувальний напівавтоматичний верстат з ЧПК ХШЗ-57Ф2

За рахунок змінної швидкості обертання розподільного валу протягом одного обороту при шліфуванні забезпечує сталість об'єму металу, що знімається. Широкий діапазон швидкостей обертання заготовки та подання шліфувального круга, можливість зупинки подачі на певну тривалість часу дозволяє здійснювати різні цикли шліфування профілю кулачка.

Даний верстат використовують для одиничного, серійного та масового виробництва та призначений для послідовного врізного шліфування кулачків розподільного валу по напівавтоматичному циклу.

Фірма Junker (Германія) [3] виготовляє верстати для шліфування розподільних валів

Шліфувальний верстат JUCAM1000 - це напівавтоматичний верстат з ЧПК, призначений для зовнішнього шліфування циліндричних та конічних деталей. Верстат використовується в машинобудівній, приладобудівній, радіоелектронній та інших галузях промисловості.



Рис. 2 – Шліфувальний верстат JUCAM1000

Порівняльна таблиця характеристик верстатів ХШЗ-57Ф2 та JUCAM1000

Характеристики	ХШЗ-57Ф2	JUCAM1000
Найбільший діаметр оброблюваної деталі	570 мм	1000 мм
Найбільша довжина оброблюваної деталі	1000 мм	2000 мм
Найбільша маса оброблюваної деталі	500 кг	1000 кг
Поздовжній хід стола	1000 мм	2000 мм
Поперечний хід стола	630 мм	1000 мм
Поворотний хід стола	±90°	±90°
Швидкість обертання шпинделя	125-1000 об/хв	50-1500 об/хв
Потужність шпиндельного двигуна	30 кВт	50 кВт
Система ЧПК	Fanuc 0i-MD	Siemens Sinumerik 840S

Функції верстатів:

- Автоматичне позиціонування столу в трьох координатах
- Автоматичне регулювання глибини шліфування
- Автоматичний цикл шліфування
- Ручне управління
- Програмування траєкторії шліфування

Верстати ХШЗ-57Ф2 та JUCAM1000 мають такі властивості:

- Висока точність та продуктивність шліфування
- Широкий спектр оброблюваних деталей
- Простота та зручність керування
- Надійність та довговічність

Висновок: JUCAM1000 - це більш потужний та універсальний верстат, ніж ХШЗ-57Ф2.

Він може обробляти деталі більшого розміру та маси, а також має більш широкий діапазон швидкості обертання шпинделя та більш просунуту систему ЧПК.

ХШЗ-57Ф2 - це більш компактний та доступний верстат, який може бути хорошим вибором для обробки деталей невеликого розміру.

Інші фактори, які слід врахувати при виборі верстата:

- Наявність сервісного обслуговування у вашому регіоні
- Наявність спеціалістів котрі вміють працювати на наданих верстатах
- Ваші особисті вподобання

Список посилань

1. Кальченко В.В., Кальченко В.І., Венжега В.І., Машковцев Д.С. Аналіз методів шліфування зі схрещеними осями розподільного валу та круга. ТЕХНІЧНІ НАУКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ Технічні науки та технології : науковий журнал / Національний університет «Чернігівська політехніка». – Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2023.–№1(31). –172с. С.7-12

2. Шліфувальні верстати завод «Харверст». Харківський верстатобудівний завод «Харверст». Харків, 20 с.

3. 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.

4. Збігнев Сементковський, Мирослав Руцький, Дмитро Морозов, Радом, Польща, Роберт Мартиновський, Островець-Свентокшиський, Польща, Олександр Шелковий, Юрій Гуцаленко, Харків, Україна. Вивчення геометрії шліфувальних верстатів, які використовуються для обробки велико габаритних колінчастих валів. ISSN 2078-7405. 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,HongliangWangandLanqing Zhang, 2nd International Conference on Machinery, Materials Engineering, Chemical Engineering and Biotechnology (MMECEB 2015)

УДК 621.77

Козирев О.С., ст. викладач
 Кагляк О.Д., канд. техн. наук, доцент
 Ритіков Є.О., студент

Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського»,
kozyriev.oleksii@lil.kpi.ua

ЗВОРОТНА ТЕПЛОВА ЗАДАЧА ПРИ ЛАЗЕРНОМУ ЗГИНАННІ

Процеси формування за допомогою лазера – це процеси, в яких лазерний промінь використовується не для деформації матеріалу, а для зміни параметрів матеріалу бажаним чином для посилення деформації, викликані іншими механізмами. Прикладами є лазерне свердління, формування, різання або механічна обробка металів. У цих процесах лазер використовується для локального нагрівання матеріалу, що зменшує межу текучості та покращує формувальність матеріалу.

Механізм температурного градієнта (МТГ) є найбільш поширеним механізмом лазерного згинання [1-4]. Завдяки швидкому нагріванню поверхні лазерним променем і повільній теплопровідності в навколишній матеріал листа (зазвичай для товстого листа), крутий температурний градієнт у матеріалі призводить до диференціального теплового розширення (різного для різних шарів) через товщину. Коли матеріал нагрівається, спочатку теплове розширення на нагрітій верхній поверхні більше, ніж на холодній нижній.

Зустрічний згин виникає через створений згинальний момент, що призводить до невеликої пластичної деформації розтягування на нагрітій поверхні. При тривалому нагріванні згинальний момент протидіє зустрічному вигину від лазерного променя, і механічні властивості матеріалу знижуються з підвищенням температури. Коли термічне напруження досягає залежної від температури межі текучості матеріалу (наприклад, для сталі межа текучості змінюється від 400 МПа за нормальних умов до 100 МПа при 1000 °С та до 50 МПа при 1500 °С) будь-яке додаткове теплове розширення перетворюється на пластичне стиснення, оскільки вільне розширення обмежується навколишнім матеріалом. Під час охолодження матеріал знову стискається у верхніх шарах, і, оскільки він був стиснутий, відбувається локальне вкорочення верхніх шарів листа, і розвивається кут вигину, який згинає зразок у напрямку до лазерного променя. Як правило, МТГ можна використовувати для згинання товстих листів по прямих лініях у напрямку до лазерного променя.

Напруження, що виникають, призводять до деформацій. Стійкість матеріалу до дії термопружних напружень характеризують максимальною величиною локального перегріву T_b . При напруженому стані ізотропного матеріалу зв'язок між компонентами напружень і деформацій визначається узагальненим законом Гука. Для циліндричної системи координат зв'язок між деформаціями та напруженнями в цьому випадку описується такими рівняннями:

$$\varepsilon_{rr} = \frac{1}{E_M} [\sigma_{rr} - \mu_P (\sigma_{\varphi\varphi} + \sigma_{zz})] + \alpha_T T \quad (1)$$

$$\varepsilon_{\varphi\varphi} = \frac{1}{E_M} [\sigma_{\varphi\varphi} - \mu_P (\sigma_{rr} + \sigma_{zz})] + \alpha_T T \quad (2)$$

$$\varepsilon_{zz} = \frac{1}{E_M} [\sigma_{zz} - \mu_P (\sigma_{rr} + \sigma_{\varphi\varphi})] + \alpha_T T \quad (3)$$

де E_M - Модуль Юнга, μ_P - Коефіцієнт Пуассона, α_T - Коефіцієнт теплового розширення, σ_{ii} - Головні складові тензора напружень, $i = r, z, \varphi$.

Таким чином, задача про пластичну деформацію листового матеріалу в результаті нагрівання рухомим джерелом теплоти переходить в теплову задачу. При цьому, для більшості товстих зразків досягаються невеликі значення числа Пекле $Pe = V/l$, тому теплову задачу можна розглядати, як для нерухомого джерела. Тоді рівняння теплопровідності в кінцево-різнісному вигляді матиме такий вид:

$$T_{i,j,k}^{S+1} = T_{i,j,k} + \frac{\lambda \cdot \Delta t}{c\rho} [T_{i-1,j,k} + T_{i+1,j,k} + T_{i,j-1,k} + T_{i,j+1,k} + T_{i,j,k-1} + T_{i,j,k+1} - 6T_{i,j,k}] \quad (4)$$

Теплове джерело вводиться в задачу у дискретній формі, такий підхід дозволяє розрахувати перетворення променів оптичною системою і знайти кількість енергії, яка потрапляє до кожного елементарного об'єму на поверхні за проміжок часу, який дорівнює шагу апроксимації Δt .

Розрахунки за формулою (4) не вимагають вирішення системи лінійних рівнянь високого порядку і дозволяють швидко знайти параметри нагрівання, які можуть виступати вихідними параметрами моделі. Залишається власне побудувати модель, яку будемо шукати у вигляді поліному поки що невідомого ступеню. Поліном шукатимемо у вигляді:

$$y^{(m)} = b_0 + \sum b_i x_i + \sum b_i^{(2)} x_i^2 + \dots + \sum b_i^{(m)} x_i^m + \dots + \sum b_{i(k)j(l)} x_i^k x_j^l \quad (5)$$

Тут m -ступінь полінома, b -невідомі коефіцієнти полінома, всі ступені всіх факторів комбінуються між собою. Алгоритм побудови полінома наступний:

1. Методом найменших квадратів знаходяться коефіцієнти полінома. На першому етапі всі вони вважаються значимими, тобто суттєво впливають на вихідну величину. Для такого виду поліному розраховуємо оцінку максимальної правдоподібності

$$R_S = \frac{\sum (y_i - f_i)^2}{n - N_c}$$

В подальшому, нашою метою буде мінімізація R_S .

2. На другому етапі кожен зі складників перевіряється на значимість. Фактори або їх комбінації по одному видаляються з моделі і після кожного видалення розраховуються R_S . Якщо на черговому кроці він не зменшився, фактор повертають до моделі, і навпаки.

3. Третій етап полягає у спробі повернути раніше відкинуті фактори до моделі, також за допомогою R_S . Не дивлячись на неочевидність третього етапу, все ж стверджуємо його необхідність, яка була підтверджена практично

4. Отже, для ступеню поліному m знайдено його оптимальну форму за критерієм мінімізації R_S . Переходимо до наступного ступеню, $m+1$. Генеруємо модель та повторюємо етапи 1-3, після чого матимемо два конкуруючих значення R_S .

5. Якщо $R_S^{m+1} > R_S^m$, то остаточно приймаємо форму і ступінь поліному m , в іншому випадку збільшуємо ступінь на одиницю і повторюємо кроки 1-3.

Такий підхід дозволяє знайти зв'язок між параметрами, що визначають температурне поле, та деформаціями, причому у відносно простій формі полінома. Виділивши ті фактори що піддаються керуванню, можна вирішити зворотну задачу, коли за необхідними параметрами виробу (кут згину, максимальна/мінімальна температури, ЗТВ тощо) можна визначити діапазон технологічних параметрів обладнання, які забезпечують відповідні параметри виробу.

Список посилань

1. J. Magee, K.G. Watkins, W.M. Steen, Advances in laser forming, Journal of Laser Application 10 (1998) 235–246.
2. H. Frackiewicz, High-technology metal forming, Industrial Laser Review, October (1996) 15217.
3. M. Gremaud, J.D. Wagniere, A. Zryd, W. Kurz, Laser metal forming: process fundamentals, Surface Engineering 12 (3) (1996) 251–259.

4. Z. Hu, M. Labudovic, H. Wang, R. Kovacevic, Computer simulation and experimental investigation of sheet metal bending using laser beam scanning, International Journal of Machine Tools and Manufacture 41 (2001) 589–607

УДК 621.77

Козирєв О.С., ст. викладач
Кагляк О.Д., канд. техн. наук, доцент
Чухліб С.В., студент
Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського»,
kozyriev.oleksii@lil.kpi.ua

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ НАГРІВАННЯ ПРИ ЛАЗЕРНОМУ ЗГИНАННІ

Використання лазерного випромінювання в процесах формування (згинання) з'явилося в кінці минулого століття і все ще певною мірою знаходиться в стадії розробки. Лазерний промінь робить придатною для промислового використання технологію формування, яке раніше доводилося виконувати вручну через недостатню відтворюваність або гнучкість використовуваного джерела тепла (наприклад, вирівнювання деформації шляхом нагрівання газовим пальником).

З постійним розвитком лазерів з більшою вихідною потужністю, дешевшими системами керування та вищою якістю променя, застосування лазерного випромінювання для обробки матеріалів стає все більш сприятливим. Систематичні дослідження процесів згинання за допомогою лазерного випромінювання розпочато в середині 1980-х років і дослідницька активність продовжує стабільно зростати. Лазерний промінь має гнучкість щодо параметрів обробки, яка майже така ж висока, як і електронний промінь, але без потреби у вакуумі. Енергію, що передається в зразок лазерним променем, можна дуже точно контролювати, якщо необхідно, за допомогою замкнутого циклу керування, що гарантує дуже високу відтворюваність. Розробка нових поколінь лазерів дозволила зробити нові процеси економічними. Високотужні CO₂, діодні, волоконні та дискові лазери стали ефективними джерелами тепла для обробки більших деталей, тоді як підвищення якості променя дозволяє досягти дуже маленьких лазерних плям на поверхні деталі, а отже, дозволяє обробляти також і маленькі деталі.

Для процесів формування лазерним променем можуть бути використані декілька механізмів термічного формування. Їх можна згрупувати за рушійною силою, яка відповідає за розвиток деформації. Група механізмів, які можна назвати механізмами прямого термічного формування, складається з механізмів, які використовують локальне теплове розширення, якому перешкоджає певна внутрішня або зовнішня сила, і, отже, створює термічну напругу, яка сама по собі призводить до локальної пластичної деформації, якщо межу плинності матеріалу буде локально перевищено. Ці механізми [1]:

- механізм градієнта температури (МГТ);
- механізм точки залишкового напруження;
- обсадний механізм;
- механізм згинання.

Механізм градієнта температури [2] (МГТ) - це механізм термічного формування, який в основному використовується для згинання та формування листового металу. Принцип дії цього механізму показаний на рис.1.

Енергія лазерного променя локально поглинається верхньою поверхнею зразка. Це викликає градієнт температури по товщині зразка в зоні опромінення. Завдяки позитивному коефіцієнту теплового розширення більшості матеріалів теплове розширення в опроміненій області на верхній стороні листа більше, ніж розширення нижньої сторони. Різні розширення викликають згинання листа від лазерного променя (рис. 1 а), зустрічне

згинання). Цей вигин не є вільним, оскільки опромінена область зафіксована всередині оточуючих частин зразка. Таким чином, в опроміненій області зразка виникає напруга, яка стискається з верхньої сторони. Крім того, затискання зразка може посилити цей ефект. Якщо це термічне напруження залишається нижче межі текучості матеріалу, яка змінюється (зменшується для багатьох матеріалів) через локальну зміну температури, деформація зразка є повністю пружною. Після припинення дії лазерного випромінювання і охолодження зразка деформація в цьому випадку не залишається. Якщо, навпаки, локальна напруга перевищує залежну від температури межі текучості в опроміненій області на верхній стороні листа, відбувається локальне висаджування матеріалу. Це означає, що верхня сторона області опромінення пластично деформована, тобто вкорочена і трохи потовщена. Після вимкнення лазерного променя та охолодження зразка теплове розширення опромінюваної області зникає і зберігається пластична деформація верхньої сторони. Це призводить до вигину зразка в бік лазерного променя (рис. 1б).

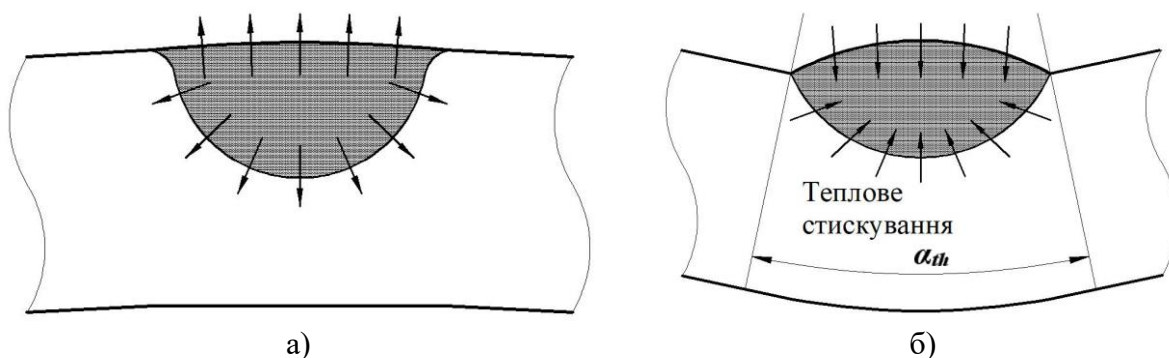


Рис. 1 – Етапи процесу лазерного згинання за механізмом температурного градієнта:
а) процес нагрівання (зустрічне згинання); б) процес охолодження (позитивний згин під дією теплового стискування)

Модель, яка б пов'язувала теплову дію лазерного випромінювання з виникненням напружень і, відповідно, пластичних деформацій, можна вивести на основі геометричних міркувань для кута вигину (рис. 1б). Припустимо, що теплове розширення повністю обмежене, тому воно повністю перетворюється на пластичне стиснення. Підвищення температури нагрітого шару розраховується на основі відомих часткових рішень рівняння теплопровідності. Пластична деформація визначається з коефіцієнта теплового розширення та підвищення температури. Кут вигину після охолодження виходить із геометричних умов, визначених на рис. 1б:

$$\alpha_{th} = \frac{4AP\alpha_T}{V\rho c\delta^2} \quad (1)$$

Розрахунки за аналітичною моделлю порівнювали з експериментальними результатами широко використовуваних аерокосмічних сплавів (тобто Ti6Al4V і AA 2024 T3) [3]. Були значні відмінності в прогнозованих значеннях аналітичної моделі порівняно з емпіричними даними. Ці відмінності були пов'язані з тим, що не враховувалися міцність матеріалу, пружний зворотний вигин або деталі температурного поля.

Список посилань

1. Pretorius T, Woitschig J, Habedank G, Vollertsen F (2006) Thermal generation of residual stress fields for purpose of distortion minimization. *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik* 37(1): 85–91
2. Vollertsen F, Rödle M (1994) Model for the temperature gradient mechanism of laser bending. In: Geiger M, Vollertsen F (eds) *Laser Assisted Net shape Engineering LANE'94*, vol I, Meisenbach, Bamberg 371–378
3. Watkins, K. G., et al., 2001, 'Laser forming of aerospace alloys', In: *Aerospace Manufacturing Technology Conference*. Seattle, Washington, USA.

УДК 621.787

Мікосянчик О.О., докт. техн. наук, професор

Мельник В.Б., канд. техн. наук, доцент

Герасимов В.О., магістрант

Національний авіаційний університет, м. Київ, avt.kpi@gmail.com

РОЗРОБКА ТА ОБГРУНТУВАННЯ НАПРЯМКІВ РОЗВИТКУ ПРОЦЕСІВ ВИГЛАДЖУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ З ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ

Вигладжування поверхневого шару металу деталей являється фінішною операцією технологічного процесу їх виготовлення. Операція алмазного вигладжування забезпечує високий ресурс деталей в експлуатації тому, як правило використовується для особливовідповідальних деталей в літакобудуванні та авіадвигунобудуванні. Тенденція підвищення ефективності авіаційної техніки, сприяє також все більшому використанню деталей з титанових сплавів.

Однак, за алмазного вигладжування ряду металів (титану, цирконію, ніобію, танталу) сили адгезійної взаємодії між поверхнею вигладжувача і деталі великі, що виражається в різкому збільшенні сили тертя і налипання частинок оброблюваного металу на робочу поверхню алмазу. Це затрудняє або практично унеможлиблює алмазне вигладжування таких металів [1, 2].

Тому для підвищення ефективності вигладжування сплавів на основі титану необхідно створювати умови зниження величини коефіцієнту тертя. Це може бути досягнуто при розділення поверхонь інструменту та деталі шаром мастильного матеріалу.

У роботі [3] алмазне вигладжування (АВ) титану проводили з попередньо нанесеним твердим мастилом на поверхню матеріалу, яка підготовлена до вигладжування. На основі експериментальних робіт доведено, що використання твердого змащення не знижує ефективність алмазного вигладжування та забезпечує формування якісного поверхневого шару. Але використання твердого змащення ускладнює процес обробки (виготовлення деталі) за рахунок додаткових технологічних операцій по видаленню шару цього змащення після вигладжування. Вимоги забезпечення якості поверхні деталі, а також її фізико-механічних властивостей на операції вилучення твердих мастил роблять процес більш трудоемним та коштовним.

Експериментально з використанням методу електроопору доведено, що збільшення швидкості обробки алмазним вигладжуванням поверхні деталей з титанових сплавів та квазікомпозиційних матеріалів при наявності змащення між поверхнею вигладжувача та поверхнею деталі дозволяє підвищити ефективність мастила за рахунок збільшення товщини змащувального шару, що розділяє контактні поверхні деталі та індентора і забезпечує якість поверхонь деталей з титанових сплавів.

Відомо, що ефективність змащування у відповідності до кривої Штрибека по величині шару змащення залежить від швидкості, а також від динамічної в'язкості змащення. Це дозволило сформулювати напрямки розвитку процесів вигладжування.

Практична значимість роботи полягає в тому, що запропоновані та експериментально апробовані напрямки підвищення ефективності АВ: підвищення швидкості обробки, підвищення динамічної в'язкості мастила, використання дробного навантаження.

Список посилань

1. Чепя П.А., Андрияшин В.А. Эксплуатационные свойства упрочненных деталей. – Минск: Наука и техника, 1988. – 192 с.
2. Мозговой В.Ф., Титов В.А., Качан А.Я. Особенности комплексной оценки деформационных параметров поверхностного слоя при изготовлении тонкостенных валов ГТД // Технологические системы. – К.: 2000.- № 2. – С. 56-66.

3. Розенберг О.А., Пашенко Е.А., Шейкин С.Е., Ростоцкий И.Ю. К вопросу разработки технологических смазок для деформирующего протягивания деталей из сплава ВТ 1-0 // Технологические системы, 2007, № 2(38) – С. 27-32.

УДК621.87/.9

Яровий Ю.В., канд. техн. наук, доцент

Жеглова В.М., канд. техн. наук, доцент

Національний університет «Одеська політехніка», yarovoy.u.v@op.edu.ua

Кібаков О.Г., канд. техн. наук, доцент

Хомяк Ю.М., канд. техн. наук, доцент

Одеський національний морський університет, jomiak38@gmail.com,
kibakov60@gmail.com.

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИГОТОВЛЕННЯ ВАНТАЖНИХ БАРАБАНІВ

Вантажопідйомні машини широко застосовуються у всіх галузях господарства, від побутових ліфтів до порталних та мостових кранів, дорожніх машин тощо. Одним з елементів вантажопідйомних машин є вантажний барабан, який на зовнішній поверхні має гвинтові канавки для намотування канату. Найбільше розповсюдження мають барабани з діаметром від 250 до 800 мм та довжиною до 2500 мм. У гірничодобувній галузі для шахтних машин з великою висотою підйому вантажу застосовують барабани діаметром від 2000 до 4000 мм, а їх довжина може перевищувати 5000 мм. [1, 2].

Найбільш розповсюдженим є сталеві та чавунні барабани. Основною конструктивною особливістю барабанів є їх тонкостінність, яка визначає особливості технологічних процесів виготовлення заготовок та механічної обробки.

Для заготовок барабанів, які виготовляються з чавуну в залежності від типу виробництва та конфігурації внутрішніх та зовнішніх поверхонь застосовують лиття у піщані та металеві форми, а також відцентрове лиття. Для сталевих барабанів використовують трубний прокат. Кожна заготовка має свої недоліки. Сталеві заготовки з трубного прокату обмежуються розмірами прокату (максимальний розмір безшовної сталеві труби складає 500 мм). Заготовки з чавуну – технологічними можливостями підприємства (для кожного діаметра труби необхідно створити форму), тому в наш час чавунні барабани виготовляють рідко.

Для вантажних барабанів від 400...500 мм застосовують гнуті обичайки. Для виготовлення обичайки використовують листовий прокат, який вальцюється. Так для діаметрів до 600 мм застосовують обичайки з одним зварювальним швом, а для більших діаметрів – з декількома зварювальними швами. В залежності від діаметру барабана, обичайка може бути отримана холодним або гарячим вальцюванням. До технологічних процесів вальцювання та зварювання пред'являються підвищені вимоги, оскільки вони мають забезпечити необхідну циліндричність обичайки, мінімізувати залишкові деформації та напруження.

Найбільш відповідальними є поверхні барабанів, якими вони сполучаються з зубчастим колесом або маточиною. Ці поверхні обробляються за 8-м квалітетом, а торцеве биття не повинно перевищувати 0,1 мм [3].

Для розрахунку барабана зі спіральними канавками, призначеними для укладання сталевих канатів, використовується кінцево-елементний аналіз. З цією метою розроблено тривимірну кінцево-елементну модель, яка складається з 50600 елементів (тетраєдрів) і має 92848 вузлів (рис. 1). Виконано розрахунок напружено-деформованого стану барабану при дії обертового моменту і тиску канату, що намотується при підйманні вантажу.

Максимальне еквівалентне напруження за четвертою теорією міцності склало 93,6 МПа (рис. 2), отже міцність спроектованого канатного барабана забезпечена.

Ця кінцево-елементну модель також використовується при проектуванні технологічного процесу нарізання канавок. У зв'язку з тим, що барабан є тонкостінною оболонкою, зусилля різання мають бути обмежені умовою жорсткості його стінки.

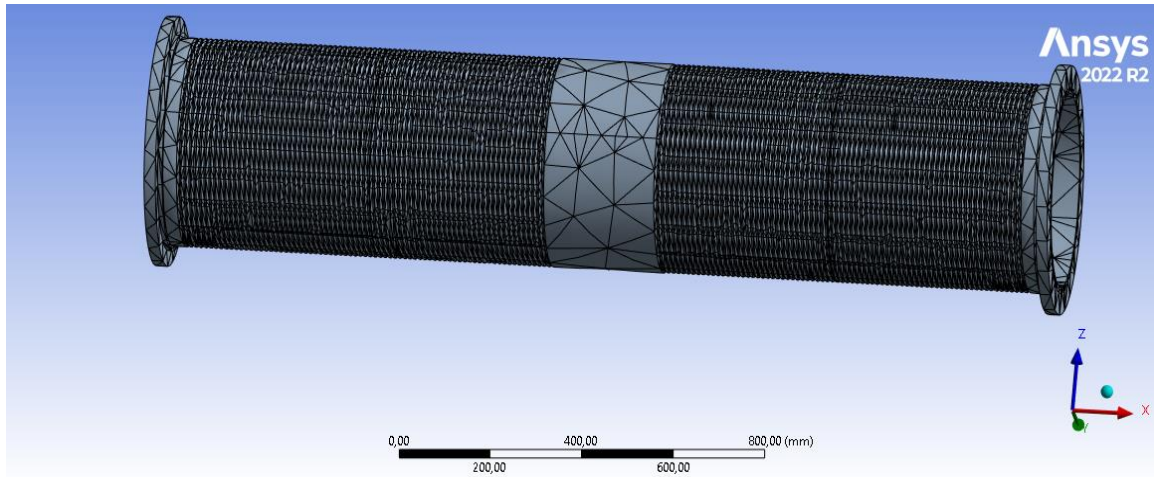


Рис. 1 – Кінцево-елементна модель вантажного барабана довжиною 2000мм.

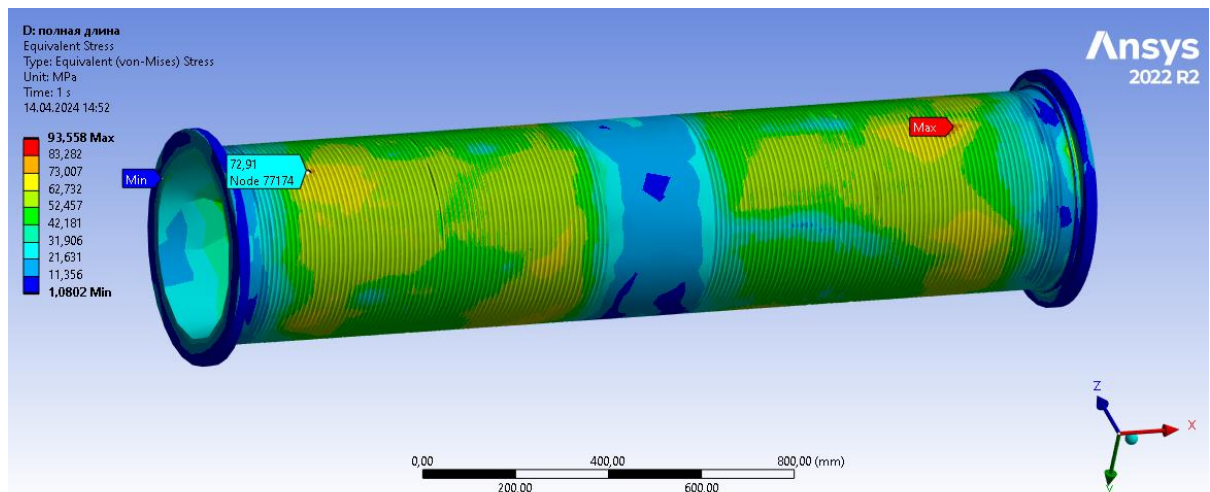


Рис. 2 – Розподіл еквівалентних напружень в барабані з намотаним канатом

За допомогою моделі визначені зусилля різання, при яких деформація стінки не впливає на геометрію канавки і може не враховуватись при подальших розрахунках міцності.

Список посилань

1. Підйомно-транспортні машини: Розрахунки підймальних і транспортувальних машин: Підручник / В. С. Бондарев, О. І. Дубинець, М. П. Колісник та ін. – Київ: Вища школа, 2009. – 734 с.
2. Вікович І. А. Транспортні навантажувально-розвантажувальні засоби / І.А. Вікович – Львів: Видавництво Львівська політехніка, 2018. – 680 с.
3. Verschoof J. Cranes – Design, Practice, and Maintenance / J. Verschoof – London: Professional Engineering Publishing – 2002. – 349 p.

УДК 621.924 : 62-253.51

Гончар Н.В., канд. техн. наук, доцент

Гребенніков М.О., аспірант

Криворученко В.Л., аспірант

Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕХАНІЗАЦІЯ ФІНІШНОГО ЕТАПУ ВИРОБНИЦТВА СКЛАДНОПРОФІЛЬНИХ ДЕТАЛЕЙ АВІАЦІЙНОГО ДВИГУНА

Сучасні реалії технологічного розвитку світової промисловості ставлять перед машинобудуванням завдання реалізації нових інноваційних технологій, що дають змогу збільшувати продуктивність праці та підвищувати якість продукції. Поєднання цих умов забезпечує конкурентоспроможність продукції, що виготовляється. Підвищені вимоги до надійності, точності та збільшення потужності за умови збереження і навіть зменшення габаритів машин і механізмів, ведуть до широкого застосування в їхній конструкції деталей зі складнопрофільними поверхнями. Насамперед до таких деталей відносять деталі двигунів літальних апаратів.

Формоутворення і забезпечення якості виготовлення складнопрофільних поверхонь вимагає складного руху виконавчих органів обробного обладнання або застосування складних за формою (фасонних) інструментів. Вибір виду фінішної обробки має велике значення, тому що поверхні мають дефектний шар, який характеризується високим рівнем залишкових напружень, нерівномірності шорсткості поверхні та деформаційного наклепу, що знижує їхню міцність, витривалість, а отже, їх надійність і працездатність [1].

Деталі зі складнопрофільними поверхнями, такі як роторні та статорні лопатки, є найвідповідальнішими у формуванні повітряних потоків і тисків авіаційних двигунів, а відповідно від точності їх виготовлення багато в чому залежать динамічні та вібраційні характеристики двигуна. Кількість тільки роторних лопаток компресора в одному авіадвигуні може перевищувати 1400 штук. Велика номенклатура типорозмірів лопаток за ступенями і малі величини допуску на профіль, у межах від 0,06 до 0,16 мм, пред'являють підвищені вимоги до заготівельного виробництва та механічної формоутворювальної обробки для того, щоб досягти найбільше наближення до вимог креслень самих лопаток, як за формою, так і за точністю. Використання високошвидкісного фрезерування в поєднанні з постійністю підібраних режимів різання та оптимальною формою ріжучого інструменту, забезпечує отримання лопаток із шорсткістю поверхні до $Ra\ 0,5$ та припуском під фінішну обробку (для видалення слідів, що залишає на поверхнях профілю інструмент) до 0,01 мм на бік за основними перерізами.

Фінішна обробка складнопрофільних поверхонь (аеродинамічних поверхонь пера) традиційними механічними способами обробки – шліфуванням – практично не застосовується, оскільки для абразивного оброблення потрібне створення дорогих верстатів і спеціальних інструментів, у яких профіль повинен геометрично відображати топологію оброблюваної поверхні. У результаті, забезпечення параметрів якості поверхні лопаток, відповідно кресленням, досягається доводочними операціями, які виконуються вручну (рис. 1, а), і які є дуже трудомісткими. Трудомісткість полірування однієї лопатки в середньому становить від 80 до 90 хвилин. І завдання зменшення частини ручної праці в виробництві таких особо відповідальних деталей є актуальним

Тому для цих цілей ведеться пошук і розробка механізованих спеціальних технологій фінішного оброблення. Одним з напрямків є методи, в яких у якості інструменту застосовується потік різноманітних ущільнених середовищ, що несуть робочі елементи, які під час переміщення уздовж оброблюваної поверхні вступають в контакт з її нерівностями,

зрізаючи або деформуючи їх. Такими можуть виступати, наприклад, вібро-, турбо- і магнітоабразивна технології.

Широко використовуваним у світовій практиці методом механічного полірування складнопрофільних деталей, зокрема й тонкостінних, є метод вібраційного оброблення абразивними наповнювачами спеціальної форми (чіпсами). Перевагою цього методу обробки перед іншими видами полірування є простота управління, відтворюваність і контрольованість параметрів обробки, екологічна чистота та безпека, універсальність застосовуваного обладнання, а також низька енергоємність і висока продуктивність процесу.

Попередні дослідження показали, що при використанні наповнювача RXXD (рис. 2, б), для обробки лопаток компресора високого тиску з жароміцного нікелевого сплаву після програмного фрезерування склав 4 години, а для лопаток з титанового сплаву - 3 години. Враховуючи те, що на сучасному вібраційному обладнанні можливо обробити до 150 лопаток водночас, трудомісткість виготовлення лопаток цим методом в середньому буде в межах від 1,2 до 1,6 хвилин на одиницю. Під час обмірювання лопаток після виконання вібраційної обробки встановлено, що максимальний шар з поверхні профілю лопаток, який видаляється, становив 0,01 мм на сторону, і 0,2 мм за довжиною хорди (мінімальна відстань між входною і вихідною кромками лопаток). Досягнута шорсткість поверхні становила в межах від $Ra\ 0,2$ до $Ra\ 0,3$.



а)



б)

Рис.1 – Полірування профіля лопатки, яке виконується вручну (а) і в середовищі абразивного наповнювача (б).

Підтверджувальні порівняльні випробування межі міцності виготовлених лопаток за представленою технологією та технологією з ручним поліруванням довели, що застосування високопродуктивної механічної вібраційної обробки після фрезерних програмних операцій дає змогу виключити з технологічного процесу виготовлення лопаток ручне полірування. Ця заміна дає змогу за рахунок скорочення часу обробки значно знизити собівартість виготовлення. При цьому забезпечується отримання стабільно високої якості поверхні складнопрофільних поверхонь лопатки.

Заміна полірувальних операцій, що виконуються вручну, на механічне полірування, дасть змогу виключити вплив випадкових чинників на якість лопаток, що виготовляються, і досягти сталості в геометричних розмірах і параметрах якості поверхневого шару в умовах всіх типів виробництва.

Список посилань

1. Гончар Н.В., Гребенніков М.О., Криворученко В.Л., Слободян А.Г. Оптимізація технологічного процесу виготовлення лопаток в умовах одиничного виробництва ГТД // Матеріали XIII міжнародної науково-практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем». – Чернігів: ЧНТУ, 2023. – Том 1. – С. 218.

УДК 621.792.6 : 621.05.004.28

Ступак В.В., інженер

Задоя Н.О., канд. техн. наук, доцент

Національний університет «Запорізька політехніка», zadoya@ua.fm

ПРОБЛЕМИ АДГЕЗІЇ ПЛАСТИКУ ПРИ ДРУЦІ НА 3D-ПРИНТЕРІ

D-друк стає все більш розповсюдженим методом виробництва різноманітних деталей, частіше використовується тип друку FDM, і однією із перших проблем, які виникають при друці – погана адгезія (прилягання) першого шару пластику до поверхні столу принтера, внаслідок чого деталь може відірватися від столу, або зміститися, що призводить до псування деталі та зупинки друку (або, якщо функції автоматичного вимикання немає, то до зайвого використання філаменту впусту). Також треба враховувати умову подальшого швидкого та безпечного відділення деталі від столу після закінчення друку без руйнування покриття столу, тому вирішення цієї проблеми носить як науковий, так і практичний характер і є актуальним.

Розглянемо декілька поширених проблем із приляганням пластику при 3D-друці на прикладі сучасних поверхонь столу принтера – PEI (поліетерімід) панелі.

PEI є високоміцним аморфним термопластичним полімером [1, 2]. Його використовують, як покриття, як окремий матеріал для деталей, або в термопластичних композитах, армуючи його, наприклад, скловолокном [3]. Основні характеристики PEI:

- високоміцний та температуростійкий, витримує чисельне циклічне термічне навантаження;
- забезпечує стабільність розмірів та сприятливе поєднання гнучкості та жорсткості у широкому діапазоні температур;
- стійкий до гідролізу;
- не має отруйних випаровувань, підходить для контакту із харчовими продуктами, має низьку займистість та димоутворення;
- має відмінні електроізоляційні та діелектричні властивості та підвищену стійкість до радіаційної енергії.

В 3D-принтерах використовується, як покриття панелі (опори) робочого столу принтера. Верхній робочий шар має шорстку структуру, що підвищує адгезію як при високих, так і при низьких температурах. Панель має на нижній стороні магнітний шар, що дозволяє її легко знімати з основної нагрівальної частини столу принтера для відклеювання деталей після друку за допомогою легкого згинання, під час якого покриття PEI зберігає цілісність і основні властивості.

Досліджували друк деталей з філаменту із найрозповсюджених пластиків [4]: PLA (полілактід), PETG (поліетиленглікольтерефталат), ABS (акрилонітрил-бутадієн-стирол).

Хоч PEI панелі мають ряд переваг і властивостей, але проблему адгезії повністю вони не вирішують. Ось кілька поширених проблем та способи їх вирішення.

Недостатня температура столу. Якщо стіл недостатньо розігрітий, пластик може не прилипнути до нього належним чином. Рішення: необхідно переконатися, що стіл достатньо нагрітий до рекомендованої температури. Ось приблизні рекомендації щодо температурних налаштувань для друку вищезазначеними типами пластику:

а) PLA.

Температура сопла: зазвичай 190...220 °C. Рекомендована температура 200... 210 °C.

Температура підігріву столу: не обов'язково, але якщо принтер має підігрів, рекомендується встановити температуру від 50 °C до 60 °C.

б) PETG.

Температура сопла: зазвичай 230...250 °C. Рекомендована температура 240...250 °C.

Температура підігріву столу: рекомендована температура від 75 °C до 85 °C.

в) ABS.

Температура сопла: зазвичай 230...260 °С. Рекомендована температура: 240...250 °С.

Температура підігріву столу: рекомендована температура від 90 °С до 110 °С.

Ці рекомендації можуть відрізнятися в залежності від конкретного виробника, моделі, а також від параметрів 3D-принтера. Рекомендується починати із нижніх меж діапазону та поступово збільшувати температуру, якщо це необхідно для досягнення кращих результатів друку.

2. Нерівна поверхня столу. Якщо поверхня столу негоризонтальна, нерівна або має дефекти, це може призвести до проблем із адгезією. Рішення: проведення фізичного та автоматичного калібрування столу для досягнення максимально рівної поверхні. Якщо дефекти покриття незворотні, необхідна заміна робочої частини столу.

Неправильне налаштування параметру *z-offset* – це відстань від сопла до поверхні столу. Ця відстань може бути занадто маленькою (що призведе до проблем із адгезією), або занадто великою (що може призвести до проблем із неякісним першим шаром). Рішення: правильно налаштувати *z-offset* згідно з рекомендаціями виробника 3D-принтера.

Відсутність або недостатнє використання засобів, що забезпечують адгезію. Іноді просто нагрітого столу недостатньо для забезпечення адгезії. У цьому випадку можна використовувати спеціалізовані клеї та спреї, щоб покращити зчеплення. Іноді достатньо перед друком протирати стіл спиртом або іншими розчинниками, які не псують покриття робочої зони столу. При використанні клеїв або спреїв необхідно попередньо перевірити їх дію на периферії панелі, щоб при їх невідповідній якості не пошкодити основну зону робочої панелі.

5. Проблеми із матеріалом. При виготовленні філаменту виробники пакують пластик у вакуумні упаковки, які забезпечують герметичність, але це не завжди забезпечує гарантії його сухості через те, що пластик має властивість вбирати в себе вологу, що негативно відображається на адгезії і якості друку. Рішення: сушіння пластику в спеціальних сушильних камерах на наступних режимах щодо температури і часу сушіння PLA, PETG і

а) PLA. Температура: близько 45...55 °С. Час: від 4 до 6 годин;

б) PETG. Температура: близько 65...75 °С. Час: від 6 до 8 годин;

в) ABS. Температура: близько 70...80 °С. Час: від 4 до 6 годин.

Сушка пластика при зазначених температурах та часових інтервалах допоможе видалити надлишкову вологу. Важливо не перевищувати рекомендовані температури, щоб уникнути деформації або пошкодження матеріалу філаменту.

У роботі було розглянуто лише кілька можливих проблем із адгезією пластику до столу провести систематичну діагностику та застосовувати відповідні методи вирішення залежно від конкретної ситуації.

Список посилань

1. Herman F. Mark. Encyclopedia of polymer science and technology, Concise: 12 Vol. Set. Wiley: Hardback, 2007. Edition 3. 1462 pages.

2. Промислові пластики. Plastics [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://plastics.ua/industrial/products/engineer/pei/>

3. Термопластичні композити: первинна структура [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://steklo-armatura.com/termoplasticheskie-kompozityi-pervichnaya-struktura>

4. Основні матеріали, що використовуються для 3D-друку [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.3dprinter.ua/osnovni-materiali-shho-vikoristovuyutsya-dlya-3d-druku/>

УДК 621.9.048.7

Лесик Д. А., канд. техн. наук, доцент

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», lesyk_d@ukr.net

Інститут металофізики ім. Г.В. Курдюмова Національної академії наук України, м. Київ

Грушка М., інженер дослідник

Університет Західної Богемії, м. Пльзень, Чехія

Кочерга А. С., студент

Джемелінський В. В., канд. техн. наук, професор

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»

ПОЛІПШЕННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ РОБОТИЗОВАНОЮ ЛАЗЕРНОЮ СИСТЕМОЮ ТЕРМОЗМІЦНЕННЯ

Підвищення корозійної стійкості та зносостійкості конструкційних сталевих виробів шляхом селективного поверхневого зміцнення їх робочих зон є актуальним і важливим питанням у машинобудуванні й на сьогодні. Метод лазерного поверхневого термозміцнення із використанням потужних лазерів та сучасної сканувальної оптики є ефективним технологічним інструментом для поліпшення якості поверхневого шару сталевих деталей. Застосування потужних волоконних лазерів або діодних лазерів у поєднанні із роботизованими 3D системами, ведуть до кращої гнучкості процесу, забезпечуючи більшу глибини/ширини зміцнення та одноріднішу структуру в тонкому приповерхневому шарі [1]. Потужні дискові лазери з високою якістю променя також можуть бути використані для лазерного термозміцнення конструкційних сталей, розширюючи значно зони сканування лазерного променя [2].

Метою даної роботи є дослідження впливу селективного поверхневого термозміцнення дисковим лазером на якість поверхневого шару сталі 45.

Експериментальні дослідження виконано на роботизованій лазерній 3D системі (промисловий робот FANUC вантажопідйомністю 50 кг та сканувальна оптика SCANLAB із полем зображення 385×300 мм²) для поверхневого термозміцнення зразків розмірами потужністю до 5,0 кВт з довжиною хвилі лазерного випромінювання 1030 нм.

В даній роботі було застосовано повний факторний експеримент (основні фактори: потужність лазера [$P = 1950\text{--}2550$ Вт] та швидкість лазерного оброблення [$V = 9\text{--}15$ мм/с]),

як Результати показали, що потужність лазера (P) має значніший вплив на інтенсивність зміцнення сталі 45 чим швидкість лазерного оброблення (V). На основі статистичної обробки даних, лінійна експериментальна модель пропонується для передбачення величин інтенсивності зміцнення досліджуваної сталі. Для отримання твердості поверхні сталі 45 60–65 HRC₅ рекомендується здійснювати лазерне поверхневе термозміцнення при потужності лазера 1,5–1,8 Вт, швидкості оброблення 11–13 мм/с, швидкості (амплітуді) сканування лазерного променя 20000 мм/с (10 мм) та діаметрі лазерного променя 1 мм.

ю

Список посилань

1. Селективне поверхневе зміцнення валу механізму передач роботизованою лазерною 3D системою / Д.А. Лесик, М. Грушка, К.Ю. Сідун, О.О. Данилейко, Д.С. Кифоренко, М. Гоннер, В.В. Джемелінський // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». 2022. № 2 (12). С. 24-29. doi: 10.20998/2413-4295.2022.03.04.

2. Li R., Jin Y., Li Z., Qi K. A comparative study of highpower diode laser and CO2 laser surface hardening of AISI 1045 steel. J. Mater. Eng. Perform. 2014. Vol. 23. P. 30853091. doi: 10.1007/s11665-014-1146-x.

б

е

УДК 621.9-1

Авраменко С.Є., аспірант

Євдокимов О.Д., аспірант

Дегтярьов І.М., канд. техн. наук, доцент

Нешта А.О., канд. техн. наук, ст. викладач

Сумський державний університет, м. Суми, s.avramenko@tmvi.sumdu.edu.ua

РОЗРОБКА ТА МОДЕРНІЗАЦІЯ ЗАТИСКНИХ ВЕРСТАТНИХ ПРИСТРОЇВ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕПІЦИКЛОЇДАЛЬНИХ РЕДУКТОРІВ

Сучасне машинобудування ґрунтується на матеріалах, інструментах, режимах обробки та пристроях і оснащенню. Оскільки тенденції прямують до зменшення ручної та мускульної праці, а також до зниження собівартості та підвищення якості – є великий потенціал до переробки та модернізації вже існуючих пристроїв та оснастки.

Епіциклоїдні редуктори, відомі своєю високою ефективністю, компактністю та здатністю витримувати високі крутні навантаження, мають значні переваги при інтеграції в затискні верстатні пристрої. Їх застосування може підвищити точність, контроль зусилля та надійність затискних систем, що має вирішальне значення для високопродуктивної обробки в тому числі і важкооброблюваних матеріалів.

До переваг епіциклоїдальних редукторів відносять високу щільність крутного моменту; високий ККД; точне регулювання; довговічність і надійність [1].

Застосовувати їх можна виходячи з переваг самих редукторів та для компенсування недоліків вже існуючих пристроїв, наприклад:

- модернізація механічних(ручних) гідро- чи пневмо- лещат. Традиційні лещата модернізовано за допомогою епіциклоїдального редуктора, тобто основним приводом є не гідравлічний чи пневмоциліндр або ручний привід гвинтової пари переміщення губок, а кроковий двигун в парі з редуктором та механізмом зворотного зв'язку, що забезпечує більш точний контроль над силою затиску і положенням закріплюваної заготовки, як результат підвищення точності обробки, зменшення зносу інструменту та підвищення безпеки оператора;

- модернізація перекидних затискачів. Існуючі перекидні затискачі оснащуються епіциклоїдними редукторами, які автоматизують процес затискання і забезпечують точний контроль над зусиллям та позиціонуванням закріплювальних механізмів що позитивно впливає на точність обробки в подальшому та продуктивності праці;

- модульні затискні системи. Створення універсальних модульних затискних систем, які використовують епіциклоїдальні редуктори для приводу затискних механізмів (кулачкові, важільні, лінійні) у гнучких швидкозбірних пристроях в умовах дрібносерійного чи одиничного виробництва. Завдяки компактності та високим експлуатаційним характеристикам це дасть можливість затисканні різноманітних заготовок, швидке переналаштування для різних завдань і підвищення стабільності.

інтеграція епіциклоїдальних редукторів у затискні пристрої дає значні переваги з точки зору точності, контролю та ефективності. Незалежно від того, чи розробляються нові інструменти, чи модернізуються існуючі, вони можуть підвищити продуктивність і надійність затискних систем, особливо в складних умовах обробки. Впроваджуючи ці передові рішення, виробники можуть досягти кращої якості, вищої продуктивності та зниження експлуатаційних витрат.

Список посилань

1. B. Prydalnyi, «mechatronic device for two-stage clamping of cylindrical objects in machine tool spindles», journal of mechanical engineering and transport, вип. 13, вип. 1, с. 118–123, 2021, doi: 10.31649/2413-4503-2021-13-1-118-123.

УДК 621.923

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

Джулій Д.Ю., канд. техн. наук, доцент

Слободянюк І.В., канд. техн. наук, доцент

Національний технічний університет України "КПІ ім. Ігоря Сікорського",

dzhulii.dmytro@lil.kpi.ua

РОЗПОДІЛ МАГНІТНОГО ПОЛЯ ПО ПОВЕРХНІ ІНСТРУМЕНТУ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ЙОГО КОНСТРУКЦІЇ

Для ефективного магнітно-абразивного оброблення внутрішніх циліндричних поверхонь одним з важливих факторів є величина магнітної індукції, яка забезпечує утримання та притискання магнітно-абразивних зерен до оброблюваної поверхні. Було розроблено дві конструкції головок на базі високопотужних магнітів різної форми: циліндричних ($\varnothing 12 \times 9$ мм) та призматичних ($25 \times 10 \times 6$ мм). Вимірювання величини магнітної індукції виконували по периферії інструменту (рис. 1).

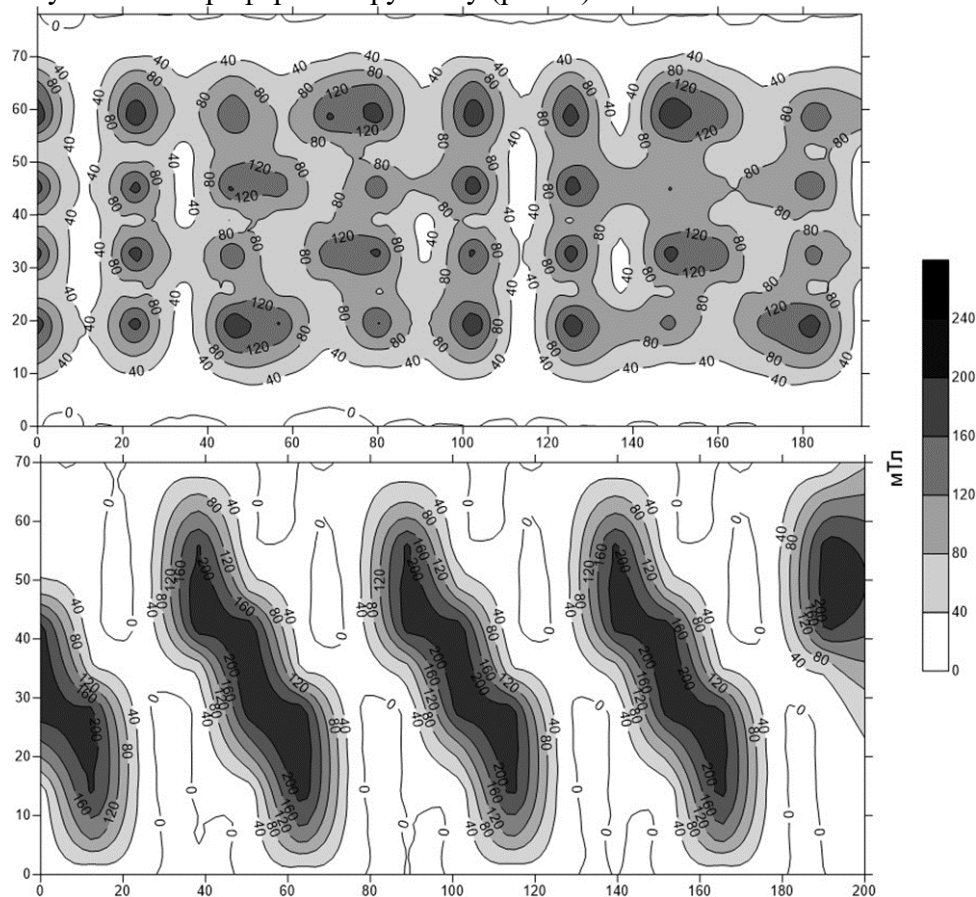


Рис. 1 – Карта величини магнітної індукції для різних конструкції інструменту

Локальна величина магнітної індукції для конструкції з призматичними магнітами більша, ніж для конструкції з циліндричними, проте площа заповнення менша. Співвідношення площі циліндра до площі магнітів дорівнює 0,271 для призматичних і 0,424 для циліндричних. Експериментальні дослідження по обробленню циліндричних внутрішніх поверхонь показали, що на ефективність оброблення більший вплив має саме площа заповнення, ніж локальна величина магнітного поля. Оскільки більша площа спричиняє рівномірніший розподіл порошку та більшу площу контакту магнітно-абразивного інструменту з оброблюваною поверхнею. При обробленні інструментом з

циліндричними магнітами порошком Феромап 400/315 мкм при подачі 0,1 мм/об отримано шорсткість поверхні Ra 0,8 мкм при початковій 3,71 мкм.

УДК 621.92

Молнар М.М., інженер

ТОВ "Самсунг РнД Інститут Україна", michaelmuller423@gmail.com

Деревянко А.І., інженер

Державне підприємство "Конструкторське бюро "Південне" ім. М.К. Янгеля",

Гаврушкевич Н.В., старший викладач

Саленко О.Ф., докт. техн. наук, професор

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», salenko2006@ukr.net

АБРАЗИВНА ОБРОБКА ВУГЛЕЦЬ-ВУГЛЕЦЕВИХ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ

Композитні матеріали з вуглецю знаходять дедалі більше застосувань в різних сферах промисловості.

Вуглець-вуглецеві композити складаються з волокон вуглецю, які вбудовані в вуглецеву матрицю. Подібно до багатьох композитних матеріалів вуглець-вуглецеві композити використовують спеціальне розташування волокон в матриці у вибраних орієнтаціях. Такі композити є дороговартісними в виготовленні та обробці, проте вони мають наступні важливі властивості [1, 2]:

- високе співвідношення жорсткості до ваги;
- збереження механічних властивостей при температурах до 3000 °С;
- низьке теплове розширення; стійкість до корозії.

Враховуючи характеристики цього матеріалу, є очевидним те, що класичні методи обробки не є ефективними при роботі з вуглець-вуглецевими композитними матеріалами. Через це були запропоновані альтернативні методи обробки, такі як обробка пилюкою з аперіодичним кроком.

Для забезпечення стійкості різального інструменту було використано алмазовмісний інструмент. Цей інструмент мав пружну основу та безперервний ряд мікролез, які розташовані на різній довжині один від одного.

Даний різальний інструмент, призначений для обробки циліндричних заготовок (рис.1), мав довжину в 250 мм та крок між зернами в 1.5...2.5 мм.

Вуглець-вуглецевий композит мав крок між джгутами волокон в 1.8 мм та діаметр самих джгутів в 1.2 мм. Для встановлення його раціональних параметрів було проведено моделювання шляхом створення нового матеріалу в CAD середовищі [3]. При цьому різальний інструмент уявляли у вигляді нежорсткої нитки із поверхнею, що мала відмінні умови контакту на довжині взаємодії.



Рис. 1 – Заготовки з карбон-карбонового матеріалу

В результаті моделювання було визначено напруження різального інструменту в точці контакту з вуглецевим волокном, яке досягало значення в 1,951 ГПа. Також необхідно зауважити, що після досягнення такого навантаження зерно видалялось з різального інструменту імітуючи його деградацію.

Для виготовлення різального інструменту необхідно нанести алмазовмісну оболонку на жорсткий різальний інструмент. Для цього було запропоновано використати 3д друк та PLA та PET пластики[4] .

Для дослідження однорідності шару було використано моделювання в CAD середовищі, змодельований екструдер та досліджена об'ємна та масова концентрація пластику на виході екструдера.

Результати моделювання показали, що масова концентрація PLA становитиме 0,5054. Масова концентрація PET становитиме 0,4946.

Після нанесення PET та PLA на різальний інструмент він буде запікатись при низькому тиску для фіксації алмазних зерен.

Серед обмежень різального інструменту також є деформація, яку може витримати оболонка без руйнування.

Для того, щоб визначити оптимальні режими різання, було досліджено залежність деформації різального інструменту від частоти поступального руху. Серед сил, які були враховані, є сили реакції головного зерна різання, а також 3 наступних, які є меншими за головну.

В випадку з частотою 66.55 Гц кількість критичних точок деформації складала 1, тоді як при частоті 183.4 Гц їх було 2, а при частоті 359.9 Гц їх було 3.

З цього дослідження було зроблено висновок, що для забезпечення безперервного контакту інструменту необхідно дотримуватись мінімальної частоти.

Підсумовуючи, можна зробити висновок, що обробка композитних матеріалів є важливим і перспективним завданням, але звичні методи обробки потребують покращень і експериментів для того щоб забезпечити довговічність різальних інструментів та ефективність обробки. В випадку з вуглець-вуглецевими композитом ця проблема є ще більш актуальною через його механічні властивості та термостійкість.

Список посилань

1. Cutting Superhard Materials by Jet Methods (on Functional Approach) / A. Salenko et al. Recent Advancements in the Metallurgical Engineering and Electrodeposition. 2020. URL: <https://doi.org/10.5772/intechopen.87094> (date of access: 07.05.2024). 2. Norbert Geier, Paulo Davim, Tibor Szalay. - Advanced cutting tools and technologies for drilling carbon fiber reinforced polymer (CFRP) composites: A review. - Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. - Volume 125, October 2019, 105552.

2. Geier N., Davim J. P., Szalay T. Advanced cutting tools and technologies for drilling carbon fibre reinforced polymer (CFRP) composites: A review. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. 2019. Vol. 125. P. 105552. URL: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2019.105552> (date of access: 07.05.2024).

3. A short review on basalt fiber reinforced polymer composites / V. Dhand et al. Composites Part B: Engineering. 2015. Vol. 73. P. 166–180. URL: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2014.12.011> (date of access: 07.05.2024).

4. Integrated Processing: Quality Assurance Procedure of the Surface Layer of Machine Parts during the Manufacturing Step "Diamond Smoothing" / V. Y. Skeebe et al. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. Vol. 125. P. 012031. URL: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/125/1/012031> (date of access: 07.05.2024).

УДК 621.9

Діденко Р.П., студент

Гаврилова К.О., студент

Саленко О.Ф., докт. техн. наук, професор

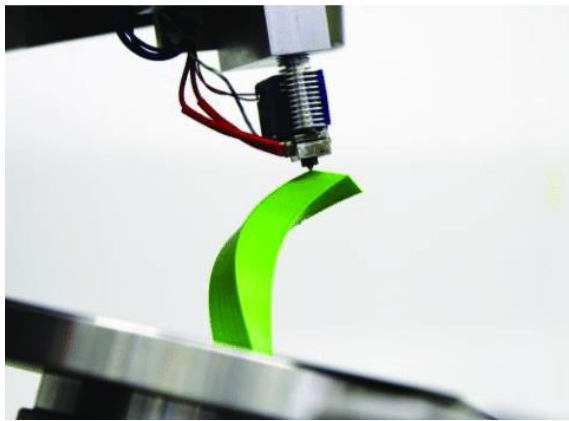
Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського»,

rdidenko297@gmail.com

ПЕРЕВАГИ БАГАТООСЬОВОГО FDM ДРУКУ НАД ТРЬОХОСЬОВИМ FDM ДРУКОМ

Аддитивне виробництво — це нова технологія, яка дозволяє створювати об'єкти шляхом нанесення матеріалу шар за шаром. Однак основними її недоліками є тривалий час виготовлення деталей та фіксований напрямок виготовлення заготовок.

Сучасні FDM-принтери обмежені рухами по трьох осях з фіксованим напрямком побудови по осі Z. Основною перевагою багатоосьового друку є зменшення використання матеріалу для підтримок шляхом нахилу столу, щоб уникнути нависаючих конструкцій (рис.1, а) [1].



а)



б)

Рис. 1 - Багатоосьовий друк на семиосьовому принтері FDM, розроблений в Штутгартському університеті [1] а), гладкий вигнутий верхній шар [2] б)

При трьохосьовому FDM друці можна побачити «погану» шорсткість поверхні - це результат так званого ефекту сходів. Через пошаровий підхід друку FDM роздільна здатність друку в напрямку Z може бути низькою. Це особливо помітно на поверхнях, які мають невеликий нахил або кривизну. Хоча деякі негативні ефекти можна зменшити, використовуючи малу висоту шару, це значно збільшує час друку та послаблює деталь. Замість цього багатоосьовий друк може зменшити ефект сходів без втрати швидкості друку чи міцності деталей (рис.1,б) [2].

Висновок: При використанні багатоосьовому FDM друці можна виключити недоліки трьохосьового FDM друку, а саме: зменшення використання матеріалу для підтримок, сприяє зменшенню часу та витрат для виготовлення деталі; вигинання верхнього шару повністю усуває ефект сходів, в результаті чого поверхня стає гладкою.

Список посилань

1. Reduction of Support Structures and Building Time by Optimized Path Planning Algorithms in Multi-axis Additive Manufacturing [Електронний ресурс] / Daniel Coupek [та ін.] // Procedia CIRP. – 2018. – Т. 67. – С. 221–226.
2. Exploring the benefits and limitations of multi-axis 3D printing for improved part quality and reduced waste - University of Twente Student Theses [Електронний ресурс] // Repository home - University of Twente Student Theses. – Режим доступу: <https://essay.utwente.nl/96771/>

УДК 621.9

Сохан Д.В., асистент

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

dima.sokhan@gmail.com

СТВОРЕННЯ КІНЦЕВО-ЕЛЕМЕНТНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ РАДІУСУ НЕЙТРАЛЬНОГО ШАРУ ПРИ ЧИСТОМУ ЗГИНІ

Для визначення напружено-деформованого стану в перерізі потрібно знати радіус нейтрального шару, оскільки при пластичному згині несиметричних відносно осі згину профілів нейтральний шар по відношенню центру ваги зміщується в сторону більш широкій частини поперечного перерізу [1].

Для підтвердження аналітичної залежності проводяться чисельне моделювання процесу в таких системах як Deform 3D [2].

$$M = \int_{(r)} \sigma r dr = 0 \quad (1)$$

Деформація, при якій в поперечних перерізах стержня діє тільки згинаючий момент називають чистим згином [3], тому потрібно створити модель гнуття, щоб діяли на заготовку лише моменти. (рис. 1)

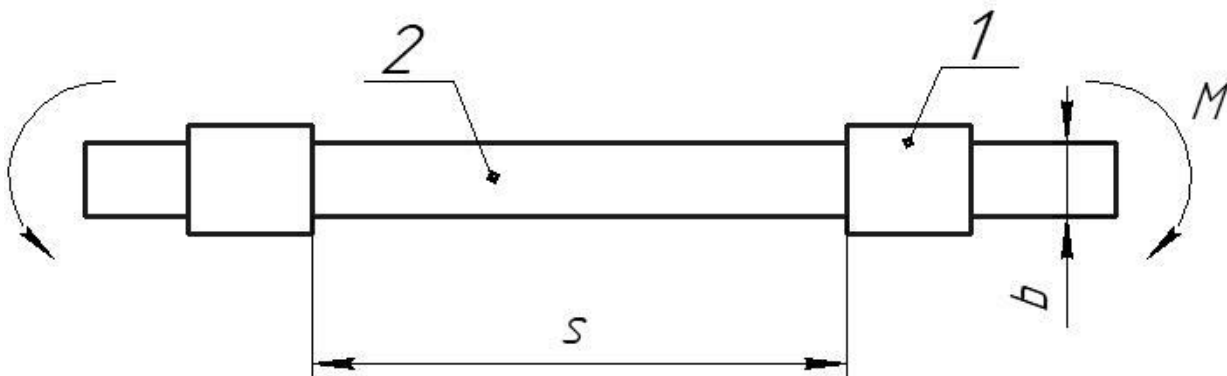


Рис. 1 – Модель чистого згину: 1 – модель інструменту за допомогою якого відбувається згин; 2 – заготовка, де: b – висота заготовки; s – відстань між інструментами; M – згинаючий момент

Для зменшення впливу на напружено-деформований стан потрібно, щоб відстань між інструментами s дорівнювало $(6 - 8)b$.

Після моделювання в системі Deform 3D за такою схемою можна точно отримати положення нейтрального шару.

Робота виконується під керівництвом д.т.н., проф. Тітова В.А.

Список посилань

1. Лысов М.И. Теория и расчет процессов изготовления деталей методами гибки. —М.: Машиностроение, 1966. — 236 с.
2. Титов В.А. Метод экспериментально-аналитического построения кривых деформирования материалов при испытании на изгиб. Сообщение 1/ В.А. Титов, Т.Р. Гараненко // Обработка металлов давлением – 2015. -№2- с. 74-80.
3. Тимошенко С.П. Соппротивление материалов. – М.: Наука, 1965. – 364 с.

УДК 621.923.9

Волоткевич Д.С., студент

Степанов Д.М., канд. техн. наук, доцент

Національний університет «Запорізька політехніка», stepanovzntu@gmail.com

ОСОБЛИВОСТІ ФІНІШНОЇ ОБРОБКИ СЕКТОРА ЛОПАТОК СОПЛОВИХ АПАРАТІВ ТУРБІНИ

Одними з особливо відповідальних елементів авіаційного двигуна є сектора лопаток соплових апаратів турбіни та спрямляючих апаратів компресора. Вони відносяться до тонкостінних деталей авіаційного двигуна і мають складний профіль. Також вони мають особливі умови експлуатації, які обумовлюють вимоги до їх якості поверхні. Тому вкрай важливим є правильний вибір фінішних операцій обробки даних деталей.

Через їх доволі складний профіль, а також особливі умови експлуатації, спектр можливих фінішних операцій невеликий. Виходячи з їх конструктивних особливостей найбільш підходящий метод для фінішної обробки таких елементів є віброабразивна обробка (віброполірування, галтування, віброгалтування). Від умов віброабразивної обробки, виду наповнювача, тривалості, режимів, і просто фізичних характеристик обладнання залежить якість обробки поверхонь, а значить і експлуатаційні показники лопаток. Переважна кількість віброабразивних операцій відбувається на вібромашинах з горизонтальним валом і U-подібним контейнером [1]. Таке обладнання дозволяє проводити обробку великогабаритних деталей простого профілю, хоча і має недолік у вигляді нерівномірної обробки, особливо біля торцевих поверхонь. До того ж, такі машини мають доволі великі енергозатрати, і є проблемними для автоматизації. Натомість таких мінусів не мають віброустановки з вертикальним валом і круглими контейнерами [1]. На сьогодні таке обладнання представлено різними фірмами-виробниками. Серед них компанія RÖSLER, обладнання якої знаходиться серед найкращих фірм світу. Обладнання цієї фірми представлені в різному виконанні і різних типорозмірів. Виходячи з особливостей конструкції та розмірів секторів соплових апаратів вибираємо установку R 220 (рис. 1) [2].



Рис. 1 – Загальний вигляд віброустановки R 220 компанія RÖSLER з вертикальним валом і круглим контейнером

Також дана компанія пропонує наповнювачі для своїх установок. Різновид наповнювачів дуже великий, як керамічних так і пластикових (рис. 2). Тому виникає необхідність аналізувати та підбирати їх для окремих задач. Проаналізувавши властивості і характеристики різних видів наповнювачів, серед тих, що пропонує RÖSLER, найбільш відповідним для обробки сектору лопаток соплового апарату турбін є керамічний наповнювач з маркою RP [3]. Дослідницьким методом було визначено оптимальну форму гранул наповнювача для здобуття найкращої якості поверхні, а саме абразивні гранули в формі двосторонніх пірамід в поперечному перерізі яких лежить неопуклий шестикутник [4].

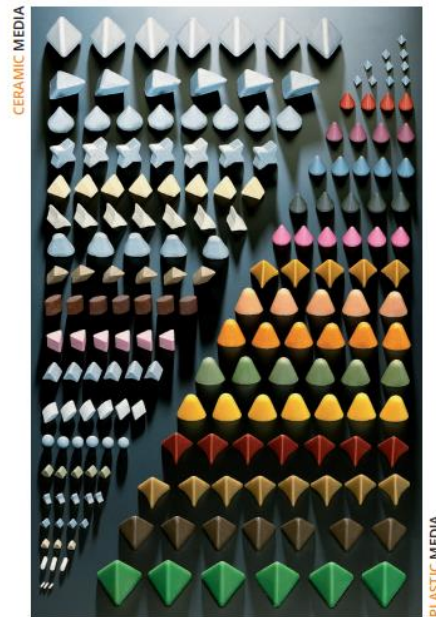


Рис. 2 – Загальний вигляд наповнювачів фірми RÖSLER

Саме за такої конфігурації обладнання, наповнювача та форми гранул буде досягнута найкраща якість поверхні, що призведе до підвищення експлуатаційних властивостей і характеристик сектору лопаток соплового апарату турбін.

Список посилань

1. Іскович-Лотоцький Р. Д. Вібробразивна обробка деталей на установках з гідроімпульсним приводом : монографія / Р. Д. Іскович-Лотоцький, О. Д. Манжілевський. – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 152 с.
2. FactSheet_Rotary_vibrator [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.rosler.com/fileadmin/Files/Prospekte/Datenblatt/GS/EN_FactSheet_Rotary_vibrator_EN.pdf
3. Consumables [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.rosler.com/fileadmin/Files/Prospekte/Gleitschleifen/EN_Consumables_EN_130.pdf
4. Шумакова Т.О. Дослідження впливу геометричних параметрів абразивних гранул на шорсткість поверхонь деталей при вібраційній обробці / Т.О. Шумакова, А.П. Ніколаєнко, О.В. Романченко, Т.Я. Таванюк, О.М. Логунів // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2019. – № 1. – С. 131-140. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VSUNU_2019_1_23

УДК 539.4+620.1

Грабовський А.П., канд. техн. наук, доцент

Бондарець О.А., канд. техн. наук, доцент

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

ДЕФОРМАЦІЙНА МОДЕЛЬ ПОШКОДЖУВАНOSTІ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

В роботі розглядається неруйнівний метод оцінки накопичених розсіяних пошкоджень в конструкційних матеріалах як багатостадійне явище при пружно пластичному навантаженні, що приводить до утворення залишкових деформацій при експлуатації інженерних об'єктів.

Пропонується тензор пошкоджень, що містить оцінку впливу залишкових деформацій на оцінку пошкоджуваності конструкцій до руйнування. Досліджені результати порівнюються

з іншими методами виміру пошкоджуваності в матеріалі зміна - модулів пружності E та G матеріалу та метод виміру зміни питомого електроопору матеріалу при напруженні.

Як відомо руйнування матеріалу згідно теорії Фрідмана відбувається на відрив та зріз, що призводить до деградації модулів пружності E та G при експлуатації обладнання. В роботі отримані співвідношення для оцінки кінетики накопичення пошкоджень в результаті деградації модулів пружності через співвідношення:

$$D_{\sigma} = 1 - \sqrt{1 - \varphi_{\sigma} \left(\frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_R} \right)^{\alpha}} ; D_{\tau} = 1 - \sqrt{1 - \varphi_{\tau} \left(\frac{\gamma_i}{\gamma_R} \right)^{\beta}} ,$$

де D_{σ} та D_{τ} відповідно, пошкоджуваність в матеріалі від нормальних та дотичних напружень, $\varphi_{\sigma} = \frac{E_0 - \tilde{E}_R}{E_0}$, $\varphi_{\tau} = \frac{G_0 - \tilde{G}_R}{G_0}$ – параметри, що характеризують глибину зміни

модулів пружності при осьовому навантаженні та зсуві від початкового значення при

е
к
с

п В роботі отримані експериментально-теоретичні поліноміальні величини коефіцієнтів α , β від величини пластичних властивостей - δ .

у Отримана матриця функції пошкоджуваності за залишковими деформаціями

а
т
а
ц
і
ї

$M_{ijkl} =$
E
M
B
E
D
E
C

$$\begin{pmatrix} \sqrt{1 - \varphi_{\sigma} \left(\frac{\varepsilon_{i1}}{\varepsilon_p} \right)^{\alpha}} & -\frac{1}{\mu_{12}} \sqrt{1 - \varphi_{\sigma} \left(\frac{\varepsilon_{i2}}{\varepsilon_p} \right)^{\alpha}} & -\frac{1}{\mu_{13}} \sqrt{1 - \varphi_{\sigma} \left(\frac{\varepsilon_{i3}}{\varepsilon_p} \right)^{\alpha}} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{\mu_{21}} \sqrt{1 - \varphi_{\sigma} \left(\frac{\varepsilon_{i2}}{\varepsilon_p} \right)^{\alpha}} & \sqrt{1 - \varphi_{\sigma} \left(\frac{\varepsilon_{i3}}{\varepsilon_p} \right)^{\alpha}} & -\frac{1}{\mu_{23}} \sqrt{1 - \varphi_{\sigma} \left(\frac{\varepsilon_{i3}}{\varepsilon_p} \right)^{\alpha}} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{\mu_{33}} \sqrt{1 - \varphi_{\sigma} \left(\frac{\varepsilon_{i3}}{\varepsilon_p} \right)^{\alpha}} & -\frac{1}{\mu_{32}} \sqrt{1 - \varphi_{\sigma} \left(\frac{\varepsilon_{i3}}{\varepsilon_p} \right)^{\alpha}} & \sqrt{1 - \varphi_{\sigma} \left(\frac{\varepsilon_{i3}}{\varepsilon_p} \right)^{\alpha}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sqrt{1 - \varphi_{\sigma} \left(\frac{\gamma_{i23}}{\varepsilon_p} \right)^{\beta}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \sqrt{1 - \varphi_{\sigma} \left(\frac{\gamma_{i13}}{\varepsilon_p} \right)^{\beta}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sqrt{1 - \varphi_{\sigma} \left(\frac{\gamma_{i12}}{\varepsilon_p} \right)^{\beta}} \end{pmatrix}$$

де $\varepsilon_{i1}; \varepsilon_{i2}; \varepsilon_{i3}; \gamma_{i12}; \gamma_{i23}; \gamma_{i13}$; – поточні величини залишкових деформацій у відповідних напрямках.

т
і

і Ефективні напруження в конструкційних матеріалах при напруженні, з врахуванням пошкоджуваності, обчислюються відношенням:

п

$$\tilde{\sigma}_{ik} = M_{iklm} \sigma_{lm}; (i, k = 1, 2, 3)$$

.

Д Проведені порівняння експериментальних результатів кінетики накопичення пошкоджень отриманих іншими методами досліджень – деградацією модулів пружності E та G і зміною питомого електроопору при пружно-пластичному навантаженні до руйнування.

УДК 621

Онисько О.Р., докт. техн. наук, професор
Лукань О.А., аспірант

E_0

т
а

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

ОСНОВИ РОЗРОБКИ ЕКСПЕРТНОЇ PLM-СИСТЕМИ ХОДОВИХ ГВИНТІВ

Проектована експертна система є програмним засобом, що використовує експертні знання у предметній області гвинтових деталей для ефективного вирішення задач цікавих як для користувача так і виробника кінематичних і силових ходових гвинтів. Її потреба викликана невирішеністю ряду задач, які пов'язані із процесами виготовлення деталей, що містять циліндричні гвинтові поверхні зі сталим кроком. До головних питань, які потребують постановки задачі і її вирішення можна віднести [1]:

- Експлуатаційні показники ходових гвинтів як функція їхніх конструктивних параметрів.
- Експлуатаційні показники ходових гвинтів у їх залежності від технологічних параметрів виготовлення.
- Експлуатаційні показники ходових гвинтів у процесі їхнього використання.

Отже дана експертна PLM-система заснована на знаннях, які отримані у аналітичний, емпіричний чи комп'ютерно-модельований спосіб покликана якомога детальніше поставити задачі для вирішення перелічених головних питань і далі слугувати базою для поступового їхнього розв'язку та удосконалення предметної області – ходових гвинтів.

Слід зауважити що логічна адекватність, тобто здатність розпізнавати усі відмінності, що закладаються у варіативності вхідних параметрів та вихідних показників даної проекрованої експертної системи опирається на компетентність тих професіоналів, які покликані застосовувати її. Цьому сприятиме логічна прозорість проекрованої експертної системи, а також її евристична потужність, глибина, гнучкість і звичайно зручність роботи [2].

За своєю суттю дана проектована експертна PLM-система ходових та силових гвинтів може бути класифікована за типом розв'язку задач як діагностична, тобто призначена для виявлення джерел несправностей за результатами спостережень за поведінкою контрольованої системи [3].

За ступенем своєї складності можна очікувати її тип як глибинну систему, яка при виникненні невідомої ситуації залишається справедливою для заданої області експертизи кінематичних та силових гвинтів [4].

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.

2. V. Kopei, O. Onysko, C. Barz, P. Dašić, V. Panchuk. Designing a multi-agent plm system for threaded connections using the principle of isomorphism of regularities of complex systems. *Machines* 2023, 11(2), 263. <https://doi.org/10.3390/machines11020263>

3. Oleh Onysko, Volodymyr Kopei, Cristian Barz, Yaroslav Kusyi, Saulius Baskutis, Michal Bembenek, Predrag Dašić and Vitalii Panchuk Mathematical Model of Tapered Thread Profile Made by Turning from Different Machinability Materials. *Preprint. Org.* Posted Date: 12 March 2024 10.20944/preprints202403.0719.

4. Oleh Onysko, Volodymyr Kopei, Cristian Barz, Yaroslav Kusyi, Saulius Baskutis, Michal Bembenek, Predrag Dašić and Vitalii Panchuk Mathematical Model of Tapered Thread Profile Made by Turning from Different Machinability Materials. *Preprint. Org.* Posted Date: 12 March 2024 10.20944/preprints202403.0719.

УДК 621.941-229.3:531.133

Олійник Я.О., аспірант
Некрасов С.С., канд. техн. наук

ВИЗНАЧЕННЯ ШОРСТКОСТІ З ЗОБРАЖЕНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЙРОМЕРЕЖ

Загальновідомо, що якість обробки поверхонь що формують ріжучу крайку значно впливає на ефективність різання, в той же час ріжуча крайка утворюється поверхнями з невеликою площиною, що унеможливує використання традиційних методів визначення шорсткості цих поверхонь, тому було запропоновано використати нейромережу для визначення шорсткості вузької ділянки поверхні.

Широковідомі методи оцінки якості поверхонь за допомогою оптичних приладів в яких оцінюється рельєф поверхонь для визначення тих чи інших параметрів. Але всі ці методи потребують складної програмної і математичної реалізації. Одним із альтернативних підходів до визначення шорсткості поверхні є застосування нейронних мереж для аналізу зображень. В основі цього методу лежить здатність деяких нейромереж аналізувати графічні зображення. Цей метод дозволить оцінити шорсткість поверхні, безпосередньо на ріжучій крайці леза. Використовуючи методи комп'ютерного зору та машинного навчання, нейронні мережі можуть визначати шорсткість поверхні.

Ці мережі є потужним інструментом для обробки зображень, оскільки здатні розпізнавати складні взаємозв'язки між вхідними даними (зображеннями) та вихідними параметрами (шорсткістю поверхні). Вони автоматично виділяють ознаки з зображень, важливі для оцінки шорсткості поверхні, такі як текстури, контури та інші характеристики. Перспективним напрямком досліджень є використання зображень з електронного мікроскопа разом із нейронними мережами для аналізу шорсткості поверхні.

Переваги методу:

1. Вартість обладнання. Для визначення шорсткості таким методом необхідно лише простий мікроскоп з можливістю оцифровування зображень, вартість якого значно менша за вартість профілометра.
2. Можливість автоматизації. Цей метод підійде для визначення шорсткості поверхні, за допомогою автоматизованого процесу зйомки і передачі зображень нейромережі. Наприклад, визначення шорсткості деталей що, безперервно переміщуються по конвеєру, тощо.
3. Простота і зручність. Для деяких випадків буде достатньо навіть використання режиму макрозйомки в сучасних смартфонах. Наприклад безпосередньо на виробництві, робітник може визначити значення шорсткості той чи іншої поверхні за лічені секунди, без вартісного обладнання.
4. Можливість роботи з складними поверхнями. Для визначення шорсткості з зображення, необхідна лиш маленька ділянка поверхні, яку потрібно сфотографувати.

Результати досліджень показують ефективність цього підходу та його потенціал для подальшого розвитку в промисловості. Цей метод може використовуватися для автоматизації процесів контролю якості. Завдяки здатності нейромереж швидко і точно аналізувати зображення в рамках необхідних умов, було отримано результати, що свідчать про перспективність методу. А саме, визначення шорсткості крайки леза, дасть змогу більш точно і всебічно проводити аналіз ріжучих властивостей інструменту, характеристик зносу та стійкості.

Дудаш В.Ф., інженер

ПрАТ «Єврокар», clava.dydash@gmail.com

ДО ПИТАННЯ СТАТИЧНОГО АНАЛІЗУ НА МІЦНІСТЬ ВИЛКИ КАРДАННОГО ВАЛУ

Одним з найпоширеніших частин механізму при забезпеченні передачі крутного моменту, від одного вузла до іншого в транспортних засобах, сільськогосподарській та промисловій техніці є частина механізму, що використовується для з'єднання карданного валу з іншими вузлами, а саме - вилка карданного валу [1]. Необхідним сучасним питанням є питання можливості проведення спеціальних робіт при виготовленні або при ремонті цієї частини механізму, без суттєвої зміни міцності [2, 3]. При дослідженнях зміни геометричних параметрів навантажувального з'єднання деталей вилки карданного валу особливу увагу було приділено розрахунку статичного аналізу міцності вилки карданного валу, виготовленого зі Ст 10.

Статичний аналіз на міцність вилки карданного валу виконано в програмному комплексі FreeCAD версії 0.21.1. Дослідження відбувалося зі створенням декількох примітивів для

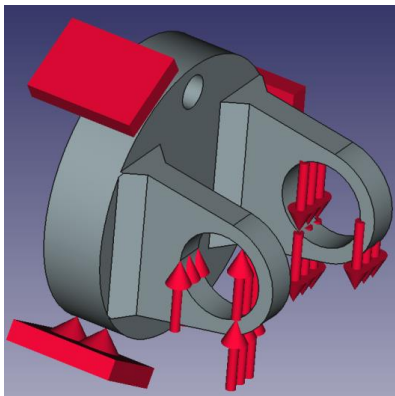


Рис. 1 - Розрахункова схема прикладання навантаження

точного аналізу та отримання достовірних даних. Розрахунок проводився за методом кінцевих елементів - числовою технікою знаходження розв'язків інтегральних та диференціальних рівнянь у частинних похідних. Процес розв'язання побудований на повному усуненні диференціального рівняння для стаціонарних задач.

Для проведення дослідження на міцність вилки карданного валу обмежились розрахунковою схемою прикладання зусилля та різноманітних обмежень, а саме перевірці внутрішньої поверхні обойми вушок розподіленим зусиллям від осі хрестовини у 1000 Н, яке відповідає крутному моменту у 1485 Н·м. На рис.1. приведено схему прикладання навантаження. Слід відмітити, що матеріал в програмі задавався як лінійний,

тобто такий, що працює не виходячи за границю пружності, використовуючи закон Гука. А також було прийнято, що всі реакції виходять із статичного розрахунку умови рівноваги.

В результаті проведення досліджень було встановлено максимальне зміщення співвісності двох отворів для перешкодити процесу заклинювання механізму карданного шарніру в робочих режимах, яке коливається в межах від -0,027мм до +0,049 мм. Ці результати зображені червоним кольором на рис. 2. які відповідають найбільшим переміщенням навантаження на вушка карданної вилки.

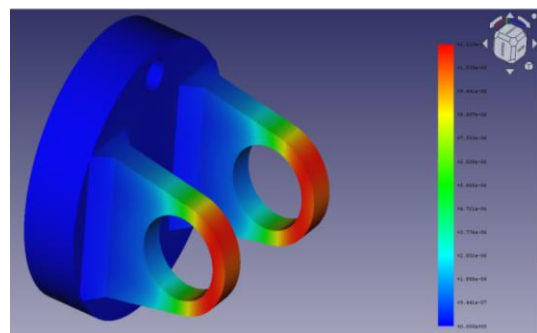


Рис.2 - Максимальні переміщення навантажених областей вилки

При дослідженні навантажень карданної вилки було виявлено, див. гістограма рис.3, що

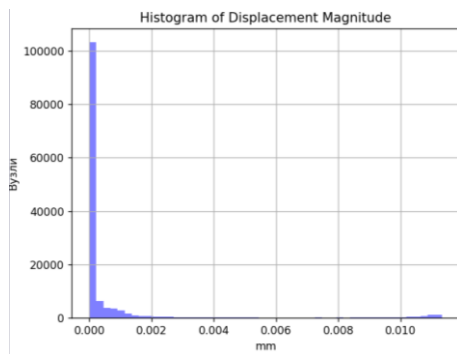
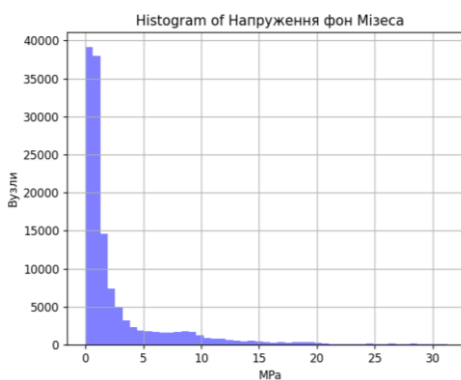
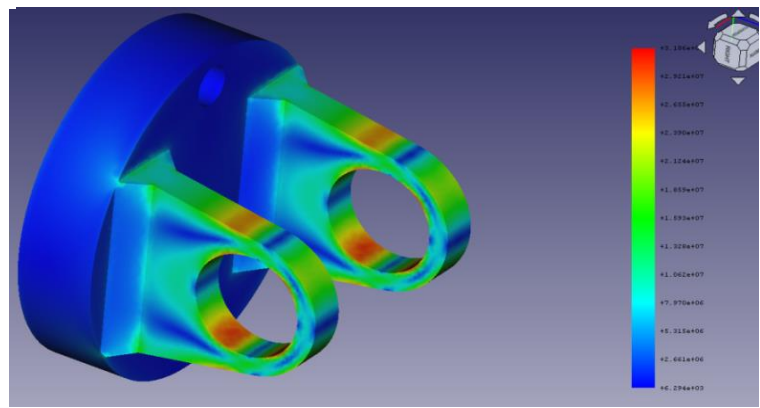


Рис. 3 - Гістограма переміщення навантажених областей вузлів автомобіля

кількість вузлів які мають незначні переміщення під час роботи двигуна складає понад 100000 одиниць. Ці вузли не є критичними в процесі роботи двигуна, отже пошкоджень роботі різним механізмам автомобіля не задають. Близько 7000 вузлів мають переміщення напруження під час роботи двигуна в межах від 1 до 2 мкм. І лише 3500 вузлів мають переміщення напруження, які відповідають максимальним переміщенням від -0,027 мм до +0,049 мм, що може призвести до серйозних несправностей роботи автомобіля. Одним з таких вузлів є і досліджуваний нами вузол карданного шарніру у процесі робочого навантаження.



а)



б)

Рис. 4 - Гістограма напруження а) та напруження б) фон Мізеса вилки карданного валу

При дослідженні напруження на вилку карданного валу методом найбільшого еквівалентного напруження - методом Мізеса нами було встановлено, що близько 35000 - 45000 вузлів автомобіля сприймають навантаження які є меншими за 5 МПа. А 2000 вузлів сприймають максимальне напруження, що відповідає навантаженню у 32 МПа, що у 6,5 разів менше за границю текучості матеріалу Ст 10. рис.4 а. Отже, досліджувана нами карданна вилка, згідно перевірки методом фон Мізеса повністю проходить перевірку на міцність рис.4 б.

Таким чином, за результатами статичного аналізу на міцність вилки карданного валу встановлено, що дану деталь можливо навантажувати навантаженням на 34% більшим за прийняте нами у 1000 Н або у 1485 Н·м значення крутного моменту, але із врахуванням меж максимального переміщення навантаження від -0,027 мм до +0,049 мм.

Список посилань

1. Хітров І.О. Ремонт машин і обладнання: навч. посіб. / І.О. Хітров, В.С. Гавриш. – Рівне: НУВГП, 2012. – 184 с.
2. Тарасевич Ю.Я. Ймовірнісні розрахунки на міцність та вібрацію: навч. посіб. / Ю.Я Тарасевич. – Суми: Сумський державний університет, 2010. – 203 с.
3. Єфімов О. В. Методика розрахунку на міцність кришок, днищ, вузлів та елементів конструкції парогенераторів двоконтурних АЕС з реакторами ввер-1000 / О. В.Єфімов, В. Л.Каверцев, П. В. Ліфшиць /Вісник Харківського Національного технічного університету «ХПІ». Серія: «Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування»: науковий збірник. –Харків: ХПІ, 2022. – № 3–4 (11–12). – С. 29 – 34.

УДК 621.30

Григоренко Р.А., директор

Товариство з обмеженою відповідальністю «ДАК», altis77@gmail.com

Чжу Уцин, аспірант

Саленко О.Ф., докт. техн. наук, професор

Гаврушкевич А.Ю., к.т.н., доцент

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», salenko2006@ukr.net

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ВОДОКРИЖАНОГО РОЗКРОЮВАННЯ ТОНКИХ ПЛАСТИН ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО ТА МІКРОЕЛЕКТРОННОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Технологія виробництва кремнієвих мікрочипів на стадії підготовки їх до збору в корпусах передбачає розділення напівпровідникової пластини на окремі кристали. Вимоги до операції розділення пластин [1,2] формуються у відповідності з вимогами, які ставляться до кристалу. Основні з них: високий відсоток виходу роботоздатних кристалів з якісним поверхневим шаром, відсутність відшарування металізованої плівки на поверхні, геометрична точність кристалів, відсутність значних залишкових мікронапружень, низький рівень сколів по краях кристалів, після розділення не повинно бути окисленого шару металізації поверхні, базовий різ необхідно ініціювати в кристалографічному напрямі $\langle 1120 \rangle \pm 5^\circ$ при орієнтації пластини $\{0001\} \pm 0,5^\circ$, поверхневі забруднення повинні бути мінімальними.

Якість поверхні напівпровідникових пластин оцінюється з геометричної та фізичної точок зору [3]. З геометричної точки зору якість визначається нерівностями, виступами і впадинами реальної поверхні, з фізичної – відхиленням властивостей верхніх шарів матеріалу від властивостей вцілому (нормальної структури).

Водо-крижане різання постає дієвим та ефективним засобом розкрою тонких пластин електротехнічного призначення. Порівняно із водоструминним, такий процес є набагато ефективнішим, хоча і менш продуктивним за гідро-абразивне різання.

Ефективність процесу розрізання пластин електронного та електротехнічного призначення вбачається у забезпеченні якісного формоутворення виробів-заготовок мікрочипів шляхом керованої дії формозміненого двофазного потоку, зокрема, засобами і способами формування крайки з використанням елементів спрямлення струменя.

В роботі [4] зазначається, що продуктивність водо-крижаного різання є вищою порівняно із струминним, хоча і меншою за гідро-абразивний спосіб розкрою. Безсумнівною перевагою водо-крижаного різання є відсутність проблем, пов'язаних із забезпеченням абразивом та необхідністю утилізувати використаних абразив і шлам після обробки. У той же час раціональні параметри кригогенеруючої системи, як і режими ведення обробки, встановлені лише наближено, що робить задачу підвищення різальної здатності водо-крижаного струменя актуальною і значимою.

Процес формування крижинок та їх взаємодія зі струменем води надзвичайно складний. Це обумовлюється наступними аспектами: розподіл швидкостей потоку в різних точках поперечного перетину струменя нерівномірний; за довжиною струменя характер розподілу швидкостей у перетині змінюється з виокремленням так званого ядра (рис.1 за [5]); з віддаленням від сопла компактність струменя порушується: вона губить свою початкову циліндричну форму та поступово переходить у потік дрібних крапель; при русі крижинок уздовж калібрувального каналу вони постійно ударяються між собою та об стінку каналу.

Внаслідок цих явищ не всі частки однаково взаємодіють із струменем: одні проникають до ядра потоку і їх швидкості при цьому швидко зростають; інші захоплюються межовим шаром, швидкість якого відносно невелика, і тому швидкість та енергія цих часток теж

будуть малими. Окрім того, ці частки будуть втрачати енергію із-за ударів по стінках калібруючого каналу. Третя група часток буде захоплена ядром або межовим шаром, однак не вмиє, а тільки після багатократних ударів зі стінкою змішувальної камери. Якщо взяти до уваги також і постійну взаємодію між частками при їх русі у двофазовому потоці всередині калібруючого каналу, то з урахуванням вищевикладеного стає зрозумілим, що побудова точної математичної моделі формування водо-крижаного струменя і визначення швидкості та енергії кожної частки у потоці є практично нерозв'язаною задачею.

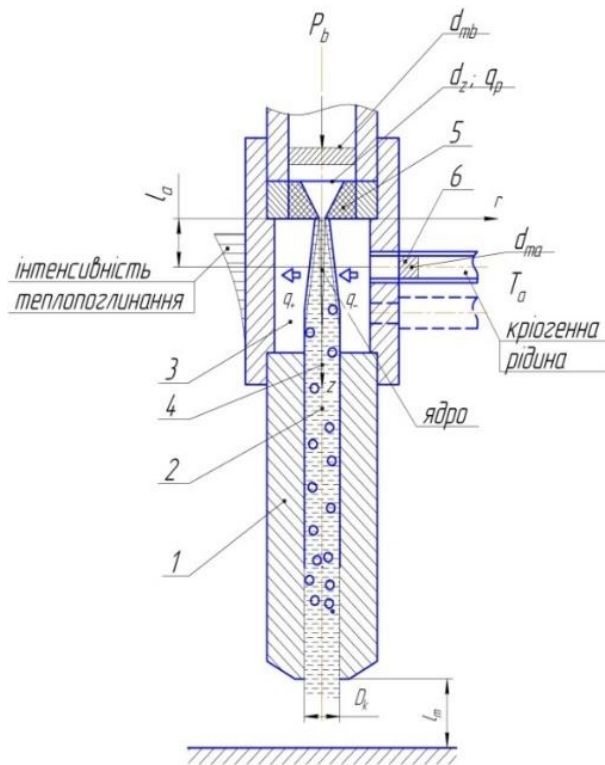


Рис. 1 – Схема утворення різального водо-крижаного струменя

Механізм утворення водо-крижаного струменя наступний: робоча рідина високого тиску з надзвуковою швидкістю витікає з сопла 5. Проходячи через змішувальну камеру 3, струмінь рідини 4 створює розрідження і охолоджується рідким азотом, що надходить до камери через штуцер 6. Виконавши охолодження, азот активно випаровується, внаслідок чого в камері зростає тиск. За час прямування до каналу 2 калібруючої трубки 1 частинки води перетворюються на кригу, і до каналу потрапляють вже мікрокрижинки, які розганяються водяним потоком і формують різальний струмінь.

Зазвичай якість обробки забезпечують моніторингом процесу гідрорізання, звертаючи увагу на такі чинники: контроль товщини заготовки (засоби використовуються при різанні складноформових заготовок і підтримують оптимальну відстань до поверхні натікання); контроль системи високого

тиску (ці засоби забезпечують надійне функціонування джерела живлення високого тиску, а також підтримує сталість тиску); контроль системи приводів (зазвичай використовується в системах з кількістю керованих координат понад 3); формування струменя [6], [7]; контроль струминної ерозії (принципи контролю подані в [8], [9]; контроль системи генерації криги. Як і в інших струминних методах, параметри якості водо-крижаного різання безпосередньо визначаються енергетикою двофазного струменя, його спроможністю руйнувати тверде тіло. Основне рівняння для оцінки роботи руйнування:

$$E_{\text{п}} + E_{\text{т}} \rightarrow A, \quad (1)$$

де $A \in \{ h; a; v; b; d_w \}$ – робота руйнування; h – глибина різку; v – швидкість контурної подачі; a – кут стінки різку; b – ширина різку; d_w – дефектна зона різку; $E_{\text{п}}$ – потенціальна енергія струменя; $E_{\text{т}}$ – енергія теплообміну.

Рівняння руйнування з урахуванням втрат енергії:

$$(E_{\text{п}} + E_{\text{т}} - e_v) k = A, \quad (2)$$

де $k = f(b_b; H_b; B, H)$ – коефіцієнт використання енергії; b_b – межа міцності; H_b – твердість матеріалу; B, H – геометричні параметри зони різання; e_v – опір оброблюваного середовища.

Рівняння (2) через параметр k може бути покладено в основу автоматичної системи моніторингу процесу, з метою забезпечення потрібної якості крайки та мікрогеометричних параметрів поверхні.

Список посилань

1. Технология СБИС. В 2 кн. Пер. с англ. /Под ред.С. Зи. - М.: Мир, 2006. -786 с.
2. Технология полупроводниковых приборов и изделий микроэлектроники. Книга 4. Механическая и химическая обработка./ С. Н.Никифорова-Денисова. М.: «Высшая школа», 2000. -96с.
3. Кондратенко В.С., Гиндин П.Д., Борисовский В.Е., Колесник В.Д., Сорокин А.В. Высокие технологии в производстве приборов микро – и оптоэлектроники // Интеграл. №6(208). 2008. С.8-9.
4. Kiyohashi H., Handa K. A. Study of Production of Ice Particles by the Heat of Vaporization of Cryogenic Liquefied Fuels and Their Applications in Ice Jets. In: Proceedings of the International Symposium on New Applications of Waterjet Technology. 1999. P. 51-60.
5. Бурнашов М.А., Прежбилов А.Н., Василенко Ю.В. Моделирование процесса разрушения покрытия водолеяной струей при очистке деталей машин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». 2017. Т. 17, № 2. С. 67–73.
6. Саленко О. Ф., Струтинський В. Б., Загірняк М. Ефективне гідрорізання. Кременчук : КДПУ, 2005. 488 с.
7. Саленко О.Ф., Доценко В.Г. та ін. Поширення принципів опису компонувальних структур на гідрорізне обладнання // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету ім. М.Остроградського, вип.1 (48), ч. 1. с. 55-68.
8. Tutluoglu, L., Hood, M., & Barton, C. C. (1983). An Investigation of the Mechanics of Water Jet Assistance on the Rock Cutting Process. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts, 743-749. <https://corescholar.libraries.wright.edu/ees/72>.
9. Фомовська О.В., Саленко О.Ф. Поліпшення якості виробів, отриманих на гідрорізних машинах //IX Міжнародна науково-технічна конференція АСПГП: Кременчук, 2008, КДПУ.

УДК 621.941.2.014

Чернишов О.В., старш. викладач
Музичка Д.Г., канд. техн. наук, доцент
Устименко К.А., магістр
Музичка В.А., аспірант
Коваленко К.О., аспірант
Дніпровський державний технічний університет, avch2006@ukr.net
Дербаба В.А., канд. техн. наук, доцент

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», 5762634@gmail.com

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДРОБЛЕННЯ МЕТАЛЕВОЇ СТРУЖКИ

Одним з важливих резервів економії металу є використання відходів металообробки у якості сировини для порошкової металургії. При застосуванні відповідної технології переробки стружки, що утворюється після механічної обробки металів, можна повернути на виробництво велику кількість цінного матеріалу. Одним з етапів технології переробки металевої стружки є її подрібнення на дробарках, що відрізняються за конструкцією та призначенням.

В ДДТУ для дроблення металевої стружки розроблена експериментальна конструкція ножової стружкодробарки, особливістю конструкції якої є профілювання різальної частини рухомих ножів шляхом розміщення вершин зубців на Архимедовій спіралі, забезпечення постійного кута загострення усіх зубців та їхньої висоти. Такий профіль зубців рухомих ножів, а також повертання ножів на валу на відповідний кут відносно один одного дозволяє забезпечувати рівномірне контактування зубців з нерухомими ножами, тобто рівномірний за часом процес подрібнення стружки. Це, у свою чергу, дає можливість позбавитися перевантаження й великих крутних моментів, що значно впливають на потужність привода. Тому розроблена ножова стружкодробарка має відносно невелику потужність привода.

На потужність приводу, що залежить від величини крутного моменту $M_{кр}$, впливають багато факторів, серед яких: зазор між рухомими та нерухомими ножами, частота обертання ножів, матеріал стружки, маса порції, що переробляється та ін.

Для визначення впливу частоти обертання ножів дробарки n на величину крутного моменту $M_{кр}$ проведено ряд експериментів, у ході яких подрібнювалася стружка з вуглецевих сталей, легованих та високолегованих сталей та з титанових сплавів. Частота обертання ножів змінювалася у межах від 6 до 51 хв.⁻¹.

Після узагальнення експериментальних даних і проведення математичної обробки, отримані статистичні залежності апроксимувалися різними функціями. Оцінюючи відносну похибку апроксимації, з отриманих функцій вибирали оптимальну (табл. 1).

Таблиця 1 – Вид апроксимуючих функцій параметру $M_{кр} = f(n)$

Подрібнюваний матеріал	Вид функції $M_{кр} = f(n)$, кНм	Похибка апроксимації R^2
Вуглецеві сталі	$-4 \cdot 10^{-5} n^3 + 0,007 n^2 - 0,2766 n + 5,1254$	0,99
Леговані сталі	$-1 \cdot 10^{-4} n^3 + 0,0133 n^2 - 0,4173 n + 6,7657$	0,9962
Високолеговані сталі	$-7 \cdot 10^{-5} n^3 + 0,0111 n^2 - 0,3713 n + 7,0715$	0,9993
Титанові сплави	$-1 \cdot 10^{-4} n^3 + 0,0143 n^2 - 0,448 n + 8,6971$	0,9967

Аналіз графіків, побудованих за отриманими залежностями (рис. 1), показав, що крутний момент, як функція від частоти обертання, має чітко виражений мінімум для будь-якого подрібнюваного матеріалу. Для усіх подрібнюваних матеріалів найменші значення $M_{кр}$, кНм, знаходяться у діапазоні частоти обертання ножів від 18 до 24 хв.⁻¹. При зменшенні частоти обертів з 18 до 6 хв.⁻¹ та при їх збільшенні від 24 хв.⁻¹ та вище спостерігається зростання крутного моменту.

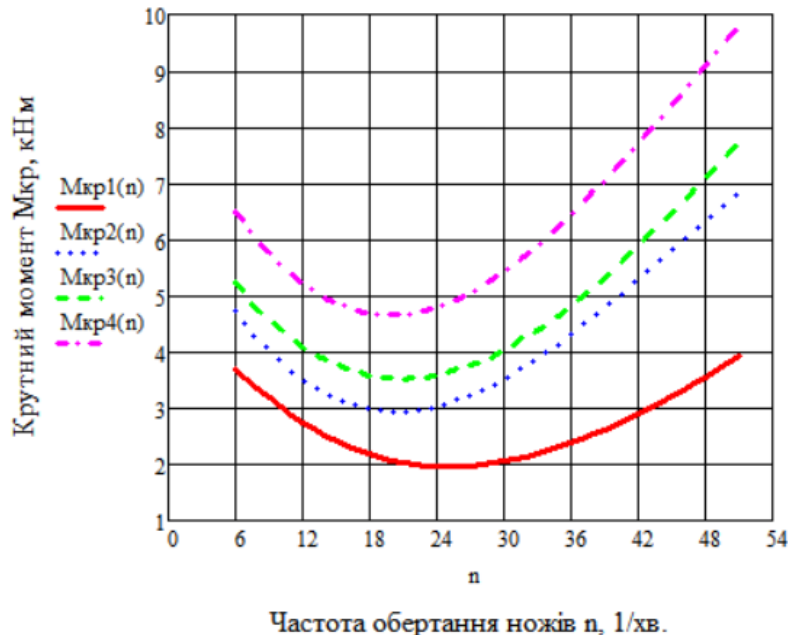


Рис. 1 – Залежність крутного моменту на валу стружкодробарки від частоти обертання для подрібнюваної стружки: $M_{кр1}(n)$ — вуглецевих сталей; $M_{кр2}(n)$ — легованих сталей; $M_{кр3}(n)$ — високолегованих сталей; $M_{кр4}(n)$ — титанових сплавів

Тому для стружкодробарок даної конструкції оптимальною частотою обертання ножів є 18...25 хв⁻¹. Така частота обертів визначає ефективний процес подрібнення стружки будь-яких марок сталі при мінімальних крутних моментах, тобто з мінімальною потужністю привода.

Отримані результати досліджень можуть застосовані на машинобудівних заводах при експлуатації обладнання з переробки і дроблення металевої стружки, а також при розробці нових або удосконаленні існуючих конструкцій машин для подрібнення стружки.

УДК 621.30

Колочко О.М., головний інженер

Товариство з обмеженою відповідальністю «ДАК», 4459114@gmail.com

Сює Сяньдін, аспірант

Саленко О.Ф., докт. техн. наук, професор

Гаврушкевич А.Ю., к.т.н., доцент

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», salenko2006@ukr.net

Габузян Г.В., викладач-методист

Відокремлений структурний підрозділ «Фаховий коледж Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського», galina.gabuzyan@gmail.com

АДАПТИВНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ СТРУМИННО-АБРАЗИВНОГО РІЗАННЯ РІЗНОТОВЩИННИХ ЗАГОТОВОК

При гідро-абразивному розкроюванні [1] на верстатах з метою отримання максимальної продуктивності використовуються різні підходи. Переважно це робота із підвищеним (понад 300 МПа) рівнем тиску. Однак для тонколистових заготовок це веде до енергетичних перевитрат. Найбільш складна ситуація для заготовок, що мають різну товщину, коли спроможність струменя обтікати перешкоди та змінювати напрям стікання (і, відповідно, якість крайки і точність відтворення контуру) веде до значного підвищення ймовірності виникнення браку. Саме тому задача адаптивної системи керування процесом постає нагальною та актуальною.

Запропонована система стабілізації процесу гідрорізання побудована на принципі підтримки заданої швидкості у функції товщини оброблюваної заготовки за умови, що зростання товщини листа вимагає зменшення швидкості контурної подачі [3]. Така система включає засоби контролю товщини листа, пристрою порівняння, пристрою завдання номінальної швидкості залежно від опору руйнування заготовки, пропорціонального або пропорційно-інтегрального регулятора, електронного аналогового елемента з керованою постійною часу, обмежуючого пристрою. Вихід останнього елемента є керуючим сигналом для приводу поздовжньої подачі. Гідро-абразивне різання постає високоефективним [4,5], достатньо надійним та продуктивним способом розкроювання листових заготовок з різних матеріалів, який нині активно використовується при профільному формоутворенні плоских виробів. Забезпечуючи достатньо високу якість сформованої крайки, спосіб додатково потребує вивчення особливості різання товстих (понад 10 мм) листів, особливо у випадку, коли опір руйнування таких матеріалів є достатньо високим.

З точки зору теорії автоматичного управління, привод подачі за параметром швидкості представляє собою типовий інерційний елемент, а процес швидкості подачі може бути представлено більш складною структурою, яка містить, крім іншого, елемент чистої затримки сигналу у часі. Послідовне поєднання розглянутих елементів робить систему нестійкою та призводить до виникнення автоколивань швидкості подачі (рис.1).

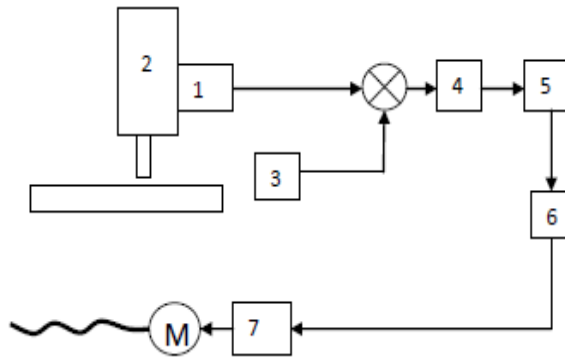
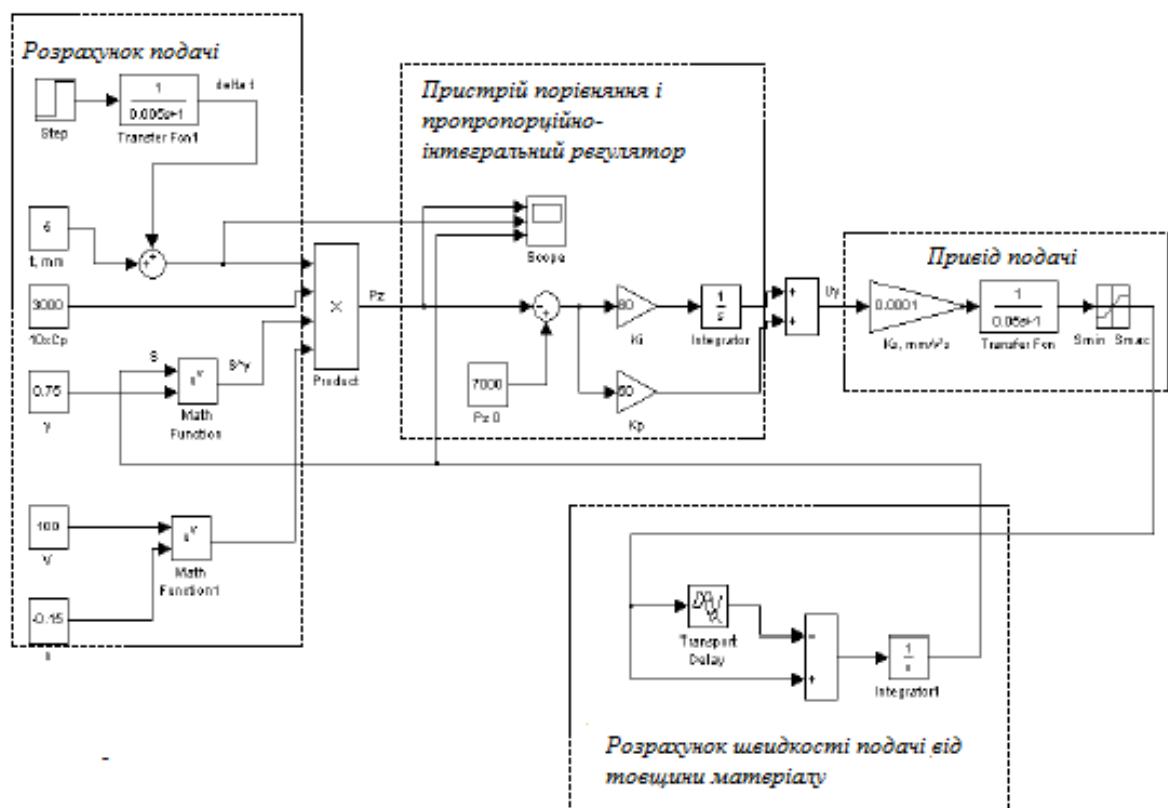
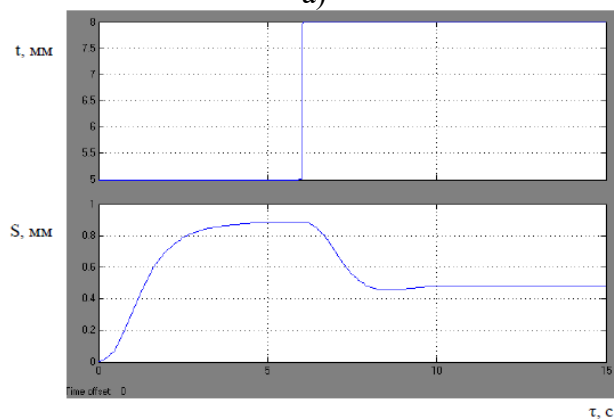


Рис. 1 – Структурна схема системи оптимального керування швидкістю подачі з урахуванням товщини оброблюваної заготовки: 1- засіб контролю товщини листа; 2 – засіб порівняння; 3 – засіб ідентифікації та початкового введення даних; 4 – регулятор; 5 – аналоговий перетворювач; 6 - обмежувач; 7 – драйвер приводу



а)



б)

Рис. 2 – Динамічна модель системи (а) та змодельований перехідний процес її реакції (б)

На рис. 2,б наведені графіки перехідного процесу, які описують реакцію системи на зміну контрольованого параметру (товщини заготовки). При цьому для забезпечення максимальної продуктивності алгоритм керування наступний. Врізання виконується перпендикулярно до площини контуру та з деякою мінімальною швидкістю подачі V_{min} , яка встановлюється на основі виконання тестового різу так, щоб рівень тиску був достатній для отримання якісного різу для даної товщин заготовки (контролюються параметри шорсткості, хвилястості, деструкції – для композиційних матеріалів). Під час обходу контуру встановлюються макрогеометричні параметри торцевої поверхні та обчислюється необхідна швидкість подачі за наступною формулою:

$$V = V_{min} \cdot ([P]/P)^{1/y},$$

де $[P]$ – максимально доступний до регулювання тиск різання, обмежений джерелом живлення (гідросистемою); P - тиск, при якому якість обробки задовольняє вимогам; y - показник ступеня, який характеризує вплив подачі на тиск для даних умов обробки.

При цьому швидкість подачі на наступному кроці контролю коригують за рівнянням

$$V_{i+1} = V_i \cdot ([P]/P)^{1/y},$$

де V_i - швидкість подачі на поточному одиничному різі за умови забезпечення якості обробки для даної товщини h_i заготовки.

На відміну від системи [6], запропонована система стабілізації не охоплює усіх контурів керування і потребує початкової ініціалізації (тобто визначення для матеріалу товщиною h_1 значень потрібної подачі V) при заданому рівні тиску P , однак зміна товщини до h_i за умови знаходження тиску на рівні, чим $[P]$ дозволяє за рахунок зменшення величини подачі усунути погіршення якості різу. Зокрема, за рахунок більшого відхилення струменя рідини, що стікає. Зазвичай така ситуація погіршує як шорсткість поверхні, так і глибину її деструкції (для випадку, коли мова йде про оброблення композиційних матеріалів, оскільки функціональна обумовленість $Ra=f(V_i, P, \dots)$ залишається сталою для достатньо широкого діапазону товщин матеріалів). Тож замість контролю кута стікання струменя за [6] пропонується у якості опорного використовувати сигнал виміру товщини заготовки, що конструктивно є більш доцільним і простим рішенням.

Список посилань

1. Tolga Mert. Water jet cutting technology and its comparison with other cutting methods in some aspects. Academic Journal of Science. 2012.
2. Aydin, G., Karakurt, I. & Aydin, K. An investigation on surface roughness of granite machined by abrasive waterjet. Bull Mater Sci 34, 985 (2011). <https://doi.org/10.1007/s12034-011-0226-x>.
3. Akkurt A. Effect of cutting speed on surface roughness in AWJ cutting applications of commercial pure aluminium and Al-6061 aluminium alloy. Journal of Polytechnic. 2005. Vol. 8, no. 1. P. 69–79. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2004.01.013>.
4. Salenko A., Docenko V., Mana A. Some aspects of composite materials hydro jetting from the point of view of linear mechanics destruction // Journal of the Technical University of Gabrovo, №36, 2008. – p.45-55.
5. Саленко, О. (2001). Наукові основи високоефективного гідро різання : дис. ... д-ра техн. наук . Київ, 2001. 240 с.
6. Саленко О.Ф., Приходько В.І. Адаптивна система для регулювання процесу гідрорізання // Резание и инструмент в технологических системах, № 60. – Харьков: НТУ “ХПИ”, 2001. – С. 205-212.

УДК 621.375.826:621

Гаряжа А.О., студент
Блощин М.С., канд. техн. наук, доцент
Головко Л.Ф., докт. техн. наук, професор
Романенко В.В., канд. техн. наук, доцент
КПІ імені Ігоря Сікорського hariazha.a@gmail.com

ЗАСТОСУВАННЯ ЛАЗЕРНИХ СИСТЕМ В КАРДІОЛОГІЇ

Лазерні технології швидко розвиваються і знаходять все ширше застосування в медицині. В кардіології, зокрема, лазери використовуються для діагностики та лікування серцево-судинних захворювань, що значно підвищує ефективність медичних втручань та покращує якість життя пацієнтів. У цій доповіді ми розглянемо основні напрямки використання лазерних систем у кардіології, зокрема лазерну ангіопластику, фотодинамічну терапію та новітні технології візуалізації.

Сучасна кардіологія стикається з постійною потребою в підвищенні ефективності та точності лікувальних процедур. Зростаюча поширеність серцево-судинних захворювань вимагає нових підходів до лікування, і лазерні технології надають інноваційні рішення для цих завдань. Використання лазерів дозволяє мінімізувати інвазивність процедур, скоротити час відновлення пацієнтів та знизити ризики ускладнень. Це підтверджується численними дослідженнями та клінічними випробуваннями [1-3].

Лазерна ангіопластика є одним з найперспективніших методів лікування коронарної хвороби серця. Ця процедура полягає у використанні лазерного променя для розширення звужених артерій та покращення кровотоку до серця. Лазерна ангіопластика має кілька переваг над традиційними методами, включаючи високу точність, мінімальну травматизацію тканин та швидке відновлення пацієнтів [1].

Фотодинамічна терапія (ФДТ) використовує лазерне випромінювання для активації фотосенсибілізуючих агентів, які накопичуються в патологічних тканинах. Цей метод дозволяє вибірково знищувати хворі клітини без пошкодження здорових тканин. В кардіології ФДТ знаходить застосування при лікуванні ішемічної хвороби серця, атеросклерозу та інших серцево-судинних захворювань [2-3].

Внутрішньосудинне лазерне опромінення крові (ВЛОК) є одним з ефективних методів лазеротерапії, що використовується для покращення мікроциркуляції, зменшення запалення та знеболення. Цей метод передбачає введення лазерного світловода в судинне русло, що дозволяє впливати безпосередньо на кров'яні клітини. ВЛОК сприяє нормалізації обміну речовин, зміцненню імунної системи та покращенню загального стану пацієнта. Завдяки своїй ефективності та мінімальній інвазивності, цей метод знайшов широке застосування в різних галузях медицини, включаючи кардіологію.

Застосування лазерних систем в кардіології відкриває нові горизонти для діагностики та лікування серцево-судинних захворювань. Висока точність, мінімальна інвазивність та швидке відновлення пацієнтів роблять лазерні технології невід'ємною частиною сучасної медицини. Подальший розвиток цих технологій буде сприяти підвищенню якості медичних послуг та покращенню здоров'я населення.

Список посилань

1. Lawrence I. Coronary laser angioplasty / Lawrence I. Deckelbaum MD 1994, 350p
Проблеми клінічної педіатрії /ДВНЗ «Ужгородський Національний Університет» 2022 р. 280с
Остафійчук Д.І. Фотодинамічна терапія / Остафійчук Д.І, Бірюкова Т.В. 2023 р., 420с

УДК 621.375.826:621

Голишев Є. О., студент
Блощин М.С., канд. техн. наук, доцент
Головко Л.Ф., докт. техн. наук, професор
Романенко В.В., канд. техн. наук, доцент
КПІ імені Ігоря Сікорського, mononoinua@gmail.com

ЗАСТОСУВАННЯ ЛАЗЕРНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ ВЕЛОСИПЕДНИХ КАСЕТ

У сучасному промисловому виробництві, особливо в галузі виробів спортивного призначення, постійно зростає значення ефективних методів обробки поверхонь для забезпечення високої якості, міцності та стійкості виробів. Одним із перспективних напрямків є застосування лазерного випромінювання для обробки робочих поверхонь важконавантажених елементів велосипедів з високою точністю та контролем стану.

Кожен сучасний велоспортсмен прагне до зменшення ваги свого велосипеда й підвищення ресурсу елементів велосипеда та зацікавлений у технологічності його складових. В умовах спортивних змагань складові частини велосипеда піддаються значним навантаженням, як з боку велосипедиста, так і навколишніх умов: дощ, бруд, пісок та ін. Особливо важливим є збереження експлуатаційних характеристик як ведучої зірки, так і касети. Сьогодні на ринку спортивних велосипедних зірок представлені моделі виготовлені зі сталі, алюмінію, титану та композитних матеріалів.

Спеціально розрахований профіль зубів зірочки, а також виймки, піни і нарости металу в певних точках забезпечують легке перемикавання передач: ланцюг затягується або скидається швидко і без зусилля. У різних виробників такі технології називаються по-різному: Shimano — Hyperglide; SRAM — Powerglide, X-Glide, Openglide.

Для одинарних систем гірського велосипеда (розрахованих на використання з 11-швидкісної касети) набув поширення профіль зубів Narrow-Wide. У таких зірочок кожен другий зуб приблизно в 2 рази товще, ніж зазвичай, і поміщається тільки між зовнішніми пластинами ланцюга. Такий профіль зубів покращує стабільність ланцюга на зірці, і дозволяє обійтися без «заспокоювача» (ланцюг не злітає).

Існує три типи кріплення зірки до шатуну:

1. Заклепкою. Використовується у найдешевших системах. Являється одноразовою
2. Спеціальними болтами - Бонками, яких може бути від 3 до 5 (зазвичай - 4). Параметр BCD (англ. Bolt circle diameter) визначає діаметр кола, на якому лежать отвори для кріплення.
3. Безпосередньо до шатуну на шлицевом з'єднанні. Застосовується в деяких системах високого рівня SRAM і RaceFace.

Таким чином вибір зірки з певною кількістю зубців буде впливати на режим навантаження на ноги велосипедиста та на систему в цілому. Чим більша зірка, тим довше вона буде мати ресурс своєї роботи. Зараз існує декілька способів виготовлення велосипедних зірок. На технічний процес виготовлення будуть впливати матеріали, з яких має бути виготовлена майбутня зірка шатунів та її майбутній сегмент використання.

Зірки з анодованого алюмінієвого сплаву використовуються в системах вище середнього цінового сегменту. Їх зносостійкість може бути на рівні сталі середнього рівня, але і вага виявляється значно меншою.

Весь спортивний сегмент алюмінієвих зірок, має складну конструкцію і спеціальні елементи, що допомагають ланцюгу легко і швидко, буквально в пів обороту, перемикатися з однієї зірки на іншу. Перемикатись наверх допомагають спеціальні «зачіпки» та «штирі», скидатися вниз – «скоси» і «спідниці».

Титановий сплав - використовується в особливо дорогих касетах і системах. За параметром ваги знаходиться між сталлю і алюмінієм, по зносостійкості конкурує зі сталлю. Переваги титану є продовженням його недоліків. Це менша питома вага (у порівнянні зі сталлю), велика міцність (в порівнянні з алюмінієм), інертність в середовищі різних агресивних дорожніх реагентів, важко піддається обробці і, відповідно, має більший ресурс в порівнянні з алюмінієм і навіть зі сталлю. Заодно до титану не так липне бруд, який працює як абразив і швидко вбиває ланцюга, системи і касети.

Композитний матеріал - зуби зірки виготовляються зі сталі або титану і обрамляються в оправлення з міцного пластику або карбону. Дозволяє поєднувати зносостійкість сталі / титану з малою вагою. Використовується в середніх зірках систем Shimano, починаючи з недорогих SLX. Також серед приватних виробників велозірок можна зустріти зірки повністю виготовлені з вуглепластикового препрегу.

Застосування композитних матеріалів для корпусів та робочих керамічних поверхонь дозволяє значно зменшити вагу елементів професійних велосипедів, що у поєднанні з професійною підготовкою велосипедистів дає найкращий результат на змаганнях.

Я пропоную методику створення нової композитної зірки, робоча частина якої виконана з кераміки, що дуже добре працює в умовах тертя, або з зносостійкого матеріалу. Кожен елемент оброблений лазерним випромінюванням відповідно до виконуваної задачі.

Завдання створення методики міцного зчеплення композитних елементів велосипедних зірок з достатньою якістю та експлуатаційними характеристиками іншими методами є актуальним завданням.

Список посилань

Г

о

н 2 Савицький В.М. Дослідження впливу режимів лазерного наплавлення на структуру та властивості покриттів з титанових порошків / В.М. Савицький, А.А. Авер'янов, О.О. Кашчєєв / Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут", серія "Машинобудування та матеріалознавство", №3, 2019р., с. 61-66

е 3 Єременко А.В. Лазерне наплавлення як метод модифікації поверхонь інструментів / А.В. Єременко, С.В. Пономарьов, О.М. Бондаренко / Науковий вісник Національного технічного університету "Київський політехнічний інститут", серія "Машинобудування", №3, 2018р., с. 112-116

О.М.Кашчєєв, В.О.Павленко, А.А.Авер'янов, В.М.Савицький, О.О.Кашчєєв, О.М.Бондаренко, В.О.Чованець, О.В.Сидоренко, З.В.Панасюк, О.В.Вітриць / Національна академія наук України, Методичні матеріали до курсу "Лазерна технологія", №2, 2020р., с. 112-116

5 Ходаківський, І.В. Застосування технології відновлення деталей машин лазерним наплавленням порошковими сумішами / Ходаківський, І.В. / Видавець: Поліський національний університет 2022р., 200с

6 Hart-Smith L.J. (2011) Adhesively Bonded Joints in Aircraft Structures. In: da Silva L.F.M., Öchsner A., Adams R.D. (eds) Handbook of Adhesion Technology. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-01169-6_44

7 K. M. Tanvir Ahmmed, Colin Grambow and Anne-Marie Kietzig Fabrication of Micro/Nano Structures on Metals by Femtosecond Laser Micromachining; Micromachines 2014, 5, 1219-1253; doi: <https://doi.org/10.3390/mi5041219>

8 P. Shukla, D.G. Waugh, J. Lawrence, R. Vilar. Laser surface structuring of ceramics, metals and polymers for biomedical applications: a review, December 2016, DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100883-6.00010-1>

УДК 621.375.826:621

Крисан С.О., студентка
Блощин М.С., канд. техн. наук, доцент
Головко Л.Ф., докт. техн. наук, професор
Романенко В.В., канд. техн. наук, доцент
КПІ імені Ігоря Сікорського krisan2003@gmail.com

РОЗРОБКА МОБІЛЬНОЇ ФОКУСУЮЧОЇ СИСТЕМИ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ДЛЯ ЛІКУВАННЯ РАН

Наразі у світі дуже широко використовується лазерне випромінювання в різних галузях. Особливим напрямком є використання лазерного випромінювання в медичній сфері, зокрема у дерматології з профілактичною та лікувальною метою.

Вплив лазерного випромінювання на шкіру та її складові починається з поглинання, а далі, в залежності від параметрів лазерних систем, що використовуються можливі різні ефекти взаємодії лазерного випромінювання з складовими шкіряного покриву й м'язових тканин. В медицині залежно від параметрів випромінювання лазерних систем розрізняють низькоенергетичні (терапевтичні) та високоенергетичні (хірургічні). Терапевтичні лазери дозволяють посилити обмінні процеси, при цьому стимулюється регенерація у тканинах, покращується мікроциркуляція і гемодинаміка, підвищується рівень споживання кисню тканинами. При обробці лазерним випромінюванням ран різних типів, із запаленнями та без, стимулюються процеси у нервовій і м'язовій тканинах, відбувається активізація клітинного та гуморального імунітету.

Сучасний стан терапії та лікування травм, ран досить широко розкрито у працях [1-3]. Головними збудниками ранової інфекції [2] є умовно-патогенні аероби та анаероби (стафілакок, стрептокок, кишкова паличка, протей, клебсієла, синьогнійна паличка, клостридії, бактероїди, фузобактерії) які можуть досить легко знищуватись за рахунок використання контрольованого лазерного впливу на заражені поверхні, бо лікування гнійних ранових ускладнень зводиться до очищення ран від некрозу.

Пропонується мобільна комбінована лазерна система з автоматизованою системою керування положенням фокальної плями по відношенню до поверхні оброблюваної рани з моніторингом відповідного положення. Автоматизована лазерна система виконується у двох варіантах: мобільна малоінтенсивна та високоінтенсивна. Система застосовується для лікування ран різного типу. Лазерна система може змінювати не лише енергетичні та геометричні параметри променя, а й довжину хвилі, тим самим оптимізуючи вплив лазерного випромінювання на елементи рани.

Запропонована мобільна фокусуєча система дозволяє використовувати комбіновану лазерну систему у польових умовах при лікуванні різних ран, особливо на шкірі, діабетичних виразок і некротичних ран з керованими енергетичними параметрами, що дозволяє зменшити час заживлення ран, та відновлення працездатності постраждалої людини.

Список посилань

- 1.Іванова Ю.В. Досягнення в лікуванні бойової травми кінцівок: фотодинамічна терапія і методи пластичного закриття ран / Український журнал клінічної хірургії. 2023 Липень/Серпень; 90(4):25-30. DOI:10.26779.2786-832X.2023.4.25
- 2.Цокота М.В. Фоторегенерація хронічних ран із випромінюванням низької інтенсивності / Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки, Том 30 (69) Ч.1 №3 2019. С. 56-60
- 3.Михайлуков Р.Н. Возможности использования высокоэнергетического лазерного излучения при лечении ран. Экспериментальная і клінічна медицина 2015. №2 С. 124-128

УДК 621.375.826:621

Садик О.А., студент
Головко Л.Ф., докт. техн. наук, професор
Блощин М.С., канд. техн. наук, доцент
Романенко В.В., канд. техн. наук, доцент
Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,
alisadyk@gmail.com
Романенко М.В.
ТОВ «ТРІЦ Республіка», Київ, romanenkomax.ua@gmail.com

ВИГОТОВЛЕННЯ БІМЕТАЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ КОНЦЕНТРОВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

В наш час важливе значення має отримання нових металів з особливими властивостями. До їх числа з цілковитою впевненістю можна віднести біметали - матеріали, що складаються з двох чи більше металів або сплавів. Біметалічний прокат дозволяє отримати таке поєднання властивостей, які неможливо отримати в окремо взятому металі або сплаві: високу міцність з корозійною стійкістю, ударну в'язкість із зносостійкістю, міцність з високою тепло- та електропровідністю та інші. Застосування біметалів дозволяє суттєво підвищити ефективність виробництва широкого класу деталей та обладнання для підприємств хімічної, нафтової, сільськогосподарської, енергетичної, транспортної та інших галузей машинобудівної промисловості.

Розв'язок теплової задачі числовими методами дозволив встановити вплив густини потужності і швидкості руху лазерного променя на глибину і довжину ванни розплаву, що дає можливість отримання перехідної литої зони в біметалі за час дії лазерного випромінювання на відповідних режимах обробки.

Результатом цих досліджень став комбінований процес лазерно-ливарного наплавлення з застосуванням допоміжного індукційного джерела, при цьому функції, послідовність та час дії джерел енергії чітко розмежовані. Лазерний промінь розплавляє необхідно-заданий об'єм на поверхні матеріалу основи, попередньо підігрітий індукційним способом матеріал для наплавлення до температури плавлення подається у розплавлену лазерним променем зону, створюючи спільну ванну розплаву, тим самим гарантуючи металургійний зв'язок між двома матеріалами. Застосування додаткового притискання валками у процесі контакту матеріалів та наступного контрольованого охолодження з підігріванням концентрованими джерелами енергії дозволяє створювати біметалеві поверхні різного розміру й з різних матеріалів.

Розроблено комбіновану систему з використанням різних концентрованих джерел енергії для отримання біметалів з метою забезпечення достатньо високого рівня міцності зчеплення пластин біметалу, щоб унеможливити відокремлення робочої пластини в процесі подальшого використання біметалевих виробів. Розроблена комбінована система реалізує послідовний процес лазерно-ливарного наплавлення, де функції, послідовність час впливу джерел енергії розмежовані як у просторі так і у часі.

Можливість автоматичної зміни параметрів лазерного променя адаптивною фокусуючою системою під час роботи дає змогу контролювати розміри та геометрію створеної перехідної зони дозволяє зменшити витрати на обладнання при реалізації широкого діапазону товщин та геометрії біметалевих шарів з гарантованим металургійним зв'язком.

Застосування розробленої комбінованої системи реалізовується технологічно і забезпечує надійне з'єднання між шарами матеріалів, дозволяє рекомендувати розроблену систему для подальшого доопрацювання і впровадження у серійне виробництво.

УДК 621.375.826:621

Мельниченко І. Т., студент
Головко Л.Ф., докт. техн. наук, професор
Блощин М.С., канд. техн. наук, доцент
Романенко В.В., канд. техн. наук, доцент
КПІ імені Ігоря Сікорського, melnichenko000334@dmil.com

ЛАЗЕРНЕ НАПЛАВЛЕННЯ ПОКРИТТІВ НА ДЕТАЛІ ВИРОБІВ ПОДВІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯМ РІДИННО-В'ЯЗКИХ СУМІШЕЙ ПОРОШКОВИХ МАТЕРІАЛІВ

У сучасному промисловому виробництві, особливо в галузі виробів подвійного призначення, постійно зростає значення ефективних методів обробки поверхонь для забезпечення високої якості, міцності та стійкості виробів. Одним із перспективних напрямків є лазерне наплавлення, яке дозволяє створювати покриття з високою точністю та контролем мікроструктури.

Досліджено вплив лазерного наплавлення на формування покриттів на деталях виробів подвійного призначення, з особливим акцентом на застосуванні рідинно-в'язких сумішей порошкових матеріалів. Представлено аналіз технічних характеристик покриттів, отриманих за допомогою цієї технології, включаючи їхню міцність, стійкість та адгезію до основи. Вивчено вплив оптимізації технологічних параметрів процесу лазерного наплавлення на якість та стабільність формування покриттів.

Розглянуто можливості використання отриманих покриттів на деталях виробів подвійного призначення, зокрема в оборонній та промисловій галузях. Проведено аналіз технічних характеристик різних типів рідинно-в'язких сумішей порошкових матеріалів для лазерного наплавлення, що дає можливість вибору оптимального складу для конкретних завдань.

Отримані результати важливі для подальшого розвитку технологій в області лазерного наплавлення та підвищення якості та ефективності виробництва виробів подвійного призначення.

Актуальність дослідження зумовлена постійними потребами промисловості в підвищенні якості та надійності виробів подвійного призначення, які використовуються у критичних сферах, таких як оборона та аерокосмічна промисловість. Лазерне наплавлення, спрямоване на формування покриттів з використанням рідинно-в'язких сумішей порошкових матеріалів, є перспективним методом забезпечення високої якості поверхневих шарів деталей, що має великий потенціал у покращенні властивостей та подовженні терміну служби виробів подвійного призначення. Крім того, технологія лазерного наплавлення дозволяє значно скоротити час і витрати на виробництво, зменшуючи кількість відходів і підвищуючи ефективність використання матеріалів. Це робить її особливо актуальною в умовах сучасного виробництва, де важливо забезпечити високу продуктивність при мінімальних витратах ресурсів.

У статті [1] автори описують механізм лазерного наплавлення, який полягає в розплавленні поверхні деталі лазерним променем та одночасному подачі порошкового матеріалу, який заповнює дефекти та формує нове покриття.

Переваги методу лазерного наплавлення включають високу точність, локальність впливу, можливість нанесення покриттів з різними властивостями, а також можливість відновлення деталей зі складними геометричними формами.

До недоліків методу відносяться висока вартість обладнання, складність технологічного процесу та можливість виникнення дефектів у покритті.

Автори описують різні технологічні режими лазерного наплавлення, такі як потужність лазера, швидкість подачі порошкового матеріалу, тип газу-захисту та фокусна відстань лазера.

Вплив цих режимів на структуру та властивості покриттів досліджується за допомогою мікроскопії, твердості, мікротвердості, зносостійкості та корозійної стійкості.

Наводяться приклади застосування лазерного наплавлення для відновлення та зміцнення деталей машин з різних матеріалів, таких як сталь, чавун, алюміній та титан.

Публікації 2 автори досліджують вплив режимів лазерного наплавлення на структуру та властивості покриттів з титанових порошоків. Встановлено, що режими наплавлення суттєво впливають на мікротвердість, зносостійкість та корозійну стійкість покриттів.

У дослідженні 3 автори описують метод лазерного наплавлення як метод модифікації поверхонь інструментів. Розглядаються можливості методу для підвищення твердості, зносостійкості та теплостійкості інструментів. Відображають різноманітність досліджень 4 у галузі лазерного наплавлення покриттів на деталях виробів подвійного призначення застосуванням порошкових матеріалів, а також важливість подальшого розвитку цієї технології для підвищення якості та ефективності виробництва.

Удосконалення технології відновлення 5 деталей сільськогосподарських машин лазерним наплавленням. Проведені дослідження були спрямовані на створення ефективної технології лазерного наплавлення відповідальних деталей сільськогосподарської техніки з використанням порошкових сумішей, оскільки при використанні даного способу покращуються експлуатаційні характеристики робочих поверхонь деталей машин.

Список посилань

1 Лазерне наплавлення як метод відновлення та зміцнення деталей машин/ *О.М. Гончаренко, В.О. Чумак, О.В. Сидоренко* Збірник наукових праць Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут", №2, 2020р., с. 112-116

2 Дослідження впливу режимів лазерного наплавлення на структуру та властивості покриттів з титанових порошоків / *В.М. Савицький, А.А. Авер'янов, О.О. Кащев* / Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут", серія "Машинобудування та матеріалознавство", №3, 2019р., с. 61-66

3 Лазерне наплавлення як метод модифікації поверхонь інструментів / *А.В. Єременко, С.В. Пономарьов, О.М. Бондаренко* / Науковий вісник Національного технічного університету "Київський політехнічний інститут", серія "Машинобудування", №3, 2018р., с. 112-116

4 Лазерне наплавлення в машинобудуванні: сучасний стан та перспективи розвитку / *В.О. Коваль, О.М. Гончаренко, В.В. Панасюк* / Вісник Національної академії наук України, №11, 2016р., с. 108-113

5 Застосування технології відновлення деталей машин лазерним наплавленням порошковими сумішами / *Ходаківський, І.В.* / Видавець: Поліський національний університет 2022р.,

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 ТВЕРДОСТІ ПОВЕРХНІ ЗАГАРТОВАНОЇ ПОРОШКОВОЇ СТАЛІ K490MC МЕТОДОМ КАРБОНІТРАЦІЇ

Інструментальна сталь Böhler K490 MicroClean - це високоефективна не теплостійка сталь, вироблена методом порошкової металургії, яка поєднує високу міцність на стиск і пластичність разом із високою стійкістю до абразивного та адгезійного зношування. Однією з переваг використання цієї сталі є можливість її карбонітрації для підвищення поверхневої твердості деталей. Цей пасивний шар забезпечує стійкість сталі до різних типів

корозії, включаючи загальну корозію, точкову корозію, стрес-корозію і міжкристалічну корозію. [1]

Рекомендована температура трьох кратного відпуску для сталі Böhler K490 MicroClean лежить в інтервалі 540-580°C, тому такий інтервал дозволяє широке використання цієї сталі для поверхневого зміцнення методом карбонітрації для підвищення зносостійкості та довговічності інструменту. [2]

Метою роботи є пошук способів і методів підвищення зносостійкості інструменту та деталей зі сталі K490 MicroClean шляхом застосування прогресивних технологій поверхневого зміцнення, а саме карбонітрації в розплаві солей. В ході дослідження було проведено експерименти на зразках зі сталі K490 MicroClean та запропоновано кілька видів комплексної термічної та хіміко-термічної обробки, що включає попередню термічну обробку при температурі від 1030°C до 1080°C та трьох кратний відпуск при температурах від 540°C до 580°C, дифузійне насичення в розплаві солей при 540-600°C. Для забезпечення оптимальних температурних режимів обробки сталі K490 MicroClean необхідно дослідити вплив зміни температури обробки на глибину та твердість зміцненого шару.

В результаті обробки на зразках була отримана поверхнева твердість 950-1050HV5 та ефективна глибина карбонітрованого шару до 0,2мм. Такий комплекс термічної та хіміко-термічної обробки дозволяє досягти на прогресивній сталі K490 MicroClean суттєвого підвищення експлуатаційних характеристик та збільшення ресурсу деталей, виготовлених з цього порошкового сплаву.

З розробкою та впровадженням в виробництво нових сучасних матеріалів постає необхідність розробки сучасних методів поверхневого зміцнення цих матеріалів, тому дослідження різних температурних режимів обробки є дуже актуальним завданням та потребують як найскорішого вирішення.

Список посилань

1. BÖHLER K490 MICROCLEAR. (2017). Alloy Digest, 66(4).
<https://doi.org/10.31399/asm.ad.ts0740>
2. ТОВ «Карбаз»: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://karbaz.com.ua>.

УДК 531.011

Кайдаш М.Д., канд. техн. наук, доцент

Сушицький О.М., студент

Національний університет «Чернігівська політехніка», 0203 kmdcn@gmail.com

ВПЛИВ СИЛИ ТЯЖІННЯ НА УМОВУ РУХУ В ПОСТУПАЛЬНИЙ КІНЕМАТИЧНИЙ ПАРИ

Кінетостатичний розрахунок плоских важільних механізмів в практичних умовах виконується переважно наближеними методами, де тертя не враховується. Разом з тим наявність сил тертя впливає на величину і напрямок діючих в кінематичних парах сил, що в підсумку може призводити до суттєво інших результатів у порівнянні з наближеними методами.

При аналізі дії сил у поступальній кінематичній парі («повзун-напрямна») з урахуванням тертя традиційно розглядається тільки рівнодійна всіх зовнішніх сил $\vec{F}$, що прикладена під певним кутом φ до нормалі з поверхнею контакту [1], [2]. Силою тяжіння повзуна або нехтують, або вважається, що ця сила є складовою рівнодійної сили і не розглядається окремо в явному вигляді. При такому підході стан спокою або руху тіла не залежить від модуля сили $\vec{F}$, а визначається тільки кутом φ . В даній роботі розглянуто метод розрахунку, що дозволяє визначати безпосередній вплив сили тяжіння повзуна на умову поступального руху.

Якщо розділити зовнішні сили, що діють на повзун, на дві окремі $\vec{F}$ і $\vec{G}$, тоді умова руху матиме вигляд:

$$F \sin \varphi \geq f_0 \cdot (G + F \cos \varphi), \quad (1)$$

звідки:

$$\sin \varphi - f_0 \cos \varphi \geq \frac{f_0 \cdot G}{F}. \quad (2)$$

З урахуванням того, що коефіцієнт тертя $f_0 = \tan \varphi_T$, після елементарних перетворень співвідношення (2) отримаємо

$$k \leq \frac{\sin(\varphi - \varphi_T)}{\sin \varphi_T}, \quad (3)$$

або

$$\varphi(k) \geq \varphi_T + \arcsin(k \cdot \sin \varphi_T), \quad (4)$$

де φ_T – кут тертя у фрикційній парі «повзун-напрямна»; $k = G / F$ – критеріальний параметр, що визначає співвідношення між силами G і F .

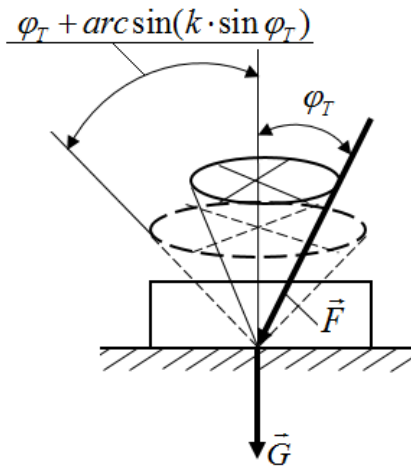


Рис. 1 – Конуси тертя

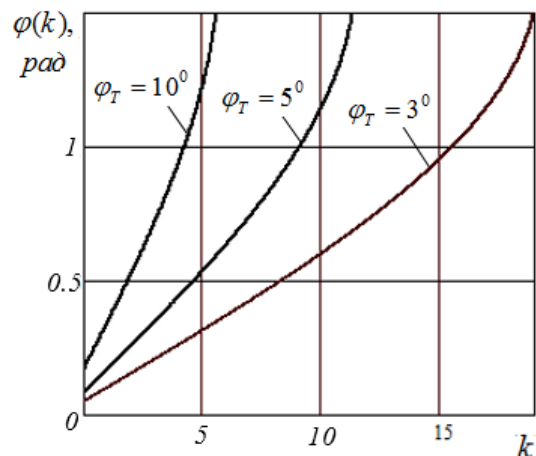


Рис. 2 – Графіки функції $\varphi(k)$

Аналіз умови руху (4) показує, що у разі, коли сила ваги $\vec{G}$ розглядається відокремлено від рівнодійної зовнішніх сил $\vec{F}$, конусом тертя (рис. 1) слід вважати конус з кутом при вершині $2(\varphi_T + \arcsin(k \cdot \sin \varphi_T))$. Окрім того, максимальне значення кута $\varphi(k)$ обмежено значенням 1,57 рад. На рис. 2 показано графічні залежності $\varphi(k)$ для різних значень кута тертя φ_T .

Отримана методика розрахунку полегшує розв'язок різних задач силового дослідження і може бути практично застосована при проектуванні плоских важільних механізмів. Запропонований підхід до аналізу поступального руху з урахуванням сил тертя доцільно використовувати при вивченні студентами курсу «Теоретична механіка».

Список посилань

1. Теория механизмов и машин: Учеб. для вузов / К. В. Фролов, С. А. Попов, А. К. Мусатов и др.; Под ред. К. В. Фролова. – М.: Высш. шк., 1987. – 496 с.
2. Лобас Л.Г., Лобас Людм. Г. Теоретична механіка: Підручник для студентів вищих технічних навчальних закладів / Л.Г. Лобас, Людм.Г. Лобас. – К.: ДЕТУТ, 2008 – 406 с.

УДК 539.319:621.643

Хомяк Ю.М., канд. техн. наук, доцент

Одеський національний морський університет, jomiak38@gmail.com

Ярова І.А., канд. техн. наук, доцент

Жеглова В.М., канд. техн. наук, доцент

Національний університет «Одеська політехніка», yarova@op.edu.ua

ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗПОДІЛУ НАПРУЖЕНЬ В ПЛОСКИХ КРИШКАХ ПОСУДИН ВИСОКОГО ТИСКУ

Аналіз міцності посудин високого тиску свідчить, що їх напружено-деформований стан є суттєво неоднорідним. Максимальні напруження спостерігаються в крайових зонах, де циліндрична форма обичайки істотно змінюється. Якщо крайові елементи – днище і корпус – проектується найпростішими, плоскими, то для забезпечення міцності доводиться призначати їх товщину у рази більшою, ніж у циліндричній частині посудини. В роботі виконуються порівняльні розрахунки плоскої кришки постійної і змінної товщини, за результатами яких визначається допустима товщина і можливість мінімізації маси.

Розрахунок кришки постійної товщини виконується за диференціальним рівнянням вигину круглих пластин (рівняння С. Жермен) у полярній системі координат r, φ :

$$\nabla^2 \nabla^2 w(r, \varphi) = \frac{q(r, \varphi)}{D}, \quad (1)$$

де w – прогин кришки, q – поперечне навантаження (тиск у посудині), ∇^2 – оператор Лапласа, D – циліндрична жорсткість, h_0 – товщина кришки, E та μ – модуль пружності і коефіцієнт Пуассона матеріалу кришки.

Тиск, що діє в посудині, $q(r, \varphi) = q_0 = \text{const}$, навантажує кришку рівномірно (рис. 1, а), однак її деформація не є вісесиметричною, оскільки кріплення кришки до фланця посудини виконується шпильками дискретно, отже прогин w залежить від обох змінних r, φ .

В такому разі розв'язок рівняння (1) для закріплення m шпильками має вигляд

$$w(r, \varphi) = \frac{1}{D} [w_0(r) + w_m(r) \cos m\varphi], \quad (2)$$

$$w_0(r) = A_1 + A_2 r^2 + A_3 \ln r + A_4 r^2 \ln r + \frac{q_0 r^4}{64D}. \quad (3)$$

$$w_m(r) = C_1 r^m + C_2 r^{m+2} + C_3 r^{-m} + C_4 r^{m-2} + w_m^*(r)$$

При великій кількості шпильок маємо $w_m(r) \ll w_0(r)$, тобто поверхня зігнутої кришки буде практично вісесиметричною і величиною $w_m(r)$ можна знехтувати. Функція $w_0(r)$ і її похідні мають бути обмеженими при $r = 0$, і ці умови виконуються, якщо $A_3 = 0$ та $A_4 = 0$. Константи A_1 і A_2 визначаються з умов на зовнішньому краю кришки.

Для функції $w_0(r)$ визначається згинальний момент M_r , який отримує найбільше значення, $M_{\max}$, при $r = 0$ (в центрі кришки). Далі визначаються відповідне напруження $\sigma_{\max}$ і товщина кришки h_0 . Висновок: у плоскої кришки максимальне напруження виникає в центрі і зменшується в радіальному напрямку, тобто її матеріал використовується нерационально.

Для зменшення напружень $\sigma_{\max}$ в центрі кришки пропонується частину її матеріалу перемістити у центральну область, зробивши товщину змінною (рис. 1, б). Такі конструкції для круглих пластин та днищ резервуарів розглянуті в роботах [1 – 3].

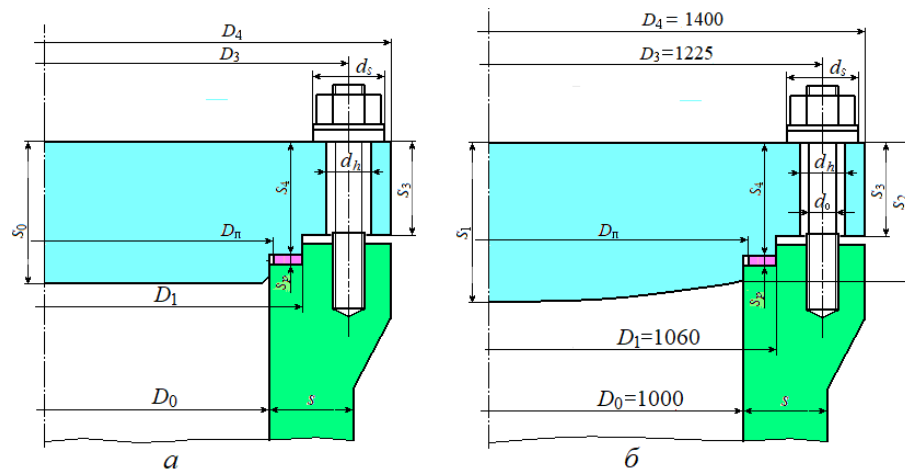


Рис. 1 – Конструкції кришки: а – постійної товщини; б – змінної товщини

Змінна товщина кришки описується експоненціальною залежністю (рис 1, б):

$$h(r) = s_1 \exp\left(-\frac{nr^2}{6R_0^2}\right) = s_1 \exp\left(-\frac{nx^2}{6}\right) \quad (4)$$

де $s_1 > s_0$ – товщина в центрі, збільшена за рахунок перенесення матеріалу з периферійної області, x – безрозмірна радіальна координата.

Параметр n визначає характер зміни товщини у радіальному напрямку. Якщо $n > 0$ – товщина зменшується, якщо $n < 0$ – товщина збільшується. У випадку, коли потрібно зменшити напруження в центральній зоні кришки, має призначатись $n > 0$.

Рівняння вигину круглих пластин змінної товщини у полярній системі координат:

$$\frac{d^2\chi}{dx^2} + \left(\frac{1}{x} - nx\right) \frac{d\chi}{dx} - \left(\frac{1}{x^2} + \mu n\right) \chi = -px \exp\left(\frac{nx^2}{2}\right), \quad (5)$$

де $\chi = -\frac{1}{R_0} \frac{dw}{dx}$ – кут повороту; $p = 6(1-\mu^2) \frac{q_0 R_0^3}{Es_1^3}$ – безрозмірна характеристика, яка враховує матеріал, розміри та навантаження.

Рішення рівняння (5) побудовані з використанням конфлюентних гіпергеометричних функцій (в [1] це функція Куммера, в [2] – функція Уіттекера).

Визначено, що для тиску $q_0 = 10$ МПа і діаметра $D_0 = 1000$ мм товщина плоскої кришки має бути $s_0 = 120$ мм. При збереженні для кришки зі змінною товщиною (4) об'єму матеріалу середньої частини плоскої кришки $V = 0,25\pi s_0 D_0^2$ і зменшенні товщини при $r = 1000$ мм від 120 мм до 100 мм визначено параметр $n = 2,125$ і товщину $s_1 = 142,5$ мм. Напруження в центрі такої кришки зменшуються на 40 % порівняно з плоскою.

Список посилань

1. Yu. Khomyak, Ie. Naumenko, V. Zheglova, V. Popov. Minimizing the mass of a flat bottom of cylindrical apparatus / Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Engineering technological systems, 2018, 2/1 (92). – Р. 42-50.
2. Хомяк Ю.М., Ярова І.А. Розрахунок вигину пластини змінної товщини із застосуванням функцій Уіттекера / Різання та інструмент в технологічних системах, 2019, Вип.90. – Р. 122-124.
3. Noori A.R., Temel B. A powerful numerical approach for the axisymmetric bending response of shear deformable two-directional functionally graded (2D-FG) plates with variable thickness / Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science. 2021; 235(22). – Р. 6370-6387.

УДК 621.952

Бадовський О.Б., аспірант
 Національний університет «Одеська політехніка» aleksandr14271980@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ КОЛИВАНЬ ПРИ ПІДРІЗУВАННІ ТОРЦІВ МЕТОДОМ ВРІЗАННЯ

На спеціальних оздоблювально-розточувальних верстатах (ОРВ) крім операції власне тонкого (оздоблювального) розточування виконується ціла низка інших операцій: зовнішнє точіння, підрізання торців, фрезерування та інше.

Тонка підрізка торців часто виконується методом радіальної подачі різця. Такий метод забезпечує отримання точного торця з високою чистотою поверхні, проте продуктивність такого методу обробки порівняно невисока.

Більш простим і продуктивним методом є метод осьової подачі (підрізування широколезовим різцем – ножем). Тонка чистова підрізка широких торців ножем є порівняно новою технологічною операцією.

У зв'язку з тим, що можливості цього методу недостатньо вивчені, у цій роботі виконані експериментальні дослідження технологічних можливостей підрізання суцільних та переривчастих торців на ОРВ на основі вивчення динаміки тонкого точіння.

Експерименти виконували на верстаті ОРВ, оснащеному шпиндельними головками типу УАР – 26 та УАР – 16; отримані дані про максимальну ширину торців, досягну при мінімально допустимих вібраціях і одержуваної чистоті поверхні. Значення максимально допустимої ширини торця істотно залежить від жорсткості пристрою, на якому закріплена деталь. У дослідженні змінювалися матеріали зразків: (сталь, чавун, бронза та алюміній); діаметри торців, що підрізаються, від 60 до 150 мм, а також їх ширина до 10 мм. Режим різання при обробці сталі $V = 50 \div 100 \text{ м/хв}$; для чавуну $V = 80 - 200 \text{ м/хв}$, при обробці бронзи $V = 120 \div 270 \text{ м/хв}$. Подача змінювалась у межах $S = 0,02 - 0,03 \text{ мм/об}$. Кількість переривань за оберт: 2, 4, 10, 15. Значення максимально допустимої ширини торця при різанні істотно залежить від жорсткості пристосування, в якому закріплена деталь (інструмент), а також від кількості переривань.

За осцилограмами, отриманими при розточуванні зразків з одним пазом, встановлено характер коливань: періодичні зміни станів рівноваги та високочастотні коливання. Декремент коливань під час різання відрізняється від виміряного при проходженні паза і може бути виражений через параметри динамічної замкнутої системи. На рисунку 1 наведено схему експериментального станду.

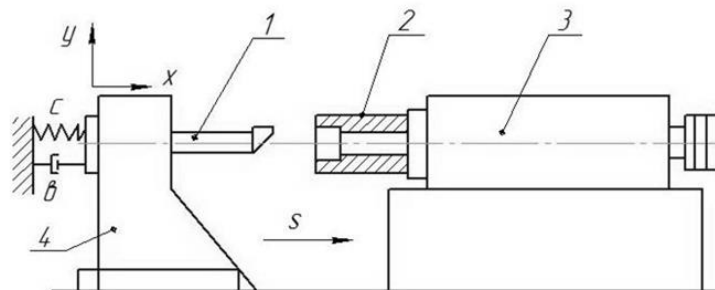


Рис. 1 – Схема експериментального станду (борштанга не обертається)

1 – борштанга; 2 – оброблена заготовка; 3 – шпиндельна головка; 4 – пристосування.

Список посилань

1. Кудінов В. О. Динаміка верстатів / В. А. Кудінов. – К.: Машинобудування, 1967. – 359 с.
2. Лінчевський П.А., Джугурян Т.П., Оргіян А.А. Обробка деталей на оздоблювально-розточувальних верстатах. - Київ: Техніка, 2001. – 300 с

УДК 621.952

Баланюк Г.В., канд. техн. наук, доцент

Національний університет «Одеська політехніка», annabalanyuk24@gmail.com**ВИЗНАЧЕННЯ ЗУСИЛЬ ЗАТИСКУ ДЕТАЛЕЙ ПРИ КОЛИВАННЯХ**

За певних умов обробки, наприклад, при розточуванні отворів з переривчастою поверхнею, сили, що діють на закріплену в пристрої деталь, виявляються істотно змінними. Для досягнення мінімальних похибок обробки необхідно при встановленні деталі в пристрої забезпечити найменші значення зусиль затиску, при яких не виникають зсуви, що викликані змінним навантаженням. Відомо, що змінні сили впливають на характер фрикційного сполучення поверхонь, що контактують, викликають вібраційні переміщення і зміни фізичних властивостей контакту [1]. Динамічна характеристика тертя [2] описує залежність сили тертя від амплітуди та частоти малих відносних переміщень тіл, що контактують у напрямку нормалі до поверхні контакту. В результаті дослідження низькочастотної (15...35 Гц) вібраційної дії при амплітудах в межах попереднього зміщення В.Л. Вейц [3] отримав уявлення ефективного коефіцієнта тертя спокою, введеного Г. Ю. Джанелідзе:

$$K_{mp}^* = K_{mp} \left[\sqrt{1 - \left(K_2 \frac{P_2}{F_0} \right)^2} - K_1 \frac{P_1}{F_0} - K_3 \frac{P_3}{N} \right], \quad (1)$$

де K_{mp} і F_0 – коефіцієнт і сила тертя за відсутності вібрацій, N – постійна складова зусилля, нормального до поверхні контакту, K_i – коефіцієнти, що характеризують вплив на силу тертя складових вібраційного зусилля: P_1 – у площині контакту у напрямку подальшого зміщення, P_2 – у площині контакту у напрямку, перпендикулярному подальшому зміщенню, P_3 – у напрямку нормалі до поверхні контакту.

В експерименті, проведеному нами, визначалися значення K_{mp}^* при зміні частоти вібраційного впливу від 50 до 800 Гц. У цьому діапазоні лежать частоти власних коливань шпинделя з борштангою та частоти переривань процесу різання при обробці типових переривчастих поверхонь.

Попередні експерименти показали, що швидкість наростання сили $F(t)$ в межах 6...30 Н/хв не впливає на F_0 і в основній серії дослідів зберігалось постійне значення цієї швидкості 18 Н/хв. Результати вимірів представлені (рис. 1) у вигляді зіставлення значень K_{mp}^e , отриманих за даними вимірювань, та K_{mp}^* , розрахованих за формулою (1), причому смуга, заштрихована на графіках, відображає невизначеність значень коефіцієнтів, що входять до цієї формули. Довірчі межі експериментальних даних відповідають ймовірності 99%.

Встановлено, що у широкому діапазоні значень частоти обурення виконується співвідношення $K_{mp}^e > K_{mp}^*$, причому зі збільшенням частоти обурення K_{mp}^e зростає. Останнє означає, що збільшення частоти призводить до зменшення зміщувальної дії сили $P_0 \sin 2\pi ft$ відповідно до уявлень про динамічну характеристику процесу тертя.

Таким чином, дія гармонійного обурення не еквівалентна дії постійної сили, чисельно рівної амплітуді обурення. Це означає, що коефіцієнти K_1 , K_2 і K_3 у формулі (1) виявляють не тільки досліджену в [3] залежність від амплітуди періодичного впливу, але також залежать від його частоти. Якщо для цих коефіцієнтів зберігати значення, отримані при низьких частотах, то розрахункове визначення умов нерухомості виконується із запасом.

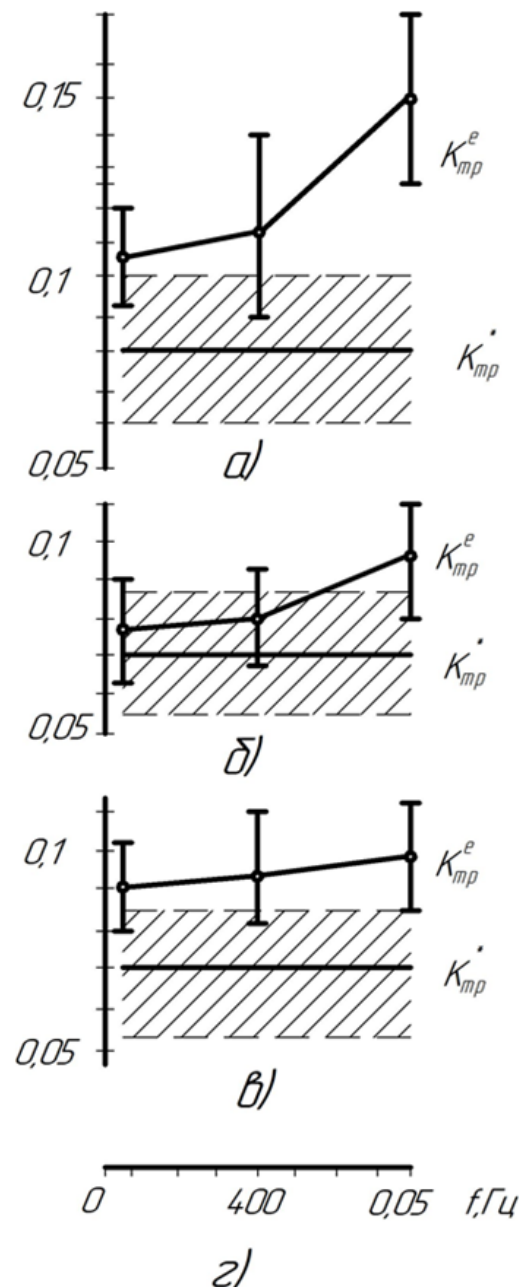


Рис. 1 – Значення коефіцієнта тертя спокою:
а) - дюралюміній-чавун; б) - сталь-чавун; в – чавун-чавун.

Використовуючи рекомендовану В. С. Корсаковим [4] методику визначення сил затиску оброблюваної деталі, знаходимо, що в такому розрахунку можна знехтувати вібраційними впливами на деталь при тонкому розточуванні суцільних поверхонь, так як амплітудам коливань 1 ... 2 мкм відповідає амплітуда сили, що гармонійно змінюється 1...2 Н, що становить 0,5...3% постійної складової сили різання. Однак при розточуванні переривчастих поверхонь вібраційні впливи на оброблювану деталь можуть істотно впливати на величину сили затиску, що запобігає зміщенню деталі в процесі обробки. Розглядаючи приклад розрахунку (рис. 2), припустимо, що власна вага деталі мала порівняно з силою затиску і що коефіцієнти тертя на всіх контактних поверхнях однакові. Найбільш небезпечним є таке положення різця, при якому в момент врізання або виходу складова P_{zy} сили різання спрямована по осі можливого зміщення деталі.

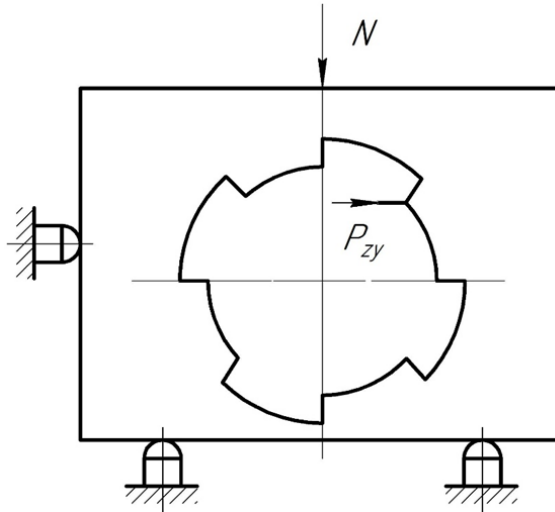


Рис. 2 – До розрахунку сили затискання деталі з переривчастою поверхнею

При цьому слід враховувати також зміни складової P_x . Умову відсутності усунення деталі запишемо у вигляді $2KP_{zy} \leq K_{mp}^* N$, де K – коефіцієнт запасу (по [2] без урахування переривчастості різання), N – сила затиску, а подвоєння P_{zy} враховує характер її наростання, близький до умов раптового застосування. Вважаючи у формулі (1) $P_3=0$ і $F_0=K_{mp}N$, знайдемо вираз сили затиску:

$$N = \frac{\sqrt{(K + K_1)^2 P_{zy}^2 + K_2^2 P_x^2}}{K_{mp}} \quad (2)$$

де K_1 і K_2 і слід визначати з урахуванням рекомендацій роботи [3]. Аналогічно можна дослідити й інші схеми базування, що застосовуються під час розточування.

Список посилань

1. Крагельський І. В. Тертя та знос. / І. В. Крагельський. – М: Машинобудування, 1968. – 480 с.
2. Кудінов В. А. Динаміка верстатів / В. А. Кудінов. – М.: Машинобудування, 1967. – 359 с.
3. Вейц В. А. Дослідження тертя спокою в напрямних ковзання при низькочастотних спрямованих мікроколиваннях / В.А. Вейц - У кн. : Нове в теорії тертя – М.: Наука, 1966. – С. 60-81.
4. Бондаренко С. Г. Основи технології машинобудування: навчальний посібник / С.Г. Бондаренко – Львів: Магнолія, 2018. – 500 с.

СЕКЦІЯ 2. ТЕХНОЛОГІЇ ДЕРЕВООБРОБКИ ТА МЕБЛЕВОГО ВИРОБНИЦТВА

UDK 674.049.2

Shchupakivskyy R., Assoc. prof., D.Sc.

Andrashek J., Assoc. prof., D.Sc.

Shchupakivskyy Ya., Ph.D student,

Savchak O., Ph.D student

Ukrainian National Forestry University, Lviv, roman.shchupakivskyy@nltu.edu.ua

LIFE CYCLE ASSESSMENT OF THERMALLY TREATED ASH WOOD DUE TO MODIFICATION IN NITROGEN ATMOSPHERE

Introduction. Thermally modified wood is gaining popularity as a structural and finishing materials in wooden construction. This is particularly due to excellent aesthetic and performance properties of this material, high biostability, etc. Nevertheless, actual data on the environmental impacts of materials, technological and construction processes in quite important for LCA of wooden building.

Main objectives of an investigation. The main goal of this study is to document the LCI of thermally treated cladding production from incoming Ash boards, LCI data collection due to the thermal modification. In particular estimation of heat energy, water, raw material and N₂ consumption due to the heat treatment. This study shows material flow, energy consumption, and air, water, and land emissions for the TMT manufacturing process on a per-unit basis.

Material and methods. The investigations were carried out on wood samples taken from a single ash tree obtained from a forest in the north-west part of Ukraine. Plain-sawn lumber were cut into few sections (sawn stocks) with a length of 0.4m and thickness of 28 mm to be used in the construction of cladding. The sawn timber was oven-dried to 12% moisture content. Afterwards, the specimens were treated in a TM chamber.

Chamber is equipped by electric heaters, vacuum pump, nitrogen injection station, and all the necessary equipment to control the process parameters and determine electricity, water, and N₂ consumption. The process conditions were applied and run under low expansion pressure (-30 mbar), and in the presence of nitrogen. Nitrogen was pumped into the chamber at the start of the process. Heating to the predetermined level of temperature range was under the condition that the temperature in sample centre is not below 15°C than temperature inside the kiln. At the beginning of the treatment, air temperature is increased until it reaches the set value 200°C. Wood is maintained at the set temperature for 2 hours.

System boundary. Studies have been entirely aimed at determining the LCI only at the TM stage. Accordingly, neither sawmill complex (transporting, logyard, sawing, and planning) nor drying were not considered in this study.

Functional Units. Material flows, including cumulative energy consumption, and emission data, were standardized to a per-unit square basis of treated cladding material. Life cycle inventory inputs, outputs and impact indicators were quantified for 1m² of cladding. Hence present study selected a functional unit of 1m² of cladding material with 28-mm thickness and without spacing between boards.

Description of the main obtained results. To confirm the data quality, a mass balance was performed, and the results are summarized in Table 1. In performing the mass balance for Ash cladding, all of unit processes located within the site system boundary were considered. Overall, an average blank were reduced to 24,3% (17.62/13.34) of its original mass during its modification to treated cladding.

Table 1. – Material and energy consumed on-site to produce a 1m² of thermally treated cladding

In/Out	Material/resource	Unit	Volume
INPUTS	Sawn Ash timber for cladding W=12%	m ³	0.0243
		m ²	1.2
	Bottled nitrogen gas	litres	419.9
		kg	0.525
	Low voltage electrical energy	kwh	9.581
	Feed water for cooling	litres	24
		m ³	0.0239
OUTPUTS	Thermally treated Ash timber	m ³	0.0216
		m ²	1.13
	Nitrogen emission to the air	litres	419.9
		kg	0.525
	Evaporated water and liquids	litres	10.770
		m ³	0.01078
	Condensed liquids in cooling system (acetic	ml	~ 130
		kg	0.1508
	Discharged water	litres	17.2
		m ³	0.0172

The inventory and impact analysis were carried out using the SimaPro 8.0.2 LCA software and associated databases and methods. The method chosen for the impact assessment was EPD (2008). SimaPro software was used to model output factors such as raw material consumption during the manufacturing process on an allocated basis. Table 2 lists allocated environmental outputs for manufacturing 1 m² of thermally modified Ash cladding for the cumulative system boundaries.

Table 2. – Impact assessment

Impact category	Unit	Total	Tap water, at user	Electricity, low voltage	Nitrogen, liquid	Sawn wood, hardwood, raw, air / kiln dried	Waste water, average
Global warming	Kg CO ₂ eq	629.820	0.443	450.561	0.116	178.303	0.398
Ozone layer depletion	Kg CFC-11	1.2e-05	8.0e-09	7.8e-07	6.9e-09	1.1e-05	3.8e-08
Photochemical oxidation	Kg C ₂ H ₄ eq	4.1e-01	3.3e-04	3.9e-02	2.0e-04	3.7e-01	5.2e-04
Acidification	Kg SO ₂ eq	1.4e+00	1.8e-03	4.7e-01	5.5e-04	9.3e-01	2.8e-03
Eutrophication	Kg PO ₄ -eq	2.5e+00	1.2e-03	2.1e+00	1.7e-04	3.1e-01	1.0e-02
Non-renewable, fossil	Mj eq	7657.215	6.271	4953.028	1.828	2692.627	3.461

The results show “Global warming”, “Ozone layer depletion”, “Photochemical oxidation”, “Acidification” “Eutrophication”, caused by 1 m² of cladding heat treatment.

Global warming (GWP100a). The most significant for this indicator is the effect of electricity consumption (71.5%), and 28.3% for dried sawn timber accordingly. Effect of other factors is not so significant.

Ozone layer depletion (ODP). The main sources of this indicator is sawn, kiln dried hardwood 93.2%. Impact of energy consumption is not so much significant – 6.4%. The rest of the factors have near of equal value (approx. 1%).

Photochemical oxidation. The photochemical oxidation is quite similar to the ODP in terms of its distribution.

Acidification. Two-thirds of influence (66.1%) accounted once again for sawn kiln dried hardwood timber. The rest 33.5% mainly for low voltage electricity, which is used as an energy source.

Eutrophication and Non-renewable, fossil. Decisive for both factors is again the impact of energy consumption and sawn wood usage. Here an average ratio is 87% to 12.5% for “Eutrophication” and 64% to 35% for non-renewable, fossil accordingly.

Conclusions. The results show that in this instance, controlling influence mostly for all impact categories for 1 m² of cladding treatment in N₂ environment, is due to energy consumption and sawn, kiln dried hardwood. Since the indicators of wood raw material use for the treatment can't be strongly reduced, energy component remains defining. Lowering energy consumption would be of great benefit to the treated wood production both in terms of financial benefits (cost reduction) and environmental burden benefits, especially in heat treatment. Nevertheless, for deeper process assessment it is still necessary to carry out the fundamental experimental studies of the full cycle for manufacturing products (cradle to grave).

References

1. Wittstock B et al. (2012). EeBGuide Guidance Document, Part A: PRODUCTS and Part B: BUILDINGS, Operational guidance of life cycle assessment studies of the Energy-Efficient Buildings Initiative. Project report.
2. Reap, J. Roman, F. Duncan, S. Bras, B. (2008). A survey of unresolved problems in life cycle assessment, Part 1: goal and scope and inventory analysis. Int J LCA 2008; 13:290-300. DOI: 10.1007/s11367-008-0008-x.
3. Peeredoom, E. C. Kleijn, R. Lemkowitz, S. Lundie, S. (1999). Influence of Inventory Data Sets on Life-Cycle Assessment Results: A Case study on PVC. J Ind Ecol 1999; 2 (3): 109-147. DOI: 10.1162/jiec.1998.2.3.109.
4. ISO 14040: 2006, Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework.

УДК 674.049.2

Андрашек Й.В., канд. техн. наук, доцент
Щупаківський Р.Б., канд. техн. наук, доцент
Савчак О.В., аспірант
Щупаківський Я.Б., аспірант

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, joseph.andrashek@nltu.edu.ua

ТЕРМІЧНЕ МОДИФІКУВАННЯ ДЕРЕВИНИ – КОРОТКИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ПРОБЛЕМАТИКА СТАНУ ПИТАННЯ

У 2018 році Європейська комісія прийняла довгострокове стратегічне бачення кліматично нейтральної економіки до 2050 року. Європа повинна очолити перехід до кліматичної нейтральності, інвестуючи в реалістичні технічні рішення, забезпечуючи при цьому соціальну справедливість. Одним із семи стратегічних будівельних блоків, визначених для досягнення нульового рівня викидів, є повне використання переваг біоекономіки, де необхідне покращене використання ресурсів на біологічній основі. Перехід від вуглецевомісткої сировини створює велику кліматичну вигоду, оскільки деревина, що використовується в будівництві, не тільки замінить вуглецевомісткі матеріали (сталь, бетон, тощо), але й функціонуватиме як накопичувач вуглецю. Зростання використання деревини ставить до неї додаткові вимоги, такі як: обмежена потреба в

обслуговуванні, однорідний та приємний зовнішній вигляд, висока довговічність та, в багатьох випадках, вогнестійкість. Багато з цих ключових вимог є надзвичайно складними для виконання стандартними дерев'яними виробами, і тому продовжує існувати зростаюче протиріччя між впливом світових тенденцій і сучасними технічними можливостями виробів на основі деревини. Інші проблеми, такі як посилення обмежень на використання ефективних хімічних речовин для довговічності та захисту, ще більше ускладнюють конкурентоспроможність виробів з деревини.

Збільшення довговічності деревини та розширення її функціональних ознак є ключовими напрямками в галузі досліджень модифікування деревини [3]. Еволюція термічно модифікованої деревини до позиції найбільшого продукту для модифікування у світі певним чином покращила характеристики виробів з масивної деревини без необхідності хімічного «втручання». Тривають масштабні дослідження в галузі термічної модифікації, і для досягнення поставлених цілей було розроблено кілька технологічних способів, включаючи середовище водяної пари, підвищений тиск водяної пари, гарячу олію та оброблення в середовищі інертного газу (азоту). У Фінляндії, Німеччині, Нідерландах і Франції розроблено п'ять основних комерційних способів термічної модифікації деревини. У всіх способах модифікують деревину з температурою від 160 до 220 °С, але відмінності виникають через використовувану сировину, технологічні процеси, теплоносії та обладнання, що використовується. При термічній модифікації відбуваються ключові хімічні зміни, включаючи деградацію геміцелюлози, генерацію оцтової кислоти, підвищення кристалічності, деполімеризацію целюлози та реакцію зшивання лігніну. Як наслідок, деревина втрачає свою масу, виникають тріщини і пористість клітинних стінок, а також змінюються фізичні властивості [2]. Чим вища температура оброблення і чим більша її тривалість, тим очевидніші фізико-хімічні зміни. Крім того, після термічної модифікації компоненти деревини деградують, рівноважна вологість зменшується, механічні властивості змінюються, а стабільність розмірів і стійкість до грибків підвищуються [1, 4].

У промислових масштабах термічна модифікація здійснюється п'ятьма основними способами (табл. 1), які в першу чергу відрізняються один від одного принципами виключення кисню і умовами тиску. З самого початку і до сьогоднішнього дня відкритий («сухий») спосіб термічної модифікації деревини найбільш поширений. Річний обсяг виробництва термодеревини даним способом в Європі у 2021 році становив 900 тисяч кубічних метрів, доля інших способів не перевищувала 100 тисяч кубічних метрів [4].

Таблиця 1 – Способи термічної модифікації деревини

Способи	Особливості процесу	Характеристики термокамер
Термо відкритий/сухий	атмосферний тиск (де-що підвищений, перешкоджає всмоктуванню повітря); водяна пара і деревинні гази працюють як середовище захисту від займання. Під час термооброблення деревина знаходиться практично в абсолютно сухому стані	подібні до сушильних конвективних камер, але в термостійкому, антикорозійному та герметичному виконанні, додаткові агрегати для подачі пари, система нагрівання для досягнення температури до 220°C; об'єм завантаження до 60 м ³ (або навіть більше)
Термо закритий/вологий	підвищений тиск до 1,0-1,2 МПа (10-12 бар) або навіть вище; тиск створюється в результаті нагрівання в замкнутій системі (взаємозалежність температури і тиску)	герметичні автоклави в основному циліндричної форми; об'єм завантаження 10...20 м ³ ; додаткові агрегати для пароутворення і підтримання певного рівня тиску

Продовження таблиці 1.

Способи	Особливості процесу	Характеристики термокамер
Термо/вакуум	зменшення кисню в просторі термокамери шляхом відкачування повітря, понижений тиск до 0,015-0,025 МПа (0,15 -0,25 бар); зменшення вмісту екстрактивних речовин і продуктів термічної деградації деревини	герметичні автоклави циліндричної форми; об'єм завантаження 5...15 м³; додаткові агрегати (вакуумні помпи) для створення розрідження (вакууму); нагрівання за допомогою пластин між рядами деревини або випромінюванням від гарячих калориферів
Термо/Інертний газ	подача азоту в простір термокамери (вміст кисню менше 2 %); діапазон температур 180...250 °С; спосіб відомий як "ретифікація"	доступна лише загальна інформація; як правило термокамери об'єм завантаження до 15 м³; (споживання азоту, герметичність)
Термо/олія	масляна ванна закритого типу, олії рослинного походження; олія працює як кисневий бар'єр і як середовище для передачі тепла; просочення олією не глибоке (видаляється при струганні)	система герметичних резервуарів, (резервуар для зберігання і резервуар для термооброблення); Німеччина для виробництва настилів для яхт "ОНТ wood"

Висновки. На основі 15-річних випробувань на відкритому повітрі в різних умовах впливу довговічність виробів з термічно модифікованої деревини п'ятьох промислових способів виявилася явно меншою, ніж вказували результати лабораторних випробувань [4]. Лабораторні методи випробувань потребують подальших поправок, щоб адекватно відобразити умови зовнішнього поля, зокрема, під час тестування модифікованої деревини. Результати досліджень рівноважної вологості і стабільності розмірів виробів з термічно модифікованої деревини виготовлених за різної температури оброблення і різних умов експлуатації носять розрізнений характер і важко придатні для аналізу. Для вирішення цієї проблеми необхідно розробити стандартизовані методики випробувань, які на сьогодні практично відсутні.

Завдяки новим дослідженням можна сподіватися, що подальший розвиток термічно модифікованої деревини може задовольнити зростаючі вимоги до дерев'яних виробів у забудованому середовищі та прискорити поширення її використання.

Список посилань

1. Андрашек Й.В., Петросюк О.М., Моделювання полів вологості в процесі кондиціювання термічно модифікованої деревини ясеня. Науковий вісник НЛТУ України, – Львів, 2024. № Вип. 34(1), 91-96. (DOI 10.36930/40340113)
2. Shchupakivsky R., Pfriem A., Clauder L., Linke N. Application of high-frequency densitometry to detect changes in early- and latewood density of oak (*Quercus robur* L.) due to thermal modification. European Journal of Wood and Wood Products (2014) 72:5 – 10. (DOI 10.1007/s00107-013-0744-x)
3. Roman Shchupakivsky, Andreja Kutnar. Understanding of wood modification through an integrated scientific and environmental impact approach. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry. Collection of scientific and technical works. – Lviv: NUFWT of Ukraine. – 2016, pub. 42 – P. 49-51.
4. The 10th European Conference on Wood Modification – ECWM¹⁰. BOOK OF PROCEEDINGS. Prouvé Congress Centre. Nancy, France. April 25 - 26, 2022.

УДК 674-419.33:674.8

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

Подібка Т.І., PhD, асистент

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, serhiy.hayda@nltu.edu.ua

ФОРМОСТІЙКІСТЬ МЕБЛЕВИХ ЩИТІВ ІЗ СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ

Актуальність дослідження полягає в тому, що технологічні рішення щодо комплексного використання первинних ресурсів та деревинних залишків у виробництві конструкційних матеріалів дадуть можливість зменшити навантаження на навколишнє середовище з одного боку, а з іншого – необхідне розширення сировинної бази для виробництва меблевих щитів (МЩ), зокрема із шпилькових порід дерев, які можуть конкурувати за якістю у виробі, що зроблений із твердих порід дерев. Зрозуміло, що *основною проблемою* при виготовленні щитових елементів з масивної деревини є формостійкість, тобто нестабільність розмірів та форми під час експлуатації. Часткове вирішення даної проблеми шляхом розроблення практичних рекомендацій дасть можливість залучати деревину, зокрема, сосни звичайної (*Pinus sylvestris*) для виробництва МЩ.

Аналіз літературних джерел. В НЛТУ України інтенсивно ведуться пошуки альтернативних джерел сировини [1-10] та розробляються нові конструктивні та технологічні рішення для виробництва нових виробів на основі вживаної деревини: столярної плити [1, 4, 6-9], меблевого щита [5, 8-10], заготовок [2, 3]. За результатами аналізу літературних джерел було встановлено, що в наукових роботах здебільшого досліджувались проблеми міцності клеєних конструкцій твердолистяних порід дерев, а не шпилькових. На сьогодні вже є детальні дослідження окремих фізико-механічних властивостей щитових конструкцій та, частково, формостійкості площинних клеєних матеріалів [1, 4, 7, 8, 10].

Мета роботи – дослідити та проаналізувати формостійкість меблевих щитів із деревини шпилькових порід, зокрема сосни звичайної (*Pinus sylvestris*) різних конструкцій.

Об'єкт дослідження – меблеві щити із деревини сосни звичайної. **Предмет дослідження** – закономірності впливу комбінованого укладання рейок радіального та тангентального поперечного перерізу різної ширини на формостійкість меблевого щита.

Методика реалізації композиційного В-плану. Оскільки дослідження базувалися на вивченні залежності характеристик структурних компонентів – розмірних характеристик ширин рейок та виду випиляних пиломатеріалів (радіальних та тангентальних) МЩ на формостійкість, то було реалізовано В-план другого порядку (табл. 1). Підготовлені рейки із масиву сосни звичайної радіального ($V_{\text{рад}}$) та тангентального ($V_{\text{тан}}$) поперечного перерізу виготовлялись шириною 20, 50 та 80 мм, що укладались в конструкцію щита почергово.

Результати. За результатами оброблення даних експерименту отримано рівняння регресії другого порядку, яке описує залежність стріли прогину S від ширини структурних елементів, тобто ширини рейок з сосни (радіал) $V_{\text{рад}}(x_1)$ та з сосни (тангентал) $V_{\text{тан}}(x_2)$.

Одержане рівняння регресії в натуральних значеннях факторів записується:

$$S = 0,0821 - 0,0021V_{\text{рад}} + 0,0001V_{\text{тан}} + 0,000022V_{\text{рад}}^2 + 0,000012V_{\text{тан}}^2 + 0,000046V_{\text{рад}}V_{\text{тан}}.$$

За результатами експерименту здійснено оптимізацію ширини рейок за допомогою градієнтного методу, внаслідок якої виявлено, що мінімальне значення відхилення $S_{\text{min}} = 0,064$ мм, взяте за абсолютною величиною можна отримати зафіксувавши розмірні параметри ширини рейок МЩ комбінованого укладання: сосни (радіал) $V_{\text{рад}}(x_1) = 20$ мм; ширина рейки з сосни (тангентал) $V_{\text{тан}}(x_2) = 20$ мм (рис. 1). Одержано закономірності (адекватне рівняння регресії другого порядку) впливу ширини рейок та кута нахилу річних шарів у МЩ з почерговим укладанням радіальних (кут нахилу річних кілець у поперечному перерізі брусків 61-90°) та тангентальних (кут нахилу річних кілець – 1-30°) на формостійкість комбінованих МЩ із деревини сосни звичайної (*Pinus sylvestris*).

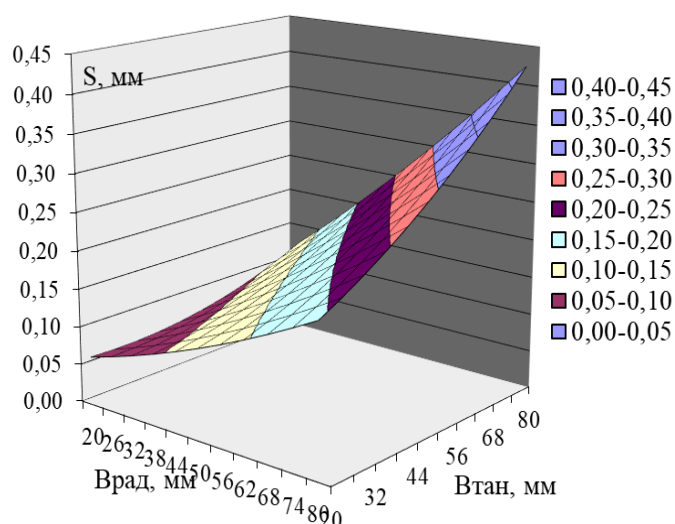


Рис. 1 – Залежність усередненого відхилення S (від площинності) меблевого щита від ширини рейки з сосни почергового укладання (радіал – тангентал)

Практичні рекомендації: ширина рейок при товщині МЩ 20 мм має становити 40-60 мм, так як зменшення ширини заготовки призводить до збільшення собівартості (зростає кількість операцій та витрати клею), а збільшення ширини – призводить до погіршення формостійкості; вологість – 8 ± 2 %; розташування рейок для високої формостійкості – радіальне або почергове укладання; витрата клею для МЩ – $185-225 \text{ г/м}^2$; температура вайми для МЩ – $88-92$ °C; час витримки для МЩ – 25-35 хв; тиск для МЩ – 0,5-1,0 МПа.

Список посилань

1. Gayda S.V., Kiyko O.A. Shape stability as a quality criterion for PCW-made blockboards / S.V. Gayda, O.A. Kiyko // Scientific Works of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine. – Lviv: UNFU, 2018. – Vol.17. – P. 185-192, (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.15421/412135>
2. Gayda S.V., Kiyko O.A. Post-consumer wood properties as an important factor in the quality of constructional materials / S.V. Gayda, O.A. Kiyko // Scientific Works of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine. – UNFU, 2021. – Vol.23. – P. 152-162, (in Ukr.). doi: <https://doi.org/10.15421/412135>
3. Gayda S.V., Kiyko O.A. Study of Physical and Mechanical Properties of Post-Consumer Wood of Different Age / S.V. Gayda, O.A. Kiyko // Drewno. Prace naukowe. Doniesienia. Komunikaty, 2023. – Vol.66 (212): 00010. <https://doi.org/10.53502/wood-177453>.
4. Gayda S.V. Techniques for recycled of post-consumer wood in the production of quality particleboard / S.V. Gayda // Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry. – Lviv: UNFU, 2014. – Vol.40. – P. 41-51. doi: <https://doi.org/10.36930/42144010>
5. Gayda S.V. A technology and properties of furniture board (FB) made of post-consumer wood / S.V. Gayda // Actual problems of forest complex. – Bryansk: BSETA, 2017. – Vol.48. – P. 34-38 (in Russian).
6. Gayda S.V., Kiyko O.A. Determining the regime parameters for the surface cleaning of post-consumer wood by a needle milling tool. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2020. – Vol.5(1(107)). – P. 89-97, (in Ukr.). doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.212484>
7. Gayda S.V. Strength of combined blockboard made of post-consumer wood (PCW) / S.V. Gayda // Bulletin of KhNTUA. – Kharkiv: KhNTUA, 2018. – Vol.197. – P. 3-9, (in Ukrainian).
8. Gayda S.V., Study of the influence of breed and grinding modes on the specific productivity of grinding skin / S.V. Gayda, I.V. Petrishak, G.V. Somar // Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry. – Lviv: UNFU, 2020. – Vol.46. – P. 5-15, (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42204601>
9. Gayda S.V. Production techniques and properties of fuel pellets produced from post-consumer wood / S.V. Gayda // Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry. – Lviv: UNFU, 2012. – Vol.38. – P. 112-150. doi: <https://doi.org/10.36930/42123822>
10. Podibka T.I. A investigation of form of stability of variously designed furniture board made of pine wood of different constructions / T.I. Podibka // Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry. – Lviv: UNFU, 2020. – Vol.46. – P. 108-121, (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42204613>

УДК 674-419.33:674.8

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

Медвідь Л.В., аспірант

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, serhiy.hayda@nltu.edu.ua

МІЦНІСТЬ ЗВИЧАЙНИХ СТОЛЯРНИХ ПЛИТ ІЗ ВЖИВАНОЇ ДЕРЕВИНИ

Актуальність. Використання вживаної деревини (ВЖД) має свої переваги і може бути вигідним в різних сферах життя, включаючи будівництво і виробництво, дизайн і конструювання [1, 2]. Тут присутні і економічні показники і велике практичне значення, зокрема: використання ВЖД допомагає заощадити лісові ресурси та зменшити негативний вплив на навколишнє середовище [3-8]; мінімізація деревинних залишків та відходів сприяє реалізації принципів циркулярної економіки [9, 10]; матеріальне перероблення ВЖД зумовлює заощадження первинних ресурсів, стаючи додатковим джерелом сировини, зокрема у виготовленні конструкційних матеріалів – столярних плит (СП) [5-9].

Пошук нетипових та інноваційних способів використання ВЖД в деревообробному та меблевому виробництві спонукали вчених до вивчення новітніх методів та розроблення технологій перероблення ВЖД для виготовлення якісних матеріалів з високою естетичністю та функціональністю [1, 3, 6, 8]. Наукові праці сприяли розвитку ефективних та сталих методів перероблення ВЖД та виробництва високоякісних продуктів з її використанням. Підставою для оцінки ВЖД з огляду на безпеку докiлля є їх хімічний склад.

В НЛТУ України розроблено Класифікатор ВЖД, згідно якого всю ВЖД поділено на чотири категорії. Для матеріального використання придатна ВЖД I-ої та II-ої категорії. Із якісної очищеної ВЖД [6-10] можна отримати бруски, рейки для виготовлення клеєних конструкцій, зокрема, столярних плит [3, 6-8], а менш кондиційної – технологічну тріску [4]. Але відсутність технологічних рішень, практичних рекомендацій та перевірених показників, в тому числі, на міцність, вимагали додаткових експериментальних досліджень.

Мета досліджень – визначення показників міцності звичайних СП із ВЖД.

Об'єкт досліджень – звичайні СП із ВЖД ялини.

Предмет досліджень – закономірності впливу конструкцій звичайних СП із ВЖД радіального та тангентального укладання на показники міцності при статичному згині та при сколюванні.

Методика досліджень. Загальна методика досліджень включала: заготівлю; очищення та сортування; технологічні операції з виготовлення рейок, столярних щитів, взірців із отриманих конструкцій СП; випробування на статичний згин та на сколювання.

Матеріали для проведення досліджень – заготовки ВЖД породи ялина, клей ПВА компанії Jowat, фанера, товщиною 4 мм. Рейки виготовлялись поперечним розміром 20×30, 20×50, 20×70 мм. Після склеювання одержували калібровані столярні щити розміром 450×450×16. Личковані фанерою СП із ВЖД мали товщину 22 мм. Для вирішення поставлених завдань досліджень було використано план другого порядку.

Результати випробувань. За результатами досліджень було виготовлено експериментальні СП із ВЖД ялини (рис. 1) для подальшого експериментального дослідження та порівняльного аналізу. За результатами оброблення даних експерименту отримано рівняння регресії другого порядку, які описують залежність меж міцності від ширини структурних елементів, тобто ширини рейок (радіал) $V_{\text{рад}}(x_1)$ та (тангентал) $V_{\text{тан}}(x_2)$:

а) для визначення межі міцності під час статичного згину

$$y(\sigma_u) = 28,425 - 2,306x_1 - 4,368x_2 - 0,061x_1^2 + 0,601x_2^2 + 0,065x_1x_2,$$

б) для визначення межі міцності під час сколювання

$$y(\tau_{\text{ск}}) = 1,822 + 0,148x_1 - 0,099x_2 - 0,009x_1^2 - 0,172x_2^2 - 0,001x_1x_2.$$



Рис. 1 – Торці експериментальних столярних плит із ВЖД із рейок різної ширини

Висновки. Експериментально визначено межі міцності під час статичного згину та під час сколювання для СП із ВЖД ялини та побудовано дві адекватні регресійні моделі залежно від почергового укладання радіальних ($V_{\text{рад}}$) та тангентальних ($V_{\text{тан}}$) рейок ширинами 30, 50 та 70 мм при товщині 22 мм. Встановлено, що ширина рейок в конструкції СП суттєво впливає на міцнісні характеристики конструкції. Виявлено, що збільшення ширини від 30 до 70 мм під час визначення межі міцності при статичному згині призводить до зменшення показника для радіальних рейок на 15-20 %, а для тангентальних – на 33-38 %; а під час визначення межі міцності при сколюванні – для радіальних рейок до зростання на 15-17 %, а для тангентальних до спадання – на 12-14 %.

Встановлено, що максимальне значення межі міцності під час статичного згину $\sigma_u = 35,705$ МПа можна отримати зафіксувавши розмірні параметри ширини рейок СП із ВЖД із ялини комбінованого укладання: $V_{\text{рад}}(x_1) = 30$ мм $V_{\text{тан}}(x_2) = 30$ мм. Для межі міцності під час сколювання максимальне значення досягається при $V_{\text{рад}}(x_1) = 70$ мм; $V_{\text{тан}}(x_2) = 48$ мм. Рекомендовано використовувати ВЖД у виробництві СП з перерізом рейок у відношенні не більшим 1:4 з комбінованим укладанням радіальних та тангентальних.

Список посилань

1. Gayda S.V., Kiyko O.A. Determining the regime parameters for the surface cleaning of post-consumer wood by a needle milling tool. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2020. – Vol.5(1(107)). – P. 89-97, (in Ukr.). doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.212484>
2. Gayda S.V., Kiyko O.A. Shape stability as a quality criterion for PCW-made blockboards / S.V. Gayda, O.A. Kiyko // Scientific Works of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine. – Lviv: UNFU, 2018. – Vol.17. – P. 185-192, (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.15421/412135>
3. Gayda S.V., Kiyko O.A. Study of Physical and Mechanical Properties of Post-Consumer Wood of Different Age / S.V. Gayda, O.A. Kiyko // Drewno. Prace naukowe. Doniesienia. Komunikaty, 2023. – Vol.66 (212): 00010. <https://doi.org/10.53502/wood-177453>.
4. Gayda S.V. Techniques for recycled of post-consumer wood in the production of quality particleboard / S.V. Gayda // Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry. – Lviv: UNFU, 2014. – Vol.40. – P. 41-51. doi: <https://doi.org/10.36930/42144010>
5. Gayda S.V. A form of stability of blockboards made of post-consumer wood / S.V. Gayda // Actual problems of forest complex. – Bryansk: BSETA, 2016. – Vol.46. – P. 148-153, (in Russian).
6. Gayda S.V. The complex studies on the change of elastic properties of post-consumer fir wood with age / S.V. Gayda // Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry. – Lviv: UNFU, 2017. – Vol.43. – P. 58-72, (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42174308>
7. Gayda S.V. A technology and properties of furniture board (FB) made of post-consumer wood / S.V. Gayda // Actual problems of forest complex. – Bryansk: BSETA, 2017. – Vol.48. – P. 34-38 (in Russian).
8. Gayda S.V. A investigation and analysis of characteristics of solid furniture boards made of post-consumer wood / S.V. Gayda // Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry. – Lviv: UNFU, 2018. – Vol.44. – P. 15-25, (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42184402>
9. Gayda, S.V. The investigation of physical and mechanical properties of wood particleboards made from post-consumer wood / S.V. Gayda // Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry. – Lviv: UNFU, 2011. – Vol.37(2). – P. 95-110. doi: <https://doi.org/10.36930/421137221>
10. Gayda, S. V. Recycled of post-consumer wood is for the production of particleboard in Ukraine/ S.V. Gayda // Proceedings of the XXI International symposium Adhesives in Woodworking Industry (Slovakia, Zvolen Juve 29 – July 01. 2011). TU Zvolen. – P. 108-121.

УДК 674-419.33:674.8

Гайда С.В., докт. техн. наук, професор,
Лесів Л.Е., аспірантНаціональний лісотехнічний університет України, м. Львів, serhiy.hayda@nltu.edu.ua**ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ КОМБІНОВАНИХ СТОЛЯРНИХ ПЛИТ ІЗ ВЖИВАНОЇ ДЕРЕВИНИ**

Актуальність та проблема дослідження. Залучення деревинних додаткових ресурсів до матеріального використання є актуальним та нагальним питанням сьогодення. Вживана деревина (ВЖД) є ресурсною базою деревинної сировини, але в даний час вона ефективно не використовується [1-3]. В цьому і проблема, оскільки засмічується довкілля та виникають екологічні проблеми щодо забруднення територій [4-8]. Дослідження вітчизняних та зарубіжних вчених із зазначеної проблеми стосуються, в основному, використання виробничих деревних відходів, залишків та інколи ВЖД. Частково з'являються дослідження присвячені столярним плитам (СП) із ВЖД [1-9]. Що стосується комбінованих СП із ВЖД, то потрібні поглиблені випробування взірців із таких щитових конструкцій, щоб надати та сформулювати практичні рекомендації щодо їх масового виготовлення.

Проблема дослідження – відсутність ресурсощадних та екологобезпечних технологій з практичними рекомендаціями щодо використання ВЖД. Часткове вирішення даної проблеми дасть можливість забезпечити галузі деревообробки додатковим джерелом сировини – альтернативним ресурсом шляхом перероблення ВЖД на столярну плиту. У Європі питання використання ВЖД майже вирішені. В Україні питання матеріального застосування ВЖД, зокрема для виробництва щитових виробів, ще в процесі дослідження.

Мета дослідження – проаналізувати основну механічну характеристику (міцність під час статичного згину згідно DIN 68705-2:2014-10 [10]) столярної плити із первинної деревини та столярної плити із ВЖД комбінованої конструкції.

Об'єкт дослідження – комбінована столярна плита із ВЖД СП(ВЖД).

Предмет дослідження – закономірності впливу конструкцій щита столярної плити та комбінованого укладання рейок різної ширини на міцність під час статичного згину.

Методика проведення експериментальних досліджень. Для реалізації поставлених завдань було розроблено комплексну методику, що включає такі етапи: виготовлення комбінованих СП із ВЖД; отримання взірців для випробування; порівняння результатів досліджень. Матеріали: вживані віконні рами та коробки, дверні коробки та дверні полотна, вживані елементи меблевих виробів; вживані ДВП та фанера 4 мм, зокрема із задніх стінок корпусних меблів; клей ПВА класом міцності D3 моделі «Jowat 103.05». Підготовлені рейки із масиву сосни (ВВЖД) та ДСП (ВДСП) виготовлялись шириною 30, 50 та 70 мм. Для встановлення залежності характеристик структурних компонентів СП на характеристики отриманих плит, то було реалізовано В-план другого порядку. Для порівняння було виготовлено СП(Брусок) свіжа та нових плит ДСП.

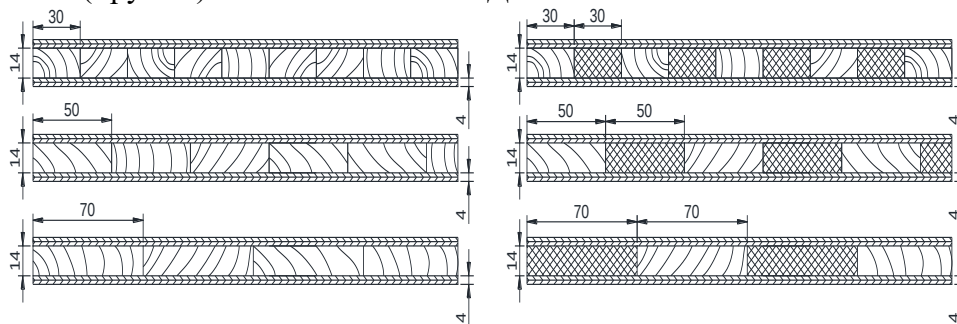


Рис. 1 – Конструкції СП із ВЖД та комбіновані СП із ВЖД та ВЖД (ДСП)

Результати випробування СП із ВЖД. Було виготовлено два види СП, личкованих фанерою з розмірами 500х500х22 мм: перший вид складається із рейок ВЖД шириною 30, 50 та 70 мм, а другий вид (комбінований) складається із рейок ВЖД та рейок ДСП укладених почергово таких же ширин, згідно методичної сітки досліджень (рис. 2).



Рис. 2 – Експериментальні комбіновані СП із ВЖД та ВЖД (ДСП)

Здійснивши статистичну обробку експериментальних даних одержали наступну адекватну регресійну модель – рівняння регресії в кодованих значеннях:

$$y = 25,211 - 1,898x_1 - 4,014x_2 + 0,005x_1^2 + 1,106x_2^2 + 0,018x_1x_2$$

Аналізуючи рівняння регресії, бачимо що найбільший вплив на вихідне значення функції має безперечно фактор x_2 (В_{ДСП}), та значно менше – фактор x_1 (В_{ВЖД}). Міцність під час статичного згину для різних конструкцій подано у таблиці 1.

Таблиця 1. – Зведена таблиця показника міцності під час статичного згину

Розроблені та запропоновані конструкції СП	Розрахунок	Норма	% норми
СП(Брусок-ДСП)ВЖД	25,21	15	168
СП(ДСП)ВЖД	19,57	15	130
СП(Брусок)ВЖД	27,88	15	186

Висновки. Зроблено партію СП із ВЖД шляхом реалізації В-плану другого порядку, де змінними були ширина рейок внутрішнього щита, при чому рейки були із брусків деревини та із выпиляних смуг ДСП. Встановлено, що найвищими механічними параметрами характеризується комбіновані СП із ВЖД конструкцій за шириною рейки: В_{ВЖД} = 30 мм; В_{ДСП} = 30 мм – показник на міцність під час статичного згину – 32,252 МПа. Рекомендовано, що для отримання максимальної міцності СП під час статичного згину, ширину рейки для склеювання щита приймати в межах 2-4 її товщини.

Список посилань

1. Gayda S.V., Kiyko O.A. Shape stability as a quality criterion for PCW-made blockboards / S.V. Gayda, O.A. Kiyko // Scientific Works of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine. – Lviv: UNFU, 2018. – Vol.17. – P. 185-192, (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.15421/412135>
2. Grytsak S.A., Gayda S.V. Comparative analysis of physical and mechanical characteristics of bent elements from different tree species / S.V. Gayda, S.A. Grytsak // Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry. – Lviv: UNFU, 2020. – Vol.46. – P. 16-27, (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42204602>
3. Gayda S.V., Kiyko O.A. Determining the regime parameters for the surface cleaning of post-consumer wood by a needle milling tool. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2020. – Vol.5(1(107)). – P. 89-97, (in Ukr.). doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.212484>
4. Gayda S.V. Techniques for recycled of post-consumer wood in the production of quality particleboard / S.V. Gayda // Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry. – Lviv: UNFU, 2014. – Vol.40. – P. 41-51. doi: <https://doi.org/10.36930/42144010>
5. Gayda S.V. The complex studies on the change of elastic properties of post-consumer fir wood with age / S.V. Gayda // Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry. – Lviv: UNFU, 2017. – Vol.43. – P. 58-72, (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42174308>
6. Gayda S.V. A technology and properties of furniture board (FB) made of post-consumer wood / S.V. Gayda // Actual problems of forest complex. – Bryansk: BSETA, 2017. – Vol.48. – P. 34-38 (in Russian).
7. Lesiv L.E. Study of the characteristics of combined of blockboards made of post-consumer wood / L.E. Lesiv // Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry. – Lviv: UNFU, 2022. – Vol.48. – P. 69-86, (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42214806>
8. Gayda S.V. The theoretical rationale for the approach on the prediction the strength of particleboard from recycled wood / S.V. Gayda // Actual problems of forest complex. – Bryansk: BSETA, 2014. – Vol.38. – P. 212-216, (in Russian).

9. Gayda S.V. The investigation of properties of blockboards made of post-consumer wood / S.V. Gayda, O.A. Kiyko // *Drewno*, 2020. – Vol.63(206), 77-102. doi: <https://doi.org/10.12841/wood.1644-3985.352.10>
10. DIN 68705-2:2014-10. Plywood – Part 2. Blockboard and laminboard for general use. Germany.

УДК 684.4.053

Грицак С.А., канд. техн. наук, доцент

Грицак С.С., аспірант

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, stepan.hrytsak@nltu.edu.ua

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ ГНУТТЯ БУКОВИХ МЕБЛЕВИХ ЗАГОТОВОК ПІСЛЯ ПРЕСУВАННЯ

Актуальність. Дослідження гнуття букових меблевих заготовок залишаються актуальними у зв'язку зі зростанням популярності застосування букової деревини у виробництві меблевих виробів та вимогами до її якості [1-5]. Бук відомий своєю міцністю і стійкістю, а його гнучкість робить його відмінним матеріалом для виготовлення меблів. Дослідження в цій області дозволяють розробляти нові технології обробки бука, що покращують якість та довговічність меблів [1, 2, 4, 5-9]. Такі дослідження можуть включати в себе вивчення властивостей бука при гнутті, оптимізацію процесу гнуття для забезпечення максимальної міцності та ефективності виробництва, а також розробку нових конструкцій [6] і дизайну меблевих виробів з використанням гнутого бука. На нашу думку цікавою є гіпотеза спочатку пресувати деревину, а потім гнути її в холодному стані. Процес гнуття попередньо упресованої деревини почав розвиватись нещодавно, тому він практично недосліджений. Необхідно проаналізувати та експериментально апробувати запропоновану технологію гнуття попередньо упресованої масивної деревини. Встановити параметри, при яких найкраще заготовки піддаються упресуванню та гнуттю.

Об'єктом досліджень є встановлення впливу параметрів пресування деревини бука на якість процесу її гнуття. **Предметом досліджень** є заготовки деревини бука.

Метою є встановлення закономірностей впливу пресування деревини бука в різних напрямках (радіальному, тангентальному і осьовому (поздовжньому)) на процес їх гнуття без повторного процесу пластифікування (пропарювання).

Методика досліджень. Порядок проведення досліджень наступний: виготовити зразки заданих розмірів та заміряти їх вологість; здійснити пластифікацію зразків у пропарювальній установці при температурі 102...105 °C на заданий час, а потім пресувати у пресувальній установці; витримати пресовані зразки в затиснутому стані до повного охолодження; закріпити пресовані зразки в гнутарному пристрої та провести їх згинання, використовуючи опорні диски заданого діаметру; провести аналіз гнутих зразків, визначити якість згинання, наявний брак і зафіксувати результати в журналі.

Для проведення експериментальних досліджень були виготовлені зразки з деревини бука розмірами 20x20 та довжиною 300 мм. При підготовці зразків контролювали відсутність сучків та відхилення напряму волокон від осі бруса, яке не повинно перевищувати 10°. Бруски виготовляли з повітряно-сухих пиломатеріалів вологістю 25-30 %. В якості змінних факторів вибрали ступінь упресування i (X_1) та радіус згину r (X_2). Для даних досліджень прийняли В-план другого порядку, тому кількість дослідів була рівна 9. Кількість дубльованих спостережень в кожному досліді прийняли рівним 10.

Результати досліджень.

У результаті обробки експериментальних даних гнуття деревини бука після пресування отримали відповідно три рівняння регресії в кодованих значеннях факторів:

А) в радіальному напрямі, де кількість якісних заготовок становила 47-67% .

$$y=58,75+5,83X_1+6,67X_2-3,75X_1^2-1,25X_2^2+1,25X_1X_2.$$

Б) в тангентальному напрямі, де кількість якісних заготовок становила 34-61% .
 $y=47,50+5,83X_1+7,50X_2$.

В) в осьовому напрямі, де кількість якісних заготовок становила 83-97% .
 $y=92,75+6,17X_1+1,33X_2-2,75X_1^2+0,75X_2^2-0,75X_1X_2$.

Обговорення результатів. За результатами експериментальних досліджень можна констатувати, що технологія холодного гнуття попередньо пресованих заготовок має перспективу, при якій мінімальний радіус згину залежить від напрямку пресування і ступеня упресування. Результати досліджень показали, що пресування в радіальному і тангентальному напрямку не дає бажаного ефекту при гнутті, про що свідчить велика кількість браку (відповідно 47-67% та 34-61%). Це можна пояснити специфічною будовою деревини. Оскільки деревина є анізотропним матеріалом, то при осьовому пресуванні заготовок результати істотно відрізняються. При збільшенні ступеня упресування від 15 до 25% кількість якісних заготовок зростає і становить відповідно 83-97%. Це можна пояснити тим, що при осьовому пресуванні клітини деревини деформуються вздовж лінії пресування.

Висновки. Встановлено, що мінімальний радіус згину залежить від напрямку пресування і ступеня упресування. Визначено, що пресування в радіальному і тангентальному напрямку не дає бажаного ефекту при гнутті, про що свідчить велика кількість браку (відповідно 47-67% та 34-61%), пов'язаного із специфічною будовою деревини. Зокрема, під час пресування клітини деревини деформуються вздовж лінії пресування, а при наступному гнутті видовження деревини в периферійній частині проходить поперек лінії пресування і тільки частково компенсується спресованими стінками клітин. Експериментально встановлено, що при осьовому пресуванні заготовок результати істотно відрізняються. При збільшенні ступеня упресування від 15 до 25% кількість якісних заготовок зростає і становить відповідно 83-97%. Це можна пояснити тим, що при осьовому пресуванні клітини деревини деформуються вздовж лінії пресування. При наступному гнутті видовження деревини в периферійній частині проходить також вздовж лінії пресування і, в значно більшій мірі, компенсується спресованими стінками клітин. З'ясовано, що при пресуванні заготовок вздовж осі відбувається нерівномірне упресування за довжиною, тобто лише приблизно половина довжини заготовки пресується. Це імовірно є основною причиною браку. Для вирішення проблеми нерівномірного упресування при осьовому пресуванні потрібні додаткові дослідження та нові технологічні рішення.

Список посилань

1. Grytsak S.A., Grytsak S.S. Determination of the influence of pressing parameters on the bending process of beech furniture blankets / S.A. Grytsak, S.S. Grytsak // Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry. – Lviv: UNFU, 2023. – Vol.49. – P. 48-60, (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42234904>
2. Gayda S.V. Production techniques and properties of fuel pellets produced from post-consumer wood / S.V. Gayda // Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry. – Lviv: UNFU, 2012. – Vol.38. – P. 112-150. doi: <https://doi.org/10.36930/42123822>
3. Grytsak S.A., Gayda S.V. Comparative analysis of physical and mechanical characteristics of bent elements from different tree species / S.V. Gayda, S.A. Grytsak // Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry. – Lviv: UNFU, 2020. – Vol.46. – P. 16-27, (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42204602>
4. Gayda S.V. Techniques for recycled of post-consumer wood in the production of quality particleboard / S.V. Gayda // Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry. – Lviv: UNFU, 2014. – Vol.40. – P. 41-51. doi: <https://doi.org/10.36930/42144010>
5. Gayda S.V., Kiyko O.A. Determining the regime parameters for the surface cleaning of post-consumer wood by a needle milling tool. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2020. – Vol.5(1(107)). – P. 89-97, (in Ukr.). doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.212484>
6. Gayda S.V., Study of the influence of breed and grinding modes on the specific productivity of grinding skin / S.V. Gayda, I.V. Petrishak, G.V. Somar // Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry. – Lviv: UNFU, 2020. – Vol.46. – P. 5-15, (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42204601>

7. Gayda S.V. A investigation and analysis of characteristics of solid furniture boards made of post-consumer wood / S.V. Gayda // Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry. – Lviv: UNFU, 2018. – Vol.44. – P. 15-25, (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42184402>

8. Gayda, S.V. The investigation of physical and mechanical properties of wood particleboards made from post-consumer wood / S.V. Gayda // Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry. – Lviv: UNFU, 2011. – Vol.37(2). – P. 95-110. doi: <https://doi.org/10.36930/421137221>

9. Gayda, S. V. Recycled of post-consumer wood is for the production of particleboard in Ukraine/ S.V. Gayda // Proceedings of the XXI International symposium Adhesives in Woodworking Industry (Slovakia, Zvolen June 29 – July 01. 2011). TU Zvolen. – P. 108-121.

УДК 691.075.5

Мазурчук С.М., канд. техн. наук, доцент
Касянчук І.О., аспірант

Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ
ivankasianhuk@ukr.net

ВПЛИВ МІНЕРАЛЬНИХ РЕЧОВИН ПОКРИТТЯ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАХИСТУ ДЕРЕВИНИ ВІД ДІЇ ПОЛУМ'Я МАГНІЮ

Основним продуктом для виготовлення теплоізоляції з деревини є тирса, яка має ряд позитивних властивостей, таких як низька ціна, довговічність, екологічність. Окрім того, подрібнена деревина здатна вбирати в себе конденсат, якщо повітря стає занадто вологим, і випаровувати його в протилежній ситуації. Але вона має і негативні властивості, зокрема, схильність до гниття, яке може виникнути через зволоження або неефективну вентиляцію та ін. [1, 2]. Застосування в'язучих на основі синтетичних смол при формуванні теплоізоляційних виробів з тирси деревини підвищує екологічну безпечність, атмосферостійкість виробів, оскільки такі смоли характеризуються стійкістю до води та перепаду температур [3, 4].

Для встановлення доцільності виготовлення теплоізоляційних виробів з деревини були виготовлені зразки рис. 1.



Рис. 1 – Зразки виробів для досліджень

Слід зазначити, що присутність у дереві полімерного матеріалу синтетичної смоли призводить до утворення з тирсою деревини еластичного шару стійкого до механічних

коливань. Вочевидь такий механізм впливу еластичної компоненти є тим фактором регулювання процесу утворення композиційного шару, завдяки якому теплоізоляційна стійкість зберігається.

На рис. 2 та в табл. 1 показано результати випробувань необробленого зразка та покриттів деревини з додаванням алюмосилікатних мікросфер, перліту, базальтової чешуї, шламу та золи.



Рис. 2 – Дослідження на міцність теплоізоляційних виробів з деревини

Таблиця 1 – Межа міцності зразків виробу з дерево полімерного матеріалу на стиск

Зразок	Маса m_0 , г	Розміри, мм			Навантаження P_{max} , Н	σ , МПа	Деформація мм
		b	h	d			
1	12,82	48,00	65,00	20,00	1139,81	2,3	6,60
2	15,12	585,15	25,30	20,05	1324,40	3,2	7,20
3	14,14	25,65	23,40	18,20	1184,40	2,0	6,70

Таким чином, у результаті проведених випробувань встановлено, що межа міцності дерево полімерного матеріалу коливається у широких межах від 2,0 МПа до 3,2 МПа. Відмічено різницю у значеннях деформації для досліджуваних зразків дерево полімерного матеріалу у межах 2 мм.

Список посилань

1. Lugovoi, P., Shugailo, O.-I., Orlenko, V., Diemienkov, V. (2020). Oscillation of ThermalInsulation Three-Layer Cylindrical Pipesunder Operating Loads. Nuclear and Radiation Safety. (3-87), p. 55–61. [https://doi.org/10.32918/nrs.2020.3\(87\).07](https://doi.org/10.32918/nrs.2020.3(87).07)
2. Jiang, D., Wang, Y., Li, B., Sun, C., Guo, Z. (2020). Environmentally friendly alternative to polyester polyol by corn straw on preparation of rigid polyurethane composite. Composites Communications, 17, 109–114. <https://doi.org/10.1016/j.coco.2019.11.007>
3. Tsapko, Y., Likhnyovskyi, R., Buislykh, N., Horbachova, O., Mazurchuk, S., Lastivka, O., Tsapko, A., Sokolenko, K., Matviichuk, A. (2023). Determining patterns in the formation of a polymer shell by powder paint on wood surface. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 1.10.121, 37–45. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.273364>
4. Tsapko, Y., Kasianchuk, I., Likhnyovskyi, R., Tsapko, A., Kovalenko, V., Nizhnyk, V., Bedratyuk, O., Sukhanevych, M. Determining thermal and physical characteristics of wood polymer material for pipeline thermal insulation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2023, 5 (10 (125)), 63–72. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.289341>

УДК 674.815:631.572

Козак Р.О., докт. техн. наук, професор
Копанський М.О., канд. техн. наук, доцент
Ортинська Г.Є., канд. техн. наук, доцент
Кусняк І.І., канд. техн. наук

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, kozak_r@nltu.edu.ua

ВОДОПОГЛИНАННЯ ТА РОЗБУХАННЯ ЗА ТОВЩИНОЮ СТРУЖКОВИХ ПЛИТ ІЗ ВМІСТОМ СТРУЖКИ З СУХОСТІЙНОЇ ДЕРЕВИНИ

Більшість країн світу вже сьогодні відчувають нестачу лісів, особливо деревини промислового значення. Суттєвим резервом деревини, придатної для використання у промисловості, може бути деревина із сухостійних дерев (надалі – сухостійна деревина), що виявляється в лісових насадженнях всіх вікових груп і типів лісу, запас якої щорічно збільшується у результаті зміни еколого-кліматичних і гідрологічних факторів. За деякими даними [1], мертва деревина складає до 25 % загального об'єму деревини в умовному центральноєвропейському пралісі. Використання такої сухостійної деревини на даний час є обмеженим. У більшості випадків деревину із сухостійних дерев використовують у якості палива. Горячевим Н.Л. визначено, що за глибокого ступеня мікологічного руйнування показники фізико-механічних властивостей деревини настільки погіршуються, що вона стає непридатною для використання у якості конструкційного матеріалу, проте надмолекулярна структура і хімічний склад дозволяє використовувати її як активний наповнювач під час виготовлення деревинних композиційних матеріалів [2] і зокрема стружкових плит (СП). Зниження фізико-механічних властивостей та зміни хімічної будови сухостійної деревини вказує на доцільність проведення досліджень щодо встановлення властивостей СП із вмістом стружки з сухостійної деревини.

Водопоглинання та розбухання за товщиною відносяться до важливих фізичних властивостей СП, які, зокрема, залежать від щільності плит і виду застосовуваної сировини [3]. Тому визначення водопоглинання та розбухання за товщиною СП із вмістом стружки з сухостійної деревини є актуальним.

Для досліджень використовувалася стружка з сухостійної деревини та з деревини без ознак всихання заводського виробництва з хвойних (75%) та листяних (25%) порід. Стружка додатково висушувалася в сушильній шафі за температури 85°C до приблизно 3% вологи. Застосовували карбамідоформальдегідний (КФ) клей з КФ смоли марки А (густина 1,28 г/см³, масова частка сухого залишку 66%, рН = 7,8, час желатинізації 50 с), парафінової емульсії, карбаміду, сульфату амонію. Сульфат амонію 33% водний розчин використовувався як затверджувач і змішувався зі смолою перед розпиленням на деревинну стружку. Карбамід 43% водний розчин і парафінову емульсію змішували зі смолою. СП виготовляли розміром 290×290 мм і товщиною 16 мм із розрахунковою щільністю 650 кг/м³. Плити містили стружку без ознак всихання та з вмістом сухостійної деревини 25, 50, 75, 100%. Стружку з сухостійної деревини додавали у зовнішні та середній шар плити. Масова частка зовнішніх шарів становила 33%, середнього – 67%. Витрата абсолютно сухої КФ смоли становила 14 мас.% і 9 мас.% від маси абсолютно сухої стружки для зовнішнього та основного шарів відповідно. До смоли додавали 2,3% і 0,5% розчину сечовини і 0,2% і 0,6% сульфату амонію в перерахунку на масу сухої стружки для зовнішнього і внутрішнього шарів відповідно. Парафінову емульсію 0,8% в розрахунку на масу сухої стружки також було включено в суміш смоли. Плити пресували за тиску 2,5МПа, температури 190°C та часу пресування 0,37 хв/мм. Впродовж останніх 30 с циклу пресування тиск безперервно знижували до 0 МПа.

Після тижневого кондиціонування готові плити були випробувані на щільність (EN 323) [4], водопоглинання і розбухання за товщиною (EN 317) [5].

У табл. 1 представлені середні значення щільності, водопоглинання і розбухання за товщиною через 2 і 24 години для плит, виготовлених з різним вмістом стружки з сухостійної деревини. Вологість плит була в межах 6%.

Таблиця 1 – Фізичні властивості СП з різним вмістом стружки з сухостійної деревини

Властивості	Вміст стружки з сухостійної деревини, %				
	0	25	50	75	100
Щільність, кг/м ³	630,5±32,1	657,7±28,6	639,3±27,4	615,7±70,5	649,3±28,6
Водопоглинання, %					
2 год	29,01±8,61	32,59±10,19	37,57±13,31	35,68±6,27	38,96±9,00
24 год	90,24±10,05	90,33±7,68	97,85±8,20	92,18±10,88	99,76±13,31
Розбухання за товщиною, %					
2 год	11,03±3,55	12,49±4,36	16,14±5,30	13,76±4,27	16,17±4,20
24 год	42,01±6,98	45,08±7,20	48,55±8,36	41,36±13,00	50,82±7,32

Відхилення середніх значень щільності плит від заданої щільності 650 кг/м³ викликані впливом втрат матеріалу під час формування килима, нерівномірним укладанням стружки по площі килима через ручне формування. Однак ці відхилення становили 1,2-5,3%, були лише незначно значущими і не вплинули суттєво на результати оцінки властивостей.

Згідно даних табл. 1 заміна стружки з деревини без ознак всихання на стружку з сухостійної деревини призводить до збільшення водопоглинання. Найвище водопоглинання після 2 годин (38,96%) і 24 годин (99,76%) замочування у воді спостерігалось у плит, виготовлених із 100% стружки з сухостійної деревини. Крім того, більше третини всієї води, поглиненої зразками, поглинається впродовж перших 2 годин. Подібна тенденція спостерігається і для розбухання за товщиною. Наявність стружки з сухостійної деревини в плитах негативно впливає на показники її розбухання за товщиною. Зразки з додаванням стружки з сухостійної деревини розбухають більше, ніж зразки, виготовлені зі стружки з деревини без ознак всихання.

Зростання показників водопоглинання і набрякання у воді плит з вмістом сухостійної деревини спричинене, на нашу думку, тим, що в стружки з сухостійної деревини через деструктивні зміни її будови, наявна велика кількість тріщин, які утворюються під час подрібнення. Вода проникає через тріщини в структуру плити, руйнує клейові з'єднання, спричиняє розбухання не тільки поверхневої, але і внутрішньої стружки, заповнює додаткові порожнини, які утворюються внаслідок руйнівних процесів.

Це попереднє дослідження підтвердило можливість виробництва СП з використанням стружки з сухостійної деревини. Однак отримані результати свідчать про те, що заміна звичайної стружки з деревини без ознак всихання стружкою з сухостійної деревини призводить до погіршення основних фізичних властивостей плит із застосуванням КФ клею. СП зі стружки з сухостійної деревини вбирають більше води і більше розбухають за товщиною. Для усунення цих недоліків необхідні подальші дослідження.

Список посилань

1. Екологія- Право- Людина. Мертва деревина. Навіщо вона потрібна лісу?: [електронний ресурс]. Режим доступу: <http://epl.org.ua/about-us-posts/mertva-derevyna-navishho-vona-potribna-lisu/>.
2. Горячев Н.Л. Микологически разрушенная древесина как сырье для композиционных пластиков и декоративных изделий : дис. ... канд. техн. наук : 05.21.05. Мытищи, 2015. 151 с.
3. Бехта П.А. Технологія деревинних плит і пластиків : підручник. Київ : Основа, 2004. 780 с.
4. EN 323. Wood-Based Panels. Determination of Density; European Committee for Standardization: Brussels, Belgium, 1993.
5. EN 317. Particleboards and Fibreboards. Determination of Swelling in Thickness after Immersion in Water; European Committee for Standardization: Brussels, Belgium, 1993.

УДК 72.025.4

Д'яконов В.І., канд. техн. наук, доцент

Державний біотехнологічний університет, м. Харків, v.i.diakonov@gmail.com

ЕФЕКТИВНИЙ ЗАХИСТ ДЕРЕВ'ЯНОГО БУДИНКУ ВІД ЖУКІВ-ТОЧИЛЬНИКІВ ПІД ЧАС РЕСТАВРАЦІЇ

Відновлення дерев'яних елементів старовинних будинків – складний технологічний процес, так як деревина являється джерелом життєдіяльності для цілого ряду небезпечних комах. Зокрема зараз ми говоримо про жуків-точильників, які можуть мати несприятливий вплив на здоров'я людей та руйнування житла. За рівнем небезпеки для житлових приміщень ці комахи займають друге місце після пожеж. Обробка дерева за допомогою хімічних препаратів ефективна тільки при неглибокому зараженні. Навіть якщо нанести дуже агресивну отруту на поверхню деревини – вона не може дуже довго впливати на деревоточців у деревній масі. За допомогою підручних засобів ефективно знешкодити цих шкідників фізично просто неможливо. Що вже говорити про їх ефективне остаточне виведення. Оптимальними умовами для розвитку личинок є температура від 15 °С до 25 °С, вологість деревини від 30 % до 60 %.

Личинки жуків-точильників не харчуються деревиною, вони її перемелюють для отримання вологи, яка є особливо необхідною для них. Саме волога є основним поживним продуктом для їх зростання. Та й вони більше ніж на 90% складаються з води. Личинки жуків-точильників досить стійкі до зневоднення з високим тепловим опором. Володіють великою вологопоглинальною здатністю, високим тепловим опором, що перешкоджає ефективному нагріву при зовнішньому впливі, але виявляються абсолютно беззахисними перед навіть невеликим внутрішнім виділенням тепла. Наші дослідження показують, що одним із найкращих методів боротьби із деревоточними шкідниками вважається надвисокочастотне (НВЧ) випромінювання. Електромагнітне поле надвисокої частоти проникає в глибокі шари деревини, і волога, яка міститься в достатній кількості всередині і має високу реактивну складову діелектричної проникності, поглинає електромагнітну енергію і перетворює її в теплову, що створює умови знезараження [1, 2, 3]. Дослідження впливу надвисокочастотного (НВЧ) випромінювання на жуків-точильників на всіх стадіях розвитку, включаючи яйця, личинки та дорослих особин, за визначених параметрів температури, часу та інтенсивності випромінювань, дозволяє продовжити життя деревини [3].

Таким чином, продовження вивчення впливу електромагнітних випромінювань під час відновлення дерев'яних елементів старовинних будинків дозволяє значно розширити спектр застосування методів поліпшення за рахунок фізичних, а не хімічних методів впливу. Використання мікрохвильової енергії порівняно з традиційними способами є вигідним в економічному та екологічному аспектах, тому узагальнений і систематизований матеріал буде корисний під час реставраційних робіт.

Список посилань

1. Ющенко Н.Ф. Використання електромагнітних випромінювань для обробки сировини хлібобулочних виробів/ Н.Ф. // «Новітні технології сучасного суспільства» (НТСС-2021) II Міжнародна науково-практична конференція (м. Чернігів, 17 грудня 2021 р.): збірник тез доповідей. – Чернігів: НУ «Чернігівська політехніка» 2021. – с. 293.

2. Yau-Hoong Kuan. Radiation processing of food proteins - a review on the recent developments/ Rajeev Bhat, Ankit Patras, Alias A. Karim.- Trends in Food Science & Technology, Volume 30, Issue 2, April 2013, Pages 105-120.

3. Д'яконов В.І., Моделювання процесів біоушкоджень паливних брикетів/ Д'яконов О.В., Д

УДК 615.462 : 537.531

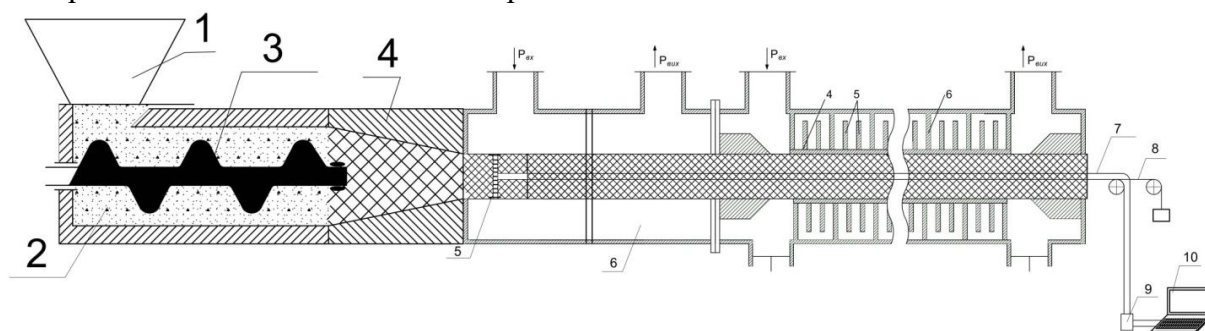
к
о
н
о
в

Д'яконов В.І., канд. техн. наук, доцент
Державний біотехнологічний університет, м. Харків, v.i.diakonov@gmail.com

ДЕЯКІ ПРОБЛЕМИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПАЛИВНИХ БРИКЕТІВ З РОСЛИННИХ ВІДХОДІВ В МІКРОХВИЛЬОВОМУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОМУ ПОЛІ

Відображено один з варіантів вирішення технічної проблеми, пов'язаної зі складністю вимірювання температури в об'ємі дослідного зразка, що обробляється в середовищі потужного мікрохвильового електромагнітного поля.

На якість паливних брикетів із рослинної сировини впливає рівномірність нагріву по всьому об'єму матеріалу [1, 2, 3]. Для реєстрації даних по температурі нами розроблена контрольно-вимірювальна система (рис. 1). За планом експериментальних досліджень температура в об'ємі зразка вимірювалась в декількох точках за різними векторами. Одним з найбільш складних моментів у питаннях вимірювання температури в умовах потужного НВЧ поля є те, що традиційні засоби (датчики) контролю, а саме термопари та термометри опору використовувати доволі складно, для перших необхідне якісне екранування від впливу випромінювання, для других проблематичними є їх габаритні характеристики і також необхідне екранування вимірювальної лінії. Проблему створення багатоканальної системи моніторингу температури нам вдалось вирішити використанням сучасної елементної бази: цифрових датчиків температури. Загальний вигляд контрольно-вимірювальної системи показано на рис 1.



– бункер, 2 – брикетна суміш, 3 – шнек, 4 – формуюча головка, 5 – вимірювальна скоба НВЧ пристрою, 6 – камера термообробки НВЧ пристрою, 7, 9 – кабель вимірювально-реєстраційного комплексу, 8 – натяжна станція, 10 – комп'ютер

Рис. 1 – Контрольно-вимірювальна система розподілу температури в матеріалі паливного брикету із рослинної сировини

Для створення новітніх ресурсо- та енергозберігаючих, екологічно безпечних технологій застосування мікрохвильового випромінювання (МХВ) є одним з перспективних напрямів розвитку науки і техніки. Нагрівання МХВ відрізняється високою швидкістю і великою ефективністю. Проведення досліджень, пов'язаних з визначенням аспектів впливу МХВ на перебіг процесів в рослинних відходах, є важливим і актуальним напрямом інтенсифікації цих процесів, як на лабораторному рівні, так і в промисловому масштабі.

Список посилань

1. Пат. 104089 Україна, МПК C10L Пат. 5/44. Паливний брикет / Д'яконов О.В., Д'яконов В.І., Полянський О.С., Хворост М.В., Білим П.А. Заявник і патентовласник Харківський нац. ун-т міського господарства імені О.М. Бекетова, – №201506879; заявл. 10.07.2015; опубл. 12.01.2016, Бюл. № 1. с. 2.
2. Пат. 132620 Україна, МПК B27L 11/00. Гнучка технологічна лінія виготовлення паливних брикетів із рослинних відходів з адаптером температури / Д'яконов О. В., Д'яконов В. І., Полянський О.С., Грязнова С.А., Домбровська А.В.; Заявник і патентовласник Харківський нац. ун-

т міського господарства імені О.М. Бекетова, – №201807056; заявл. 23.06.2018; опубл. 11.03.2019, Бюл. № 5. с.9.

УДК 684.4: 674.5

Каранда В.Г., аспірант
Єрошенко А.М., канд. техн. наук, доцент
Національний університет «Чернігівська політехніка», yeroshenkoam@stu.cn.ua

АНАЛІЗ ЧАСОВИХ ЗВ'ЯЗКІВ ДЕРЕВООБРОБНИХ ТА МЕБЛЕВИХ ВИРОБНИЦТВ

Деревообробне та меблеве виробництво є вагомим компонентом економіки України. Ці галузі не тільки сприяють забезпеченню внутрішніх потреб у меблях та виробих з деревини, але й відіграють значну роль в експорті.

Успішне функціонування деревообробних та меблевих підприємств багато в чому залежить від максимальної інтенсифікації виробництва. У виробничому процесі діють п'ять видів зв'язків: розмірні, часові, інформаційні, економічні та зв'язки властивостей матеріалів [1]. Інтенсивний розвиток виробництва потребує оптимізації технологічних і виробничого процесів, етапами якої є оптимізація всіх зв'язків виробництва.

Оптимізація часових зв'язків може бути здійснена шляхом створення і використання нормативної бази часового аналізу, що ґрунтується на основних положеннях стандартів ДСТУ EN ISO 9001:2018 [2]. Однак, сучасна нормативна документація встановлює порядок розрахунків часових зв'язків технологічного процесу без врахування їх імовірнісного характеру, що унеможливує адекватність результатів.

Оскільки вони є тісно пов'язаними, важливо розуміти часові зв'язки, що діють під час перебігу технологічних процесів для ефективного планування та оптимізації виробничих процесів. У цій доповіді розглянемо основні аспекти часових зв'язків деревообробних та меблевих виробництв, аналізуючи їх взаємозалежності, виклики та стратегії оптимізації.

Деревообробне виробництво включає в себе переробку деревини в напівфабрикати, такі як дошки, панелі, бруски, що є основою для подальшого виготовлення меблевих виробів. Якість і характеристики цих напівфабрикатів безпосередньо впливають на виробничий процес меблевої промисловості, а також на кінцеву якість продукції. Таким чином, часові зв'язки між поставками сировини та її переробкою є критичними для синхронізації виробничих циклів.

Логістичні процеси відіграють вирішальну роль у формуванні часових зв'язків між деревообробним і меблевим виробництвами. Важливість забезпечення своєчасності поставок деревини та напівфабрикатів не може бути недооцінена, оскільки затримки можуть призвести до простоїв у роботі меблевих виробництв. Оптимізація логістичних потоків, таких як керування запасами і вибір постачальників, є ключовим аспектом управління часовими зв'язками.

Продуктивність на кожному етапі виробництва безпосередньо впливає на загальний час виробництва. Так, підвищення ефективності обладнання, використання сучасних технологій обробки деревини і підвищення кваліфікації працівників можуть значно скоротити час переробки деревини та виготовлення меблів. Наприклад, застосування автоматизованих систем управління виробництвом дозволяє знизити часові затрати та забезпечити більшу узгодженість у роботі різних ділянок.

Один із основних викликів, що стоїть перед деревообробними та меблевими виробництвами, полягає у нестабільності поставок сировини, що може бути викликано як природними факторами (наприклад, погодними умовами), так і економічними (зміни у цінах на ринку, політичні чинники). Стратегії, які можуть бути використані для мінімізації

цих викликів, включають диверсифікацію постачальників, створення стратегічних запасів сировини та покращення прогнозування попиту.

Методики оптимізації часових зв'язків деревообробних та меблевих виробництв виглядає перспективно завдяки інтеграції цифрових технологій, таких як штучний інтелект (AI), які можуть значно покращити синхронізацію виробничих процесів. Використання розширених аналітичних інструментів для аналізу даних про виробництво дозволить прогнозувати можливі збої в поставках та оптимізувати виробничі цикли, забезпечуючи більш ефективне використання ресурсів.

Аналіз часових зв'язків деревообробних та меблевих виробництв виявляє важливість ретельного планування та координації на кожному етапі виробничого ланцюга. З розвитком технологій і збільшенням глобальної конкуренції, ефективне управління цими зв'язками стає ключовим чинником успіху в деревообробній та меблевій промисловості.

Список посилань

1. Бойко, С. В. Підготовка виробництва меблевих фасадів за допомогою сучасних САМ-систем / С. В. Бойко, А. М. Єрошенко, П. Л. Ігнатенко // Технічні науки та технології. – 2018. – № 1 (11). – С. 159-167.
2. Єрошенко А.М. Особливості сертифікації продукції деревооброблювального виробництва / А.М. Єрошенко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету: Серія: Технічні науки - Чернігів: ЧНТУ, 2011. – №4 (53). – С. 257-261.

УДК 674.09; 674.03

Буйських Н.В., канд. техн. наук, ст. викладач

Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, nataby@meta.ua

Марченко Н.В., канд. техн. наук, доцент

Технічний комітет стандартизації (ТК) 18 «Лісові ресурси», nv_marchenko@ukr.net

АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ ТЕРМІНОЛОГІЇ В ЛІСОВІЙ І ДЕРЕВООБРОБНІЙ ПРОМИСЛОВOSTІ

Професійна комунікація потребує глибокого розуміння змісту і сутності використовуваних термінів, точності й коректності використання спеціальної фахової термінології. Терміни повинні вживатися лише в одній, зафіксованій формі, з одним значенням. Враховуючи, що Україна з 23.06.2022 р. набула статусу країни-кандидата на членство в ЄС та з січня 2023 року отримала статус афілійованого члена CEN/CENELEC, у зв'язку з чим, 28 грудня 2022 року в Україні прийнято методом погодження понад 20 000 європейських нормативних документів CEN/CENELEC у якості національних, впровадження яких має пришвидшити ратифікацію Угоди про доступ українських товарів до ринку ЄС (Угода АСАА), 31 грудня 2023 року набули чинності актуальні версії європейських НД, в т.ч. з термінів та визначень лісо- та пиломатеріалів і технологій їх виробництва. Базові терміни та їх визначення у лісовій і деревообробній промисловості регламентовані нововведеним ДСТУ EN 844:2022 (EN 844:2019, IDT) – Round and sawn timber – Terminology (Круглий та пиляний лісоматеріал. Термінологія). Тому, з 15 березня 2024 року було скасовано ряд конфліктних (національних стандартів, положення яких суперечать європейським) термінологічних стандартів (ДСТУ EN 844-3:2004 (EN 844-3:1995, IDT) – Лісоматеріали круглі та пиломатеріали. Терміни та визначення понять. Частина 3. Загальні поняття щодо пиломатеріалів; ДСТУ 2148-93 – Пилопродукція. Терміни та визначення; ДСТУ 3071-95 – Продукція лісозаготівельної промисловості. Терміни та визначення), що в принципі не вирішило питання суперечливості термінів та їх визначень в лісовій і деревообробній промисловості. Тим більше, що міжнародна, європейська та національна практика застосування термінів та їх визначень є різною і на даний час повністю не гармонізованою.

Слід відзначити, що розбіжності у визначенні термінів прослідковуються, як між чинними на сьогодні в Україні нормативними документами (НД), так і між нормативно-правовими актами (НПА) та НД і НПА. Такий стан призводить до непорозумінь під час купівлі-продажу продукції, імпорту-експорту операціях – між митними органами і українськими експортерами або операторами європейського ринку, а також з боку контролюючих органів, тощо. Наприклад, широко вживаний термін «деревина» (wood), визначений ДСТУ EN 844:2022 як «лігноцелюлозна речовина, розташована між серцевиною та корою дерева або чагарника», в ТУ У 16.1-00994207-004:2018 – як «лісоматеріали, деревні хлисти та ялинки новорічні», а проєкті Закону України «Про ринок деревини» – як «повалені дерева, деревні хлисти, круглі і колоті лісоматеріали, пнева і подрібнена деревина, а також відходи лісозаготівель, призначені для перероблення чи палива». В міжнародній практиці терміни «деревина» (wood) та «лісоматеріал» (timber) англійською, французькою та німецькою мовами часто використовуються як взаємозамінні для позначення основного матеріалу виробів з деревини. За ДСТУ EN 844:2022 термін «лісоматеріал» (timber) має визначення, як «деревина у вигляді стоячих на кореню або повалених дерев, або продукція з них після переробки» (не охоплює деревинні плити та деревинні тріски), за ДСТУ 3071-95 – як «деревні матеріали, одержані поділом на частини повалених дерев та деревних колод (уздовж чи впоперек) для подальшого використання чи перероблення і технологічна тріска», в Законі України «Про особливості державного регулювання діяльності суб'єктів підприємницької діяльності, пов'язаної з реалізацією та експортом лісоматеріалів» - як «деревні матеріали, які добуваються шляхом розподілу на частини звалених дерев та деревних колод (уздовж або поперек) для подальшого використання або переробки», в проєкті Закону України «Про ринок деревини» – як «деревні матеріали, які добуваються шляхом розподілу на частини звалених дерев та деревних колод (уздовж або поперек) для подальшого використання або перероблення», тощо. В деяких випадках термін «лісоматеріал» (timber) визначають як «квадратний або прямокутний пиломатеріал з мінімальними розмірами поперечного перерізу 114 мм × 114 мм (номінально 5 дюймів × 5 дюймів)», що за таким поняттям є брусом (baulk).

Також існують суперечливості щодо визначення термінів «пиломатеріал» (sawn timber), «пилопродукція» (sawn wood), «чорновий пиломатеріал» (rough sawn timber), «переробка», «обробка» (processing), «необрізний пиломатеріал» (unedged timber), «обрізний пиломатеріал» (square-edged timber), «брусок» (bar), «горбиль», «обапіл» (slab) та багатьох інших. Суперечливості спостерігаються і щодо класифікації різних видів пиломатеріалів за їх розмірами (наприклад, за ДСТУ EN 844:2022 до бруса слід відносити пиломатеріали з мінімальною товщиною 80 мм і сумою товщини та ширини не менше 200 мм, в той час коли за національними НД брус – пиломатеріал з мінімальним поперечним перерізом 100 мм), за способом обробки, за видом поперечного перетину і т.п. Суперечливості існують також в термінології щодо класифікації деревинних відходів, як за розмірами, так і за видами та походженням, тощо.

Важливою складовою якості нормативно-правових актів є дотримання єдності термінології, її несуперечливості та логічної впорядкованості, відповідно до національних термінологічних стандартів, у т.ч. гармонізованих з європейськими та міжнародними, оскільки в національне законодавство України як держави-члена Світової організації торгівлі (СОТ) імплементовані положення Угоди СОТ про технічні бар'єри в торгівлі, зокрема Кодексу добросовісної практики з розроблення, прийняття і застосування стандартів, і впроваджені міжнародні та європейські принципи стандартизації.

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

ПІДХІД ДО ВИЗНАЧЕННЯ БЕЗПЕЧНИХ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СПЕЦІАЛІЗОВАНОЇ ТЕХНІКИ

Найбільш небезпечним під час експлуатації колісної техніки є втрата стійкості. Ця проблема може бути зумовлена перевантаженням стріли-маніпулятора, низькою тримною здатністю опорної поверхні, асиметричним розміщенням навісного обладнання, значним ухилом опорної поверхні, або сукупністю даних факторів.

Для розв'язування задач даного типу пропонується використовувати принцип суперпозиції сил. Даний принцип дає змогу охопити статичні та нестационарні чинники, які виникають в процесі виконання технологічних операцій. За основу математичної моделі було взято харвестер, який виконує заготівлю деревини на похилій поверхні з природнім покриттям. Дана модель дає змогу визначити момент втрати стійкості та не має на меті подальший аналіз. Модель є універсальна та дає змогу виконувати розрахунок для любых типів техніки, що використовують робочий орган стрілу.

Метод суперпозиції сил базується на припущенні, що всі навантаження, що діють на систему діють незалежно [1].

Умовою виникнення небезпечної ситуації (перекидання) є втрата контакту з опорною поверхнею одного з коліс, тобто сила нормальних реакцій є рівною нулю (1).

$$R_n = R_n^G + R_n^A + R_n^N = 0, \quad (1)$$

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,

R_n^N – реакція від нестационарної взаємодії.

Розглянемо тривісний харвестер (рис. 1), який рухається площиною AOB , кут повороту системи координат $Ox_1y_1z_1$ площини AOB навколо осі Ox , горизонтальної системи координат $Oxyz$ – α , кут повороту системи координат харвестера $Ox_2y_2z_2$ навколо осі Oz_1 – β . Стріла маніпулятора здатна робити повний оберт навколо осі кріплення, кут повороту стріли маніпулятора γ .

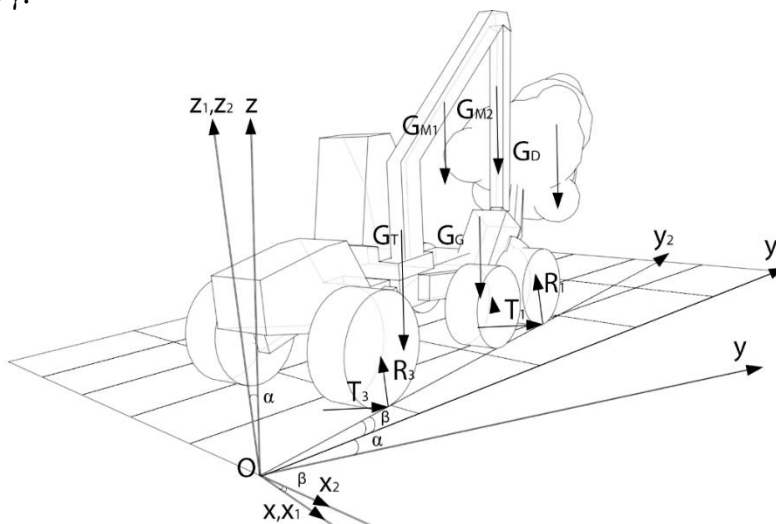


Рис. 1 – Математична модель харвестера, що виконує роботу на ухилі

Для виконання розрахунків доцільно використовувати систему трьох рівнянь статичної взаємодії [2]:

$$\begin{cases} R_1 + R_2 + R_3 = 0; \\ R_1 \cdot a - (G_D + G_G) \cdot (L_1 + L_2 + a) \cdot \cos \alpha \cos \gamma = 0; \\ (-R_3 + R_2) \cdot b / 2 - (G_D + G_G) \cdot (L_1 + L_2 + a) \cdot \cos \alpha \sin \gamma = 0. \end{cases} \quad (2)$$

де γ – 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.

Прирівнявши R_3 до нуля можна отримати рівняння для визначення граничної ваги вантажу для повороту стріли маніпулятора за годинниковою стрілкою (3). Для визначення ваги вантажу проти годинникової стрілки слід R_2 прирівняти до нуля (4):

$$G_D = \frac{ab}{-(L) \cdot \cos \alpha \cos \gamma \cdot b - (L) \cdot \cos \alpha \sin \gamma \cdot 2 \cdot a} - G_G \quad (3)$$

$$G_D = -\frac{ab}{-(L) \cdot \cos \alpha \cos \gamma \cdot b - (L) \cdot \cos \alpha \sin \gamma \cdot 2 \cdot a} + G_G \quad (4)$$

Використавши дані рівняння можна отримати діаграму залежності граничної ваги деревини, яку може обробляти харвестер від ухилу місцевості та кута повороту стріли (рис. 2).

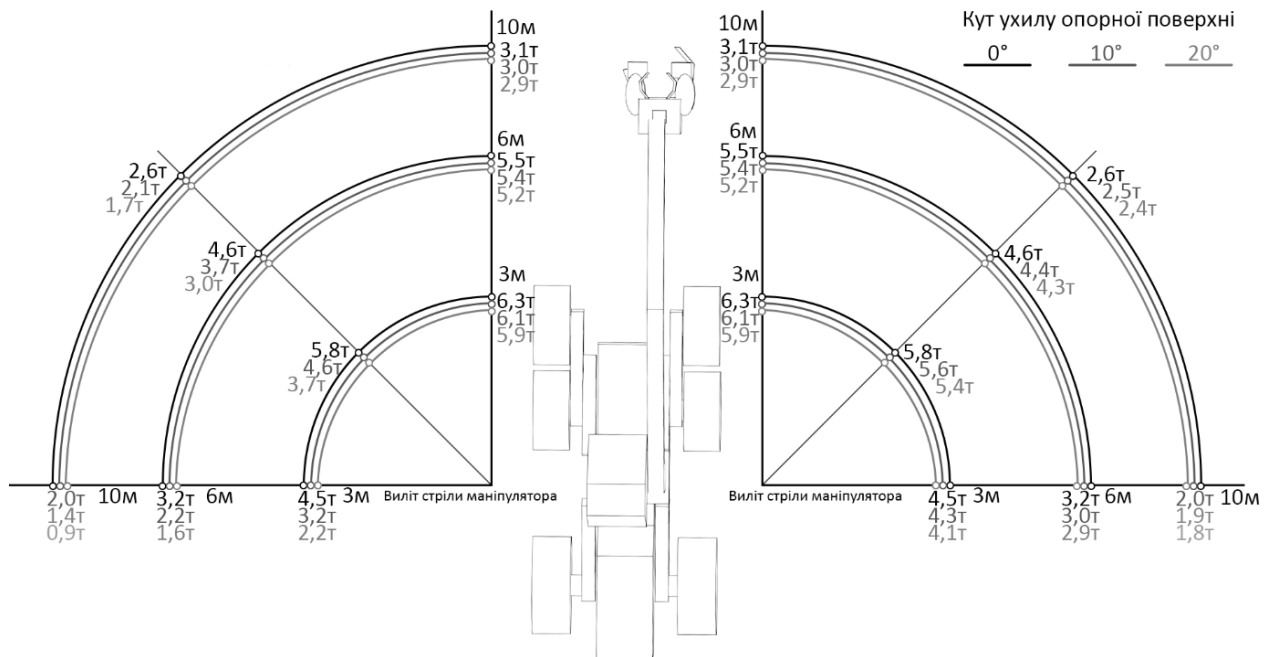


Рис. 2 – Діаграма залежності граничної ваги деревини, яку може обробляти харвестер від ухилу місцевості та кута повороту стріли

Список посилань

1. Луста Ю. Р. Метод суперпозиції сил у дослідженні безпечних умов експлуатації лісозаготівельних машин під дією асиметричних навантажень [«Сучасні технології у промисловому виробництві»], (м. Суми, 18–21 квітня 2023 р.). – С. : СДІ, 2023. – С. 232–233.
2. Мачуга О. С., Луста Ю. Р. Обґрунтування розрахункової моделі харвестера на ухили [«Карпатська школа 2024»], (21-25 лютого).

УДК 674.214

Росіцький А.Я., аспірант

Деркач Д.В., аспірант
Ференц О.Б., канд. техн. наук, доцент
Кобринович М.С., канд. фіз.-мат. наук

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, tlsdbv@nltu.edu.ua

ЩОДО РЕСУРСООЩАДНОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ПИЛОМАТЕРІАЛІВ

Визначення впливу основних технологічних параметрів лісопиляння на ефективність використання пиловної сировини завжди досліджувалось та контролювалось галузевою наукою. Поглиблювалися теоретичні основи та вдосконалювались способи розкрою, оновлювалися нормативи витрати і баланси сировини в залежності від якісного та розмірного складу лісоматеріалів круглих. Сьогодні підприємства з виготовлення товарних пиломатеріалів повністю перейшли на роботу за короткостроковими договорами (контрактами). В основі виходу продукції на першому місці виконання специфікації, якості та їх об'ємів. На величину об'ємного, якісного та специфікаційного виходу пиломатеріалів з лісоматеріалів впливає велика кількість параметрів. Зокрема, які умовно можна розділити на групи: параметрів круглих лісоматеріалів; способів розкрою і лісопильного обладнання та специфікації пилопродукції. Специфікація пилопродукції є основою виконання договору та характеризується: призначення, видом розпилювання та оброблення, розмірами та якістю пиломатеріалів, асортиментом та співвідношенням відходів тощо. Вплив способів розкрою можливо проаналізувати за рахунок використання існуючих та нових схем розкрою і комбінації лісопиляльного устаткування. Щодо впливу параметрів круглих лісоматеріалів прогнозування величин виходу є проблематичним та ускладненим. Потрібно врахувати (дослідити) розмірно-якісну характеристику сировини: діаметр, збіжність, місце вирізання сортименту з деревного стовбура, форма поперечного перетину колоди (еліпс, коло), сортоутворюючі ознаки на поверхні та всередині колоди тощо. Необхідне накопичення експериментальних даних, що дасть змогу певним чином знизити негативні впливи низки чинників на вихід та оптимізувати ресурсоощадність виготовлення пиломатеріалів.

Однак, врахувати всі вище перераховані параметри, які впливають на специфікаційний, об'ємний і якісний вихід пилопродукції та, відповідно, на величину витрат сировини у її виробництві, є досить складним завданням. Вирішення його потребує великої кількості експериментів. До того ж, велика кількість параметрів так чи інакше взаємодіють один з одним. Тому в якості змінних чинників було прийнято припущення, що при розкроюванні колод на пиломатеріали на величину витрат сировини впливають, головним чином, характеристики круглих лісоматеріалів, специфікація пилопродукції, способи розкрою та вид колодопильного обладнання.

Основними методами для визначення величини специфікаційного, об'ємного та якісного виходу пилопродукції на прикладі соснових лісоматеріалів класу якості А, В, С, D використаний розрахунково-аналітичний та експериментальний.

Орієнтовні нормативи витрати соснової пиловної сировини для виготовлення необрізних пиломатеріалів на стрічкопилкових колодопильних верстатах становлять: 1,305-1,700 м³/м³, а величини об'ємного виходу – 58,82-76,63%. Орієнтовні нормативи витрати соснової пиловної сировини для виготовлення обрізних пиломатеріалів на стрічкопилкових колодопильних верстатах становлять: 1,556-1,800 м³/м³, а величини об'ємного виходу – 55,56-64,27%. Аналогічні показники виходу потрібно розробити і для інших видів обладнання.

Висновок. Для підвищення ефективності розпилювання лісоматеріалів за рахунок збільшення виходу товарних пиломатеріалів для внутрішнього та зовнішнього ринків потрібно продовжити ґрунтовні дослідження.

УДК 674.214

Чорнобай О.О., аспірант

Ференц О.Б., канд. техн. наук, доцент
Сторожук В.М., канд. техн. наук, доцент

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, tlsdbv@nlту.edu.ua

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗКРОЮ ВІДЗЕМКОВИХ ЛИСТЯНИХ КОЛОД

В Україні з 2019 р. скасовано нормативні документи (ГОСТ) з визначення розмірно-якісних характеристик необробленої деревини хвойних та листяних порід, якими на практиці масово користувались у вітчизняній галузі. Україна гармонізувала та впровадила Європейські стандарти (EN) у якості національних щодо якості колод. Зокрема, набув чинності у якості національного стандарту ДСТУ EN 1316-1:2019 Лісоматеріали круглі листяні. Класифікація за якістю. Частина 1. Дуб та бук; (EN 1316-1:2012, IDT) [1]. За чинним ДСТУ ці лісоматеріали листяних порід поділяють на чотири класи якості – А, В, С і D.

У пиловній сировині дуба класу якості А встановлені жорсткі граничні обмеження та не допускаються більшість вад та ознак деревини. Так максимальний розмір здорового сучка допускається до 20 мм на триметровій довжині сортименту. Проте у пиловника дуба важливе місце займають групи колод, які не мають зовнішніх сучків та мають безсучкові зони у більшості відземкових лісоматеріалів (клас якості А). Ці сортименти специфічні за величинами збіжності, розмірами та формою безсучкових зон, діаметрами та довжинами. Пилопродукція, яка отримана із безсучкових зон, є високої якості та використовується для виготовлення столярних та меблевих виробів, деталей профільних для будівництва і паркету. Проте більшість виробників пилопродукції не завжди об'єктивно підходять до питань сортування лісоматеріалу, використання обладнання та вибору способу розпилювання, нормування витрати сировини, аналізу специфікаційного виходу продукції та ефективного використання безсучкової зони деревини тощо.

Авторами проведені теоретичні та експериментальні пошукові дослідження щодо використання способів розпилювання та виду обладнання для отримання із безсучкових зон колод пиломатеріалів загального призначення. Відсутність наукового підтвердження, методики розрахунків можливості використання безсучкових зон з прив'язкою до конкретних видів продукції, істотно обмежує ефективність розпилювання пиловника.

Основними методами для визначення величини об'ємного, якісного та специфікаційного виходу пилопродукції з відземкової дубової лісосировини класу якості А використаний розрахунково-аналітичний та експериментальний.

Орієнтовні нормативи витрати відземкової дубової пилової сировини для виготовлення необрізних пиломатеріалів на стрічкопилкових колодопиляльних верстатах становить: 1,236-1,396 м³/м³, а величина об'ємного виходу – 71,63-80,91%.

Орієнтовні нормативи витрати відземкової дубової пилової сировини для виготовлення обрізних пиломатеріалів на стрічкопилкових колодопиляльних верстатах становить: 1,559-1,794 м³/м³, а величина об'ємного виходу – 55,74-64,14%.

Висновок. Дослідження за тематикою наукової роботи потребують продовження для встановлення можливості підвищення ефективності розкрою відземкових дубових лісоматеріалів за рахунок збільшення виходу пиломатеріалів із безсучкових зон колод.

Список посилань

1. 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. – 11 с. – (Державний стандарт України).

УДК 684.4.053

Калина А.А., аспірант

Миськів Є.М., канд. техн. наук, ст. викладач

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, kalyna.a@nltu.lviv.ua

ОСНОВНІ НАПРЯМКИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ МЕБЛЕВИХ ВИРОБНИЦТВ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ОБЛАДНАННЯ З CNC

Присутність значної кількості світових виробників сучасного обладнання на ринку України, розширює номенклатуру верстатів, в тому числі з CNC, що доступні до застосування на вітчизняних меблевих та деревообробних виробництвах. Впровадження різноманітного обладнання з CNC у технологічні процеси актуалізує необхідність проведення ряду досліджень, спрямованих на аналіз ефективності та впливу даних кроків на ресурсоощадність існуючих та новостворених виробництв.

Зазвичай, під час розроблення заходів для підвищення ресурсоощадності технологічних процесів, основна увага приділяється зменшенню витрат сировини на виготовлення необхідної кількості продукції. Проте, у випадку використання обладнання з CNC та зважаючи на реалії сьогодення, на одному рівні з сировиною, слід розробляти заходи для ощадності, зокрема таких ресурсів, як електроенергія, витрати на підтримання температурного режиму в опалювальний період, необхідна площа виробничих та складських приміщень, кількість та кваліфікація персоналу, витрати на залучення, розробку та вдосконалення програмного забезпечення, витрати виробничого часу та ін.

Без врахування процесу личкування крайки у виробництві меблевих заготовок, великого розповсюдження набули такі технології з використанням обладнання з CNC:

-Пильний центр (прямолінійний розкрій плитних матеріалів круглою пилкою) → обробний центр з CNC або свердлильний верстат з CNC (свердління отворів, фрезерування, оброблення криволінійних ділянок заготовок);

-Обробний центр з CNC, що оснащений матричним столом - так звана технологія «Nesting» (прямолінійний та криволінійний розкрій плитних матеріалів кінцевою фрезою, свердління отворів, фрезерування окремих елементів) → верстат для свердління додаткових отворів в торцеві площини заготовки (можливе використання того ж обробного центру, але при повторному базуванні заготовок).

Технологічні параметри при виготовленні меблевих заготовок згаданими технологіями мають суттєвий вплив на витрати різних ресурсів та й на ефективність самого виробництва в цілому [1]. До таких технологічних параметрів відносяться: товщина пропилу, діаметр, частота обертання, кількість зубів інструменту, швидкість подачі, потужність обладнання, можливість автоматичної зміни інструменту, кількість та конфігурація траєкторій руху, відстань холостих переміщень, оптимізація карт розкрою [2] тощо.

Дослідження впливу технологічних параметрів на ефективність деревообробних та меблевих виробництв, індивідуальний розрахунок їх оптимальних значень, а також застосування прогресивних рішень у програмному забезпеченні є актуальними напрямками досліджень та важливими складовими на шляху підвищення ресурсоощадності та ефективності деревообробних та меблевих виробництв.

Список посилань

1. Пустюльга С.І. Удосконалення технологічного процесу розкрою плит ДСП для виробництва меблів: монографія / С.І. Пустюльга, В.С. Пуць, В.Р. Самостян. – Луцьк: ІВВ Луцького НТУ, 2020. – 124 с.

2. Стоцько З.А. Сучасні тенденції у моделюванні технологічних процесів верстатів з числовим програмним керуванням / З.А. Стоцько, Д.П. Ребот, В.Г. Топільницький // Науковий вісник НЛТУ України. – Львів: НЛТУ, 2016. – №26.4. – С. 320 – 323.

УДК 674.6

Іванина В.В., аспірант

Ференц А.О., аспірант
Копинець З.П., канд. техн. наук

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, tlsdbv@nltu.edu.ua

СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИГОТОВЛЕННЯ ПІДДОНІВ В УКРАЇНІ

На цей час важко уявити промисловість і логістику без дерев'яних піддонів. Тому виробництво дерев'яних піддонів є затребуваним на ринку завдяки можливості їхнього багаторазового використання. Україна є великим виробником дерев'яних піддонів. Багато підприємств в Україні, які виготовляють дерев'яні піддони постачають їх як на внутрішній ринок, так і за кордон. До війни українські підприємства експортували до Європи близько 15 мільйонів дерев'яних піддонів на рік [1].

З кожним роком на світовому ринку зростає потреба у піддонах, а відповідно і обсяги їхнього виробництва [2]. В Україні до широкомасштабного вторгнення російської федерації спостерігалася тенденція до зростання обсягів виробництва дерев'яних піддонів (рис.1). Через війну в Україні навесні і влітку 2022 року Європа стикнулася з дефіцитом піддонів, а відповідно зростанням цін на них. Попри війну деревообробна галузь змогла відновити роботу і вже восени 2022 року українські дерев'яні піддони практично відновили свої позиції на ринку Європи [1].

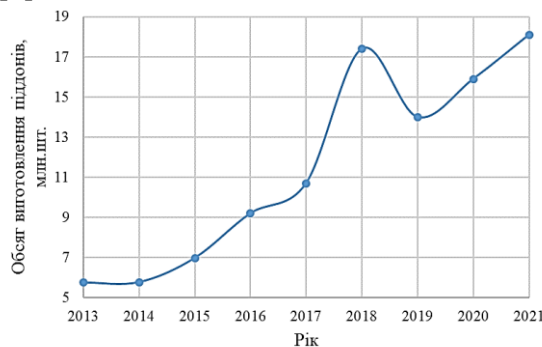


Рис. 1 – Динаміка виробництва піддонів плоских та обичайок з деревини в Україні (за даними [3])

Виробництво дерев'яних піддонів є перспективним напрямком в діяльності деревообробної галузі України. Однак, на сьогоднішній день ще не повністю розв'язані питання щодо нормування пиловної сировини у виробництві дерев'яних піддонів [4]. Тому, є потреба в дослідженні технологічних процесів виготовлення дерев'яних піддонів для розроблення шляхів підвищення ресурсоощадності цього процесу, що особливо актуально в умовах дефіциту деревинної сировини та енергоносіїв. Результати цих досліджень матимуть важливе значення як для окремих підприємств, так і для економіки країни в цілому.

Список посилань

1. Вплив війни в Україні на ринок піддонів ЄС. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://logistics-ukraine.com/2022/11/20/>
2. У 2022 році знову досягнуто рекордного виробництва європіддонів EPAL. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.epal-pallets.org/eu-uk/news/novini/detali/article/u-2022-roci-znovu-dosjagnuto-rekordnogo-virobnictva-jevropiddoniv-epal>
3. Сайт Державної служби статистики України. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ukrstat.gov.ua/>
4. Маєвський В.О. Дослідження впливу розмірно-якісних показників пиловника на вихід заготовок для піддонів / В.О. Маєвський, О.Б. Ференц, З.П. Копинець, В.М. Сторожук // Лісівництво, деревообробка та озеленення: стан, досягнення і перспективи. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (ДБТУ, 24-25 жовтня 2023 р.). – Харків, 2023. – С. 148-149.

УДК 674.093.26

Горбачова О.Ю., канд. техн. наук, доцент
Мазурчук С.М., канд. техн. наук, доцент
Ісаєв А.М., здобувач вищої освіти

ПОШУК ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ВОЛОГОСТІЙКОСТІ ФАНЕРИ

Не дивно, що ХХІ століття називають століттям композиційних матеріалів. Саме композити придуть на зміну традиційним природним матеріалам, і станеться це навіть не стільки внаслідок виснаження і підвищення ціни на натуральні матеріали, скільки внаслідок унікального комплексу властивостей композиту, який не тільки відображає особливості компонентів, але і включає характеристики, якими компоненти окремо не володіють. Одним з найбільш поширених в даний час деревних композиційних матеріалів є фанера. Вона знайшла застосування практично у всіх сферах життєдіяльності людини: будівництві, авіації, електротехніці, суднобудуванні, машинобудуванні тощо. Проте через чутливість до впливу вологісних факторів середовища є певні обмеження. Тому проведено попередній експеримент щодо оцінювання механізмів проникнення води в структуру матеріалу (рис. 1).

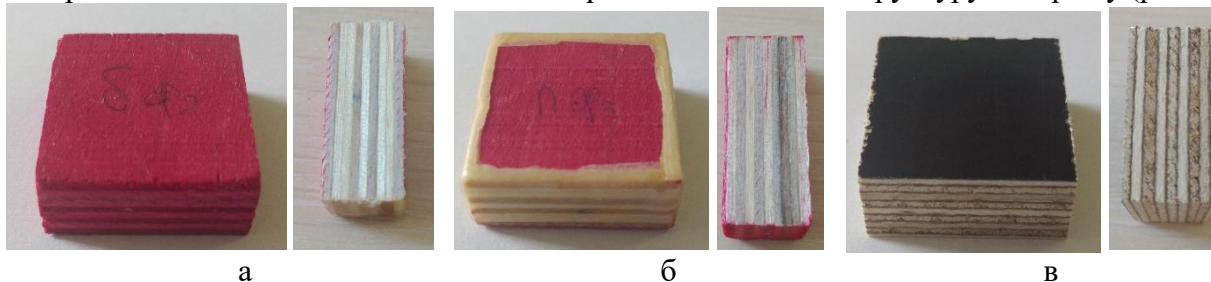


Рис. 1 – Ефект просочування: а – звичайна фанера, б – звичайна фанера із захищеними краями, в – бакелітова фанера із захищеними краями

Аналізуючи результати зважування підтверджено, що найбільш стійкою до дії вологі все таки є бакелітова фанера – збільшення маси на 3,95 %. Захист країв також має позитивний вплив на зменшення показника вологопоглинання (6,44 %) у порівнянні із звичайною фанерою (24,33 %). Щодо характеру проникнення за товщиною матеріалу, то клейовий шар слугує захисним бар'єром. Тобто доцільно модифікувати шпон, який призначений для використання як зовнішні шари.

Дієвим процесом в даному напрямі можна вважати просочування смолами. Багато досліджень проведено із застосуванням фенолформальдегідних, уретанових та тиуретанових смол у поєднанні із фурфуролом. Також для зниження сорбції можна рекомендувати домішки у вигляді кислот, латекс, графітове борошно (як модифікуючий наповнювач), хімічне модифікування. Одним із способів зниження вологостійкості фанери є термічний вплив [1]. Вивчення даного процесу сьогодні є актуальним і мало дослідженим. Тому встановлення залежності між режимними параметрами термомодифікування та змінами клітинної будови деревного матеріалу і пов'язане зниження вологопоглинання є метою наступних досліджень.

Список посилань

1. Mazurchuk, S. Justification of the manufacturing plywood technology on dry glues/ Mazurchuk, S., Tsapko, Y., Horbachova, O., Tsapko, A. // Key Engineering Materials. – 2023. – Vol. 953. – pp. 33 – 41

УДК 684.59. 667.64

Яремчук Л.А., докт. техн. наук, професор,
Стримецький Т.К., аспірант

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, larysa.yaremchuk@gmail.com

ВИЗНАЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАХИСНО-ДЕКОРАТИВНИХ ПОКРИТТІВ НАСТИЛІВ ПІДЛОГИ

Вибір лакофарбових матеріалів для покриття настилів підлоги залежить від багатьох факторів. По-перше, це порода деревини, з якої виготовлено паркет, по-друге, це характеристика покриття, а саме зовнішній вид та прозорість. Але основною вимогою до всіх лакофарбових матеріалів для покриття настилів підлоги є твердість, стійкість до механічних пошкоджень та стійкість до вологи.

Метою роботи є порівняльний аналіз якісних показників поліуретанових та олійних лаків для опорядження настилів підлоги.

Експлуатаційні властивості покриттів залежать від ряду характеристик та властивостей лакофарбових матеріалів (ЛФМ). Серед найбільш важливих - плівкоутворювач на основі якого створений лакофарбовий матеріал, витрата матеріалу на одиницю площі, утворена товщина експлуатаційної плівки, час переходу покриття у твердий стан, в також супутні характеристики, які залежать від вище наведених властивостей: твердість, еластичність, стійкість до вологи, температури, стійкість на стирання, адгезія та інші.

Відомо, що ряд фізико-механічних показників залежать від товщини плівки захисного-декоративного покриття. Тому при виборі ЛФМ для створення покриттів підлоги, важливо визначити товщину покриття створеного різними ЛФМ. Товщину визначали згідно ДСТУ ISO 2808:2019 «Фарби та лаки. Визначення товщини плівки».

В роботі визначена товщина покриття створеного олійним і поліуретановим матеріалом, при однаковій витраті ЛФМ. Дані результатів досліджень представлені на рис. 1.

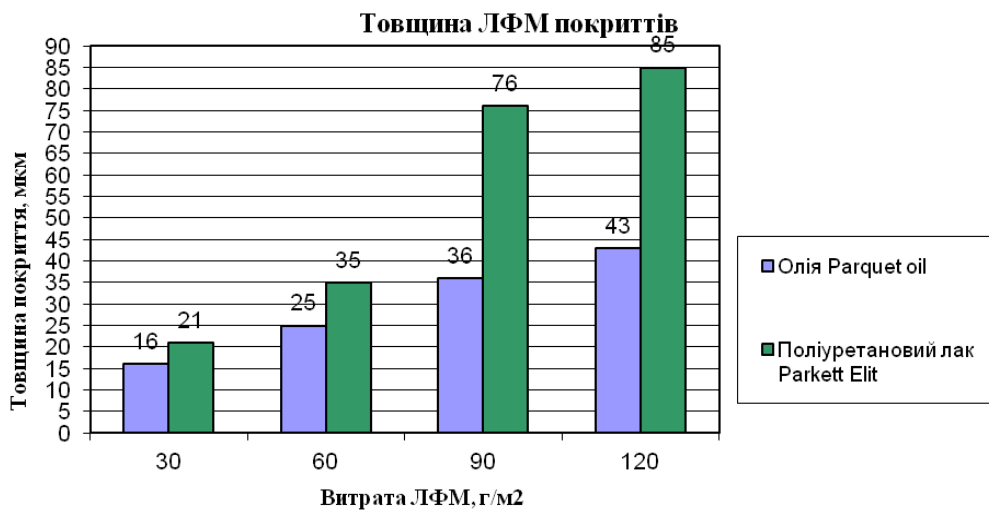


Рис. 1 – Діаграма значень товщини ЛФМ покриттів

Результати дослідження показали, що поліуретанові ЛФМ утворюють товщину плівки вищу у порівнянні з олійними і термін висихання їх коротший удвічі.

Ряд показників, які забезпечують довговічність покриттів залежить від адгезії плівки до деревної підкладки. Тому важливо було визначити адгезійну міцність олійного і поліуретанового опоряджувальних матеріалів до дубової ламелі для настилу підлоги.

Визначення адгезії до покриттів проводилося методом решітчастих надрізів) згідно методики за ДСТУ ISO 2409:2019 «Фарби та лаки. Визначення адгезії методом решітчастих надрізів».

Дані результатів досліджень занесені в таблицю 1.

Таблиця 1 – Визначення адгезії покриттів до підкладки

Товщина покриття, мкм (олія Parquet oil)	Витрата ЛФМ, г/м ²	Адгезія, бал	Товщина покриття, мкм (поліуретановий лак Parkett Elit)	Адгезія, бал
16	30	1	21	1
25	60	1	35	1
36	90	1	76	1
43	120	2	85	3

Результати досліджень показали високу адгезію покриттів до дерев'яної поверхні на основі поліуретанових та олійних ЛФМ. Проте, як видно з табличних даних, що при збільшенні товщини плівки адгезія покриттів знижується. Адгезія олійних покриттів є вищою, на відміну від покриттів на основі поліуретанових ЛФМ. Відомо, що олійні матеріали глибоко проникають у пори деревини, збільшуючи площу контакту.

Дослідження експлуатаційних характеристик захисно-декоративних покриттів настилів підлоги показали, що поліуретанові ЛФМ утворюють товщину плівки вищу, ніж олійні покриття, проте олійні лакофарбові матеріали показали високу адгезію. Можна відзначити, що як олійні так і поліуретанові композиції можуть використовуватись для створення покриттів настилів підлоги. З метою покращення декоративних показників, доцільно використовувати поліуретанові ЛФМ, а щодо екологічних показників – доцільним буде використання олійних матеріалів.

Список посилань

1. Івашенко О.Д. та інші. Хімія та методи дослідження сировини та матеріалів / О.Д. Івашенко. – К.: Знання, 2011. – 606 с.
2. Яцимарський В. Фізична хімія / В. Яцимарський. – К.: Перун, 2007. – 512 с.
3. . Т. Brock, M. Groteclaus, P. Mischke. European Guide to Paints and Coatings: Paint-Media, 2015. – 548 p.
4. Prieto, J., & Kiene, J. 2018. Wood Coatings. European Coatings. – 392 p.

УДК 684.59.674.667.636

**Яремчук Л.А. докт. техн. наук, професор,
Кропотов А.В., аспірант**

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, larysa.yaremchuk@gmail.com

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ТЕРМОМОДИФІКАЦІЇ ДЕРЕВИНИ НА ТОВЩИНУ ЗАХИСНО-ДЕКОРАТИВНОЇ ПЛІВКИ

Деревина, яка вирощена в одному лісовому поясі, не завжди має однорідний відтінок, виражену структуру, що може ускладнювати виготовлення виробів із деревини а особливо меблів. З метою вирівнювання кольору та імітації малоцінних порід деревини в технології опорядження – використовують забарвлення. Проте, якщо для меблевих виробів традиційно використовують поверхневе забарвлення деревинних матеріалів, то для столярно-будівельних конструкцій, а особливо дерев'яних елементів настилів підлоги (штучного паркету, паркетного щита, тощо) такий метод не забезпечує якості забарвлення.

За останні десятиліття був розроблений метод зміни забарвлення деревини термічною обробкою. Відомо, що при термічній обробці деревини без доступу повітря при температурі вищій від 120⁰С вона змінює свій колір.[1, 2] На інтенсивність забарвлення впливає температура і час обробки. Зміна кольору деревини пов'язана із хіміко-фізичними перетвореннями, які відбуваються при термічній обробці із складовими компонентами деревини. Однак, така деревина незахищена від впливу зовнішніх факторів може піддаватись руйнуванню, захистом від якого служить опорядження лакофарбовими матеріалами (ЛФМ).

Відомо, що термодерешина змінює свою поверхневу енергію, а також щільність, тому в роботі були проведені дослідження щодо зміни товщини лакофарбової плівки в залежності від температури модифікування деревини.

Мета роботи. Дослідження товщини захисно-декоративної плівки сформованої на забарвленій деревині барвниками і термічно модифікованій.

Для проведення досліджень використовувались зразки деревини дуба, забарвлені кислотним органорозчинним, темно коричневим К №8 барвником, а також зразки термодерешини дуба, модифікованої при температурах: 140, 180, 220°C. На поверхню забарвленої і термомодифікованої деревини наносився поліуретановий однокомпонентний, прозорий, глянцекий лак для паркету, Торгової марки «Компрозіт». Нанесення дворазове, з проміжним сушінням і шліфуванням. Загальна витрата 220 г/м². Товщина плівки прозорого покриття визначалась з допомогою мікроскопу МИС-11 згідно ДСТУ ISO 2808:2019 «Фарби та лаки. Визначення товщини плівки».

Одержані результати досліджень товщини захисно-декоративного покриття (ЗДП) на фарбованих зразках деревини дуба занесені в таблицю 1.

Таблиця 1 – Залежність товщини захисно-декоративного покриття від виду забарвлення підкладки із деревини дуба

№ з/п	Вид забарвлення зразка	Витрата ЛФМ г/м ²	Товщина ЛФП, h мкм
1.	Підкладка із деревини дуба зафарбована кислотним органорозчинним барвником К №8	220	125
2.	Підкладка з деревини дуба термічно оброблена (T=140°C, протягом 4 год.)	220	127
3.	Підкладка з деревини дуба термічно оброблена (T=180°C, протягом 4 год.)	220	94
4.	Підкладка з деревини дуба термічно оброблена (T=220°C, протягом 4 год.)	220	89

Одержані експериментальні дані, визначення товщини на забарвлених різними способами підкладках із деревини дуба, показали значну зміну ЛФП від температури термомодифікації. Слід відзначити, що для однакових умов (підкладка, вид ЛФМ, витрата на одиницю площі), максимальна товщина лакової плівки спостерігається на підкладці, яка термічно оброблена при температурі 140°C. Це може пояснюватись тим, що при такій температурі відбувається ущільнення деревини, а деструкція не спостерігається [1,2]. Проте, із збільшенням температури модифікації забарвлення стає інтенсивнішим, але стрімко зменшується товщина плівки, що пояснює початок деструкції деревини, а відповідно збільшенням поглинанням ЛФМ.

Відомо, що при нагріванні деревини вище 150-240°C, геміцелюлоза, целюлоза і лігнін змінюються з певною послідовністю. Спочатку проходить ущільнення деревини, в із підвищенням температури модифікації щільність і твердість деревини зменшуються [1]. Забарвлена класичним барвником не забезпечує глибини зміни кольору, але не змінює природних характеристик деревини.

Дані досліджень можуть бути використані виробниками продукції із деревини при виборі ЛФМ, їх витраті та створенні якісного захисно-декоративного покриття.

Список посилань

1. Kuersten, E.: Moeglichkeiten "neue geschaffener" Holzarten, Holz-Zentralblatt, Nr,83/2005, S. 1101
2. Junghans, K.,Niemz, P.: Behandelungsintensitaet bestimmt Thermohoizqualitet, Holz-Zentralblatt, 7, April2006, Nr. 14, S.412

З. Яремчук Л.А., Кушпін А.С., Кобринович М.С. Дослідження впливу барвників і термодеревини на експлуатаційні характеристики захисно-декоративних покриттів деревини. Наук. вісник НЛТУ України. – 2021. – Вип. 31.5 – С. 89-94.

УДК 674

Валько С.М., аспірант

Кшивецький Б. Я., докт. техн. наук, професор

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, bogdan.kshivetsky@nltu.edu.ua

ЩОДО ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ФОРМУВАННЯ МІЦНОСТІ КЛЕЙОВИХ З'ЄДНАНЬ ДЕРЕВИНИ

Використання склеєної деревини для виготовлення столярно-будівельних та меблевих виробів сьогодні є актуально, оскільки дозволяє економити деревинні ресурси. При склеюванні використовують як високоякісну так і малоцінну деревину. Разом з тим, вироби із склеєної деревини повинні забезпечувати належну довговічність та екологічність. Для забезпечення довговічності виробам, клейові з'єднання повинні мати належну адгезійну і когезійну міцність, формувати еластичний шов, відповідати умовам експлуатації тощо. Щодо екологічності, то вона повинна забезпечуватися використанням еколого-безпечних клейових матеріалів, технологічними процеси та режими склеювання. Екологічно-безпечними клейовими матеріалами, що використовуються для склеювання деревини, вважаються термопластичні клеї, які не є токсичними, мають високу адгезію до деревини, формують еластичні клейові з'єднання та забезпечують належну волого-, водо- та теплостійкість клейових з'єднань під час їх експлуатації. До таких клеїв відносять поліетиленові, поліамідні, полівінілацетатні, поліетиленові, поліізобутиленові, тощо. Молекулярна маса даних полімерів складає більше 10000 а.о.м. Серед даного асортименту клеїв, для склеювання деревини, найбільш широкого використання набули полівінілацетатні (ПВА) клеї. Сухий залишок даних клеїв становить 50-60%.

Щодо загальної кількості виготовлення клеїв, то сьогодні вона складає біля 2,5 млн т. на рік. Із цього об'єму 29 % припадає на полівінілацетатні клеї. В Україні частка використання полівінілацетатних клеїв для склеювання деревини та деревинних матеріалів приблизно становить 30% від загальної кількості і з кожним роком зростає.

Оскільки дані клеї широко використовуються для склеювання деревини, а клейові з'єднання на їх основі є недостатньо вивченими, то дані клейові матеріали та з'єднання на їх основі потребують додаткового вивчення як закономірностей формування так і руйнування клейових з'єднань деревини, оскільки механізми формування та руйнування термопластичних клейових з'єднань деревини відрізняються від термореактивних клейових з'єднань. Останні, на сьогодні є більш вивченими та дослідженими, чого не можна сказати про полівінілацетатні клейові з'єднання деревини, особливо про закономірності формування та руйнування клейових з'єднань. Це пояснюється структурою клейового шва, його здатністю поглинати та відштовхувати воду, зміною пружно-деформаційними процесів під час експлуатації у змінних температурно-вологісних умовах, релаксаційними процесами тощо.

Вивчення даних закономірностей вимагає поетапних досліджень із використанням існуючих методів та методик. Першим етапом таких досліджень є вивчення закономірностей формування полівінілацетатних клейових з'єднань деревини, оскільки саме клейова плівка матиме важливий вплив на пружно-деформаційні та релаксаційні процеси під час експлуатації готових виробів. Особливе значення матиме характеристика клейової плівки, оскільки від цього будуть залежати експлуатаційні властивості клейового з'єднання деревини. Тому вивчення закономірностей формування полівінілацетатної клейової плівки має важливе значення.

На рис. 1 наведено діаграму розтягування зразків полівінілацетатної клейової плівки, під час експлуатації, яка сформована на основі двокомпонентного полівінілацетатного клею із ступенем довговічності D4, який забезпечує умови експлуатації відповідно до стандарту ДСТУ EN 204:2014.

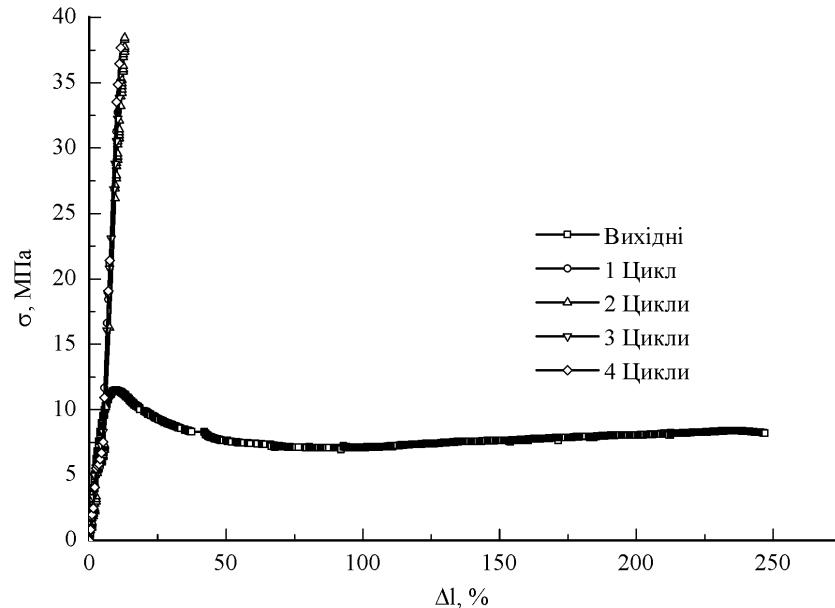


Рис. 1. Діаграми розтягування зразків ПВА плівки

Волого-температурне навантаження на полівінілацетатну клейову плівку приводить до її видовження. Тобто клейова плівка веде себе як аморфні полімерів у склоподібному стані з вимушеною еластичністю. Після циклічних температурно-вологісних навантажень, діаграма розтягування набуває вигляду жорстких полімерів, де є зона Гука із зростає міцність та зменшується видовження.

Підсумовуючи можна відзначити, що закономірності формування полівінілацетатної клейової плівки мають свою специфіку і є відмінними від закономірностей формування клейової плівки клеями на термореактивній основі. Тому, вивчення закономірностей формування міцності клейових з'єднань термопластичних полівінілацетатних клейових з'єднань деревини є актуальною на сьогоднішній день задачею.

Список посилань

1. Bogdan Kshyvetskyi, Diana Kindzera, Yaroslav Sokolovskyi, Halyna Somar, Ihor Sokolovskyi. Prediction of the strength of oakwood adhesive joints bonded with thermoplastic polyvinyl acetate adhesives. Chemistry, chemical technology, 2023. Vol. 17, No. 1, pp. 110–117. <https://doi.org/10.23939/chcht17.01.110>
2. Кшивецький Б.Я., Гупало О.П. Проблеми використання клейових з'єднань на основі термопластичних клеїв. Науковий вісник УкрДЛТУ. – 2001. – Вип. 11.2.- С. 23-26
3. Дацків Г.М., Кшивецький Б.Я. Щодо результатів пришвиджених експериментальних досліджень міцності склеювання термічно модифікованої деревини клеями на основі ПВА. XII Міжнародна науково-практична конференція «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» Том 1. 26 – 2 травня 2022 р., С. 168-169.
4. Дацків Г.М., Кшивецький Б.Я. Щодо зміни міцності з'єднань термічно модифікованої деревини ясеня і сосни немодифікованої при впливі природних факторів. XIII Міжнародна науково-практична конференція «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» Том 1. 25 – 26 травня 2023 р., м. Чернігів. С. 241-242.
5. ДСТУ EN 205:2014 Клеї несилкові для деревини. Метод визначання міцності з'єднання внапусток під час поздовжнього розтягування на зсув (EN 205:2003, IDT).
6. ДСТУ EN 204:2014 Клеї термопластичні несилкові для деревини. Класифікація (EN 204:2001, IDT).

УДК 674:630

Кушпін М.А., аспірант

Грицак С.А., канд. техн. наук, доцент

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, kushpit.m@nltu.lviv.ua

ГНУТТЯ МАСИВНОЇ ДЕРЕВИНИ ТА ЯКІСНІ ПОКАЗНИКИ ПРОЦЕСУ ГНУТТЯ

В сучасному виробництві використання масивної гнутої деревини затребуване у виробництві меблів, для деталей декору інтер'єру, а також вікон, дверей, елементів сходів, виготовлення музичних інструментів, будівництва різноманітних конструкцій тощо. Складність технології гнуття прямолінійних заготовок з масивної деревини пояснюється значною кількістю технологічних операцій та умов здійснення процесу, порівняно з «традиційною» технологією, однак отримані криволінійні деталі є міцнішими за випиляні, а витрата деревини значно зменшується [1].

Для виготовлення криволінійних деталей з масивної деревини процес гнуття переважно виконують «гарячом» способом, підвищуючи її пластичність збільшенням вологості та температури, додаючи різноманітні пластифікатори та використовуючи спеціальні гнутарні пристрої. Це дозволяє зменшити мінімальний радіус гнуття, покращити якість гнуття та зменшити відсоток браку [1,5].

Процеси гнуття досліджені досить ретельно, однак зі зменшенням радіусу згину, відсоток бракованих заготовок збільшується та може досягати до 25-30% [3, 5]. На якісний вихід заготовок після гнуття також суттєво впливає деревина, як анізотропний матеріал [2]. Тому важко встановити чіткі режимні параметри процесу гнуття через відхилення фізичних та механічних властивостей заготовок, навіть вирізаних з однієї дошки. Наприклад, проведене експериментальне дослідження гнуття заготовок вільхи, показало що з метою зменшення браку час гідротермічної обробки заготовок (січення 15 мм x 20 мм) має становити не менше 90 хвилин [4] за початкової вологості не менше 30%.

Отже, для забезпечення бездефектного та якісного гнуття необхідно врахувати наступне:

- дослідження необхідно проводити на прикладі певної породи деревини з врахуванням способу отримання заготовок для гнуття, напряму гнуття та фізико-механічних показників заготовок;

- встановити вплив не тільки основних параметрів технологічних факторів, що впливають на ефективність гнуття, але і таких факторів як зусилля обтискання заготовки шиною, ступінь упресування при гнутті, швидкості гнуття, форми поверхні шаблону для гнуття і ряду інших параметрів, які часто не враховують при дослідженнях. Це дасть можливість збільшити ефективність та покращити якісні показники процесу гнуття.

Список посилань

1. Войтович І.Г. Основи технології виробів з деревини. – Підручник. – Львів: Країна ангелів, 2010. – 304 р.
2. Вінтонів І.С., Сопушинський І.М., Тейшінгер А.: Деревинознавство. – Львів: Априорі, 2007. – 312 р.
3. Грицак С.А., Грицак С.С. Становлення впливу параметрів пресування на процес гнуття букових меблевих заготовок. Лісове господарство, лісова, паперова та деревообробна промисловість. - 2016.-Вип.- 49: С.48-60. doi: <https://doi.org/10.36930/42234904>.
4. Бобрик О. О. Визначення параметрів гнуття деревини вільхи / О. О. Бобрик, А. С. Кушпін, О. М. Кушпін // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. - 2018. - Вип. 197. - С. 66-69. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdusg_2018_197_11.
5. Леонтьев И.И. Производство гнутых стульев из древесины хвойных и мягких лиственных пород. – М-Л: – 1952. – 116 с
6. Бобрик О. О. Дослідження режимів гнуття заготовок з деревини вільхи/ О. О. Бобрик, А. С. Кушпін // Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість. - 2013. - Вип. 39. - С. 221-223.

УДК 674.815 : 631.572

Копанський М.М., канд. техн. наук, доцент

Козак Р.О., д-р. техн. наук, професор

Кусняк І.І., канд. техн. наук, доцент

Ортинська Г.Є., канд. техн. наук, доцент

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, mkoransky@ukr.net

АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА СИРОВИНИ У ВИРОБНИЦТВІ ДЕРЕВИННИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Інтенсивність глобального вирубування лісів і його шкідливий вплив на довкілля змушує виробників цих видів продукції вести пошук альтернативних джерел сировини. Переважно це лігноцелюозна сировина сільськогосподарського виробництва, зокрема солома. Одним із головних чинників які перешкоджають використанню пшенично-житньої соломи як сировини для виробництва деревинних плит, є наявність воску з досить складним хімічним складом, який у солі не розпорошений у всій її масі, як це має місце у деревині, а знаходиться практично повністю на поверхні стебла. Утворення такого антиадгезійного шару на поверхні частинок соломи перешкоджає змочуванню поверхні частинок і погіршує склеювання. Запропоновані заходи з нейтралізації воскового шару дають змогу ефективно її застосування у цій галузі.

Поряд із використанням соломи, одним із перспективних видів рослинної сировини для виготовлення деревинних композиційних матеріалів є стебла ріпаку. Ріпак – надзвичайно цінна кормова культура, але він також може бути і одним з елементів сировинної бази у виробництві вказаних матеріалів. Проведений аналіз останніх досліджень з використання відходів сільськогосподарського виробництва для виготовлення продукції целюлозно-паперового виробництва та виробництва ДКМ дає підстави зробити висновок про те, що, окрім пшеничної та житньої соломи, є доцільним використання з цією метою і стебел ріпаку. Із соломи ріпаку (2-6 тонн з гектара) можна виготовляти папір, целюлозу, картон. З одного гектара ріпакового поля можна виготовити до 2 т паперу. Такі технології успішно застосовуються у Великобританії, Угорщині, Іспанії, Португалії. Із недеревної сировини у світі виробляють вже близько 10% целюлози [1].

Нами проводилися дослідження з метою з'ясування можливості використання ріпаку у виробництві волокнистих плит. Змінними факторами 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; кількість клею (1,2,3,4,5%), фракційний склад частинок ріпаку.

Процес виготовлення зразків складався з п'яти етапів: підготовки ріпакової сировини, приготування клею, змішування частинок з клеєм, формування брикета і пресування дослідних зразків. Відходи ріпакової сировини подрібнювалися спочатку на лопатевій дробарці для подрібнення органічних матеріалів, пропарювалися і розчеплювалися на волокно на валковому млині. Отримані частинки проклеювалися в спеціальній місткості у водному середовищі. Надлишкова вода видалялася у холодному гідравлічному пресі, а п'єзотермічна обробка отриманого брикета здійснювалася з допомогою гарячого преса.

Проводилися дослідження впливу основних параметрів процесу виготовлення стружкововолокнистих плит на їх механічні властивості, оскільки саме механічні показники здебільшого визначають сферу застосування того чи іншого матеріалу.

Показниками якості деревинних композиційних матеріалів під час приймально-здавальних випробувань для галузі застосування плит – меблеве виробництво є: межа міцності при статичному згині, МПа; щільність, кг/м³; набрякання за товщиною, %; вологість, %.

Межа міцності при статичному згині вважається найважливішим показником

механічних властивостей плит, оскільки плити в основному працюють на згин [1].

Для виконання досліджень використовувались такі матеріали:

- деревинні волокна, які використовуються у промисловому виготовленні волокнистих плит;
- смола: LignomFen (G/3);
- осаджувач: сірчаноокислий алюміній $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ (ГОСТ12966-85);
- вода питна (ГОСТ 2874-82);
- фільтрувальний папір;
- вода дистильована (ГОСТ 6709-72);

Використовувалися волокнисті частинки хвойних порід, з яких в подальшому утворюються волокнистий килим та плита.

Деревинний композиційний матеріал плоского пресування виготовлявся гарячим пресуванням обсмолених деревинних і ріпакових (їх суміші) частинок.

Витрата компонентів композиційної суміші розраховувалась на ЕОМ і в необхідній для дослідів пропорції дозувалась за масою, за допомогою зважувальних приладів.

Підготовлений наповнювач (попередньо змішані деревинні і ріпакові частинки) змішували з клеєм. Тривалість змішування становила 10 хвилин. Полімер служить для збільшення міцності плит. Осаджувач надає змогу осадити клей на волокна. Клейова композиція 10% концентрації, вводиться у волокнисту масу в обсязі 1% від абсолютно сухого волокна. Після цього у волокнисту масу вводили осаджувач 10% (розчин солей алюмінію у воді ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) у кількості 1%, від кількості клею. Вологість готових плит становила 7-8%.

Для проведення подальших досліджень з виготовленого матеріалу вирізались експериментальні зразки відповідних розмірів для визначення фізико-механічних властивостей. Виготовлені зразки нумерувались і випробовувались. Визначення фізико-механічних властивостей деревинних композиційних матеріалів здійснювали після закінчення 5 діб з дня пресування. Перед випробуванням визначалися розмірні і вагові показники.

Проведені експериментальні дослідження дозволили отримати результати, які забезпечують встановлення закономірностей впливу технологічних параметрів на властивості волокнистих плит виготовлених з використанням відходів ріпакової сировини.

Доведено можливість і доцільність застосування ріпакової сировини для виробництва волокнистих плит.

На основі результатів експериментальних досліджень запропоновано способи виготовлення композиційного матеріалу з використанням відходів ріпаку.

Волокнисті плити виготовлені з додаванням більш ніж 22 % частинок наповнювача виготовлених з ріпакової сировини мають високі теплоізоляційні властивості і можуть застосовуватися у теплоізоляційних цілях.

Таким чином, запропоновані заходи щодо виготовлення деревинних композиційних матеріалів дають змогу розширити сировинну базу для їх виготовлення завдяки залученню альтернативної ріпакової сировини, зменшити собівартість матеріалів і, відповідно, зекономити цінну деревинну сировину, що є надзвичайно актуальним, особливо для малолісистих регіонів України.

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. – К.: Основа, 2003. – 336 с.
3. Торгашов В.И. Сравнительное исследование условий выделения, морфологии и свойств целлюлозы из стеблей злаковых и масличных культур. / Е.В. Герт, О.В. Зубец, Ф.Н. Капуцкий //Химия растительного сырья. – Минск. – 2009. №4.

УДК 674.213:69.025.351.3:678.073

Кіндзера А.Р., аспірант
Кшивецький Б.Я., докт. техн. наук, професор

**ВПЛИВ ФАКТОРІВ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА НА СТАН ПОВЕРХНІ
ТЕРМОМОДИФІКОВАНОЇ ДЕРЕВИНИ ЯСЕНА У ПОЛІВІНІЛАЦЕТАТНИХ
КЛЕЙОВИХ З'ЄДНАННЯХ «ТЕРМОМОДИФІКОВАНА ДЕРЕВИНА
ЯСЕНА/СОСНА»**

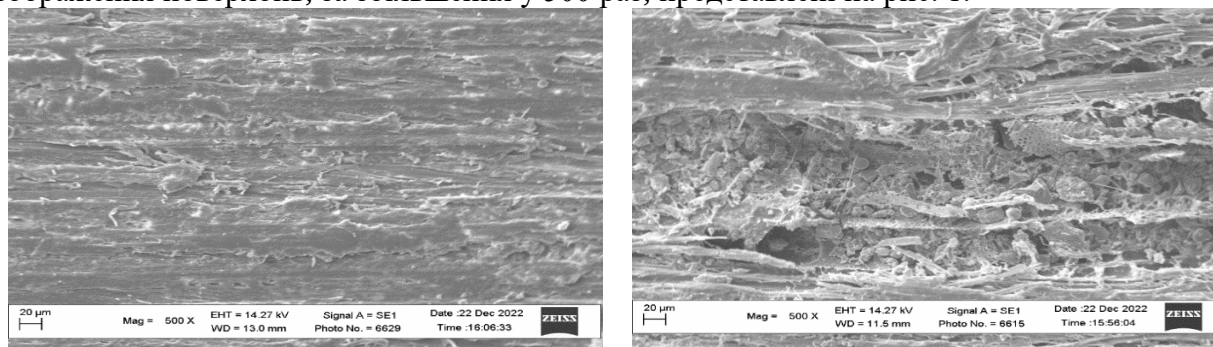
Ясен (*Fraxinus excelsior* L.) відноситься до твердолистяної породи деревини із високим генетичним різноманіттям популяції [1], природний ареал якого поширений на території більшості європейських країн, та є однією із основних лісоутворюючих порід України. Незважаючи на досить великий відсоток лісистості в Україні та доступність деревини ясеня, яка характеризується високою гнучкістю, твердістю, стійкістю до навантажень під тиском, ударів і розтріскування, її використання в деревообробній та меблевій промисловості є обмеженою, що зумовлено як нестійкістю до абіотичних та біотичних руйнівних чинників, так і деякими особливостями сушіння та механічної обробки. Тому, покращення характеристик деревини ясеня для продовження терміну експлуатації шляхом термічного модифікування, яке передбачає обробку деревини в діапазоні температур 160-240°C в умовах обмеженої атмосфери кисню [2], є оправданим. Завдяки покращеним характеристикам, таким як насиченість кольору, стабільність розмірів, гідрофобність, підвищена стійкість до біологічних та атмосферних факторів, сфера застосування термічно модифікованої деревини ясеня з кожним днем розширюється, як в області неконструкційних зовнішніх застосувань (облицювання, настили), так і у сфері інженерних дерев'яних конструкцій (садові меблі, альтанки), в яких метод склеювання часто використовується для з'єднання елементів. На сьогодні, для виготовлення ряду столярно-будівельних виробів, зокрема фасадних елементів, дверей та віконних рам, широкого використання набувають деревинні клейові конструкції, що являють собою поєднання немодифікованої та термічно модифікованої деревини [3, 4]. Такі конструктивні рішення сприяють більш раціональному використанню деревини цінних порід, продовженню терміну експлуатації конструкцій внаслідок захисту природної деревини термомодифікованим шаром з одночасним підвищенням теплоізоляційних характеристик; з огляду на нижчі значення теплопровідності термодеревини у порівнянні з необробленою, що є позитивним з точки зору забезпечення енергоефективності житлових приміщень.

У наш час, тенденція до екологічного будівництва стає все більш вираженою та популярною, тому значна кількість дерев'яних елементів та конструкцій обробляється природними засобами, а поверхня термічно модифікованої деревини часто залишається непокритою. Очевидним є те, що фактори зовнішнього середовища також впливають на термічно модифіковану деревину, однак їх вплив є дещо іншим, ніж на немодифіковану деревину. Однак, на даний час в літературних джерелах практично не представлено результатів досліджень щодо впливу зовнішніх факторів на термічно модифіковану деревину ясеня. Тому, дослідження щодо особливостей та динаміки деградаційних змін термічно модифікованої деревини ясеня під впливом природних факторів є актуальними.

Для досліджень впливу факторів зовнішнього середовища на стан поверхні термомодифікованої деревини полівінілацетатних клейових з'єднань «термомодифікована деревина ясеня/сосна», клейові зразки, розмірами 150x20x10 мм сформовані із заготовок сосни та деревини ясеня (термічної модифікованої за температури 195°C протягом 12 годин), встановлювали під нахилом 45° на випробувальний стенд висотою 1 м, поверхнями термомодифікованої деревини орієнтованими назовні. Дослідження проводились у

М. Львів, kindzera74@ukr.net

західному регіоні України – місцевості з помірно-континентальним кліматом, який характеризується м'якістю та високою вологістю. Тестування клейових зразків у відкритому середовищі тривало два роки. Оцінку стану поверхні контрольного зразка та поверхонь термомодифікованої деревини ясеня клейових зразків, експонованих у відкритому середовищі, проводили за допомогою скануючого електронного мікроскопа (SEM). Для досліджень стану поверхні, зразки знімалися із стенду кожні три місяці. SEM-зображення поверхонь, за збільшення у 500 раз, представлені на рис. 1.



а) поверхня контрольного зразка

б) поверхня після 24 місяців витримки у природних умовах

Рис. 1 – SEM-зображення поверхонь термічно модифікованої деревини ясеня

Методом скануючої електронної мікроскопії встановлено, що поверхні термічно модифікованої деревини ясеня клейових зразків, експонованих у відкритому середовищі, характеризувалися поступовою зміною кольору (тьмяніли) внаслідок фотохімічного пошкодження сполук термодеревини, що, в свою чергу, призводило до збільшення швидкості вимивання продуктів розпаду з поверхні дощовою водою, «стирання» поверхні внаслідок вітрових потоків та абразивних складових, збільшенню деградаційних змін внаслідок дії підвищеної вологості середовища та коливань температури. Загалом, після 24 місяців витримки в природних умовах клейових зразків, руйнування структури поверхні термомодифікованої деревини ясеня, внаслідок впливу каскаду руйнівних механізмів зафіксоване на глибині в межах 0,05-0,2 мм. Окрім цього, ділянок з більш глибокими руйнуваннями, утворенням тріщин, надломів чи підняттям волокон деревини не було зафіксовано, тому за ступенем змін руйнування оцінене як поверхневе.

Висновок. Інформація щодо особливостей, динаміки деструктивних змін поверхні деревини ясеня, термічно модифікованої за вищевказаних умов, та глибини ерозійних змін за кінцевого терміну досліджень, є цінною для прогнозування термінів довговічності, як самої термодеревини для її використання в області неконструкційних матеріалів, так і для клейових конструкції столярно-будівельних виробів, призначених для зовнішнього застосування. Динаміка руйнування поверхневих структур термомодифікованої деревини ясеня вказує на необхідність покриття поверхонь засобами захисту із УФ-фільтрами.

Список посилань

1. Yalçın, M., Ibrahim, H. Changes in the chemical structure and decay resistance of heat-treated narrow-leaved ash wood. *Maderas, Cienc. Tecnol.*, 2015, 17(2), P. 435–446. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2015005000040>
2. Zelinka, S. L., Altgen, M., Emmerich, L., Guigo, N., Keplinger, T., Kymäläinen, M. and Thybring, E. E. Review of wood modification and wood functionalization technologies. *Forests*, 2022, 13(7), 1004. <https://doi.org/10.3390/f13071004>
3. Kshyvetskyi B.Y, Datskiv H.M. Strength of adhesive joints of thermally modified ash wood glued with polyvinyl acetate - based adhesives. *Drewno. Prace naukowe. Doniesienia. Komunikaty*, 2023, 66(211), P.1-10. <https://doi.org/10.12841/wood.1644-3985.426.03>

УДК 674.11

Губар С. М., аспірант

Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ,
asp23-s.hubar@nubip.edu.ua

АНАЛІЗ РИНКУ МЕБЛІВ З ДЕРЕВИНОКОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

На сьогоднішній день Український ринок меблів оцінюється в 330 млн. доларів США.

Перед початком повномасштабного вторгнення Росії на територію України обсяг внутрішнього ринку меблів оцінювався фахівцями в 1-1,2 мільярда доларів США. Українські виробники в 2022-2023 роках мали можливість замінити більш дорогі імпорتنі аналоги своїми товарами та отримати більшу долю ринку. За 11 місяців 2023 року було імпортовано меблів на суму 315,4 мільйонів доларів США. [1]

Зниження рівня зацікавленості до імпорتنих меблів зумовлено в першу чергу у зв'язку зі зниженням купівельної спроможності населення. Також варто зазначити, що український меблевий ринок не позбавлений тіньового виробництва, яке орієнтовано на середній та дешевий сегмент. Сьогодні тіньовий ринок меблів України складає 35 %.

Експортний потенціал меблевої галузі протягом 2022 року вдалося зберегти на рівні 0,8 млрд доларів США, з яких 91,1% припадали на країни європейського союзу. За 11 місяців 2023 року було експортовано товарів на суму 0,73 млрд доларів США. Частка експорту меблів у загальному обсязі експорту товарів з України за цей період становила 2,2%.

За опитуваннями, проведеними Українською Асоціацією Меблевиків в результаті військових дій на території України близько 5% меблевих підприємств було повністю зруйновано. За даними того ж Держкомстату за 2022 рік кількість зареєстрованих підприємств та підприємців з кодом КВЕД 31 “виробництво меблів” скоротилося на 12,9%, тобто 1/8 галузі припинила діяльність. [2]

Найдинамічніше останнім часом зростає сегмент кухонних меблів (середньорічний темп становить 147,7%) і сегмент офісних та торговельних меблів (середньорічний темп 90,7%). За цей же період часу спостерігалось скорочення частки меблів для сидіння та деталей до них (від 49,9% до 44,8%), що пов'язане з певною затовареністю даного сегменту ринку.

Виходячи зі статистичних даних Державної служби статистики України загальний обсяг ринку меблевої продукції за 2023 рік склав 29052,3 млн.грн., що становило вже 0,89% від всієї структури промислової продукції. Це зростання у 2023 році було на 7259,3 млн. [3].

На сьогоднішній день світовий ринок меблів має своїх лідерів. Китай займає безперечну першу позицію в рейтингу виробників меблів з часткою в 38,3% на світовому ринку. Друге і третє місце — у Німеччині і Польщі. Україна займає 38-е місце у світовому рейтингу виробників меблів. Щоб потрапити у топ-10 — експорт меблів в Україні потрібно збільшити всемеро.

За даними Державної служби статистики динаміка виробництва меблів в Україні має нестійкий характер. Обсяги реалізації меблів в натуральному вираженні мали тенденцію до скорочення, тоді як у грошовому вираженні починаючи з 2020 р. мало місце їх зростання. Що зумовлено в першу чергу ціновим чинником.

Список посилань

1. Стан меблевої галузі України під час війни, офіційний сайт. Київ, 2024. URL:<https://derevo.ua/publication/stan-meblevo-galuzi-ukrani-pid-chas-vijni-2359>(дата звернення 08.01.2024)
2. Українська Асоціація Меблевиків. 2024. URL:<https://uafm.com.ua/stan-meblevoyi-galuzi-ukrayiny-pid-chas-vijny/>
3. Державна служба статистики України, офіційний сайт. Київ. 2024. URL:<https://www.ukrstat.gov.ua/>

УДК 614.841

Пінчевська О.О., докт. техн. наук, професор

Давидов В.М., аспірант

Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ

davydov_vladyslav@ukr.net

ДОЦІЛЬНІСТЬ ТЕРМОМОДИФІКУВАННЯ СУХОСТІЙНОЇ ДЕРЕВИНИ ЯСЕНЯ

Термомодифікація деревини є важливим напрямком в обробці деревних матеріалів, яка значно покращує їх фізичні та механічні властивості. Серед багатьох видів деревини, що піддаються цьому процесу, сухостійна деревина ясена має великий потенціал для використання в різних галузях промисловості та будівництва. Однак питання доцільності цього процесу залишається актуальним і потребує детального аналізу.

Сухостійна деревина ясена є екологічно чистою сировиною, оскільки її отримують від дерев, що загинули через природні причини або ураження шкідниками. Використання цієї деревини знижує потребу у вирубці здорових дерев і сприяє раціональному використанню лісових ресурсів, до того ж, сухостійна деревина ясена на 20-30% дешевша в порівнянні зі здоровою деревиною. Однак, сухостійна деревина має низку недоліків, зокрема високе вологопоглинання, низьку біологічну стійкість та схильність до деформацій, що обмежує її застосування у будівництві та виробництві меблів. Термомодифікація дозволяє значно покращити ці властивості, роблячи деревину більш стійкою до зовнішніх впливів і підвищуючи її експлуатаційні характеристики [1].

Доцільність термомодифікації сухостійної деревини ясена визначається рядом факторів, зокрема витратами на виробництво, потенційними ринками збуту та довгостроковими перевагами. Основні витрати включають вартість енергії, необхідної для нагрівання деревини, витрати на спеціалізоване обладнання, а також оплату праці операторів і технічного персоналу [1].

Попри високі початкові витрати, термомодифікована деревина ясена має значні переваги. Перш за все, вона характеризується довговічністю та стійкістю до біологічних уражень. Крім того, використання сухостійної деревини сприяє збереженню лісових ресурсів і зниженню екологічного навантаження, що підвищує її привабливість для споживачів, які цінують екологічно чисті матеріали.

Потенційні ринки збуту для термомодифікованої деревини ясена є досить широкими. У будівельній галузі вона може конкурувати з екзотичними породами деревини та композитними матеріалами, пропонуючи високі експлуатаційні характеристики за конкурентоспроможною ціною. Виробники меблів також можуть зацікавитися цим матеріалом через його довговічність та привабливий зовнішній вигляд. Для зовнішнього оздоблення та підлогових покриттів термомодифікована деревина ясена є відмінним вибором, оскільки вона стійка до зносу та погодних умов [1].

Тож термомодифікування сухостійної деревини ясена є доцільною технологією, що забезпечує покращення фізичних і механічних властивостей. Незважаючи на значні витрати на енергію та обладнання, висока ринкова вартість термомодифікованої деревини забезпечує значний прибуток. Використання саме сухостійної, дешевшої сировини сприяє підвищенню рентабельності. Високі початкові витрати на виробництво компенсуються довговічністю матеріалу, зниженням експлуатаційних витрат та можливістю виходу на нові ринки збуту.

Список посилань

1. Esteves, B., & Pereira, H. (2009). Wood modification by heat treatment: A review. *BioResources*, 370-404.

УДК 674.061

Мороз Р.О., аспірант
Копинець С.В., аспірант
Лань В.М., аспірант

Маєвський В.О., доктор техн. наук, професор
Національний лісотехнічний університет України, м.Львів, tlsdbv@nltu.edu.ua

ЩОДО ВПЛИВУ ЗАБОЛОННОЇ ДЕРЕВИНИ ДУБА НА ОБ'ЄМНИЙ ВИХІД ЗАГОТОВОК

У виробництві клеєних щитів значну увагу приділяють оптимізації технологічних етапів їхнього виготовлення. Це зумовлено необхідністю підвищення ефективності виробництва [1]. На сьогоднішній день все ще існують питання, які пов'язані з впливом розмірно-якісних характеристик пиломатеріалів на об'ємний вихід специфікаційних заготовок для клеєних щитів. Тому є потреба в дослідженні виходу різних специфікаційних заготовок з пиломатеріалів для забезпечення максимального об'ємного виходу клеєних щитів з дотриманням їхньої належної якості.

Відомою особливістю деревини дуба є наявність заболоні світлішого кольору та меншої щільності. Заболонь є ознакою деревини яку, здебільшого, обмежують в клеєних щитах. Тому при розпилюванні дубових пиломатеріалів на заготовки потрібно враховувати і цю ознаку деревини.

Під час проведення паспортизації дубових необрізних пиломатеріалів у виробничих умовах, окрім фіксації їхніх розмірно-якісних характеристик, проводили вимірювання ширини заболоні. У досліджуваній партії дубових необрізних пиломатеріалів (100 шт.) товщиною 30 мм, довжиною 2600 мм за середньої ширини внутрішньої пласті 280 мм – ширина заболоні біля кожної крайки становила в середньому 13,7 мм, а за середньої ширини зовнішньої пласті 240 мм – ширина заболоні біля кожної крайки становила в середньому 14,4 мм. Загалом, заболонь в середньому становила 10,86 % від об'єму дубового необрізного пиломатеріалу.

Під час розпилювання дубових необрізних пиломатеріалів на специфікаційні заготовки враховано обмеження заболоні на пластах клеєних щитів. З метою унеможливлення появи заболоні на лицевій поверхні клеєного щита, заготовки із заболонню випилювали таким чином, щоб за подальшого їхнього оброблення (стругання в розмір), видаляти заболонь в припуску на оброблення. У пиляних заготовках вміст заболоні становив 1,68-2,95 %, а її середній вміст – 2,33 %.

Об'ємний вихід специфікаційних заготовок розмірами 30×57×1250 мм, 30×57×950 мм, 30×57 мм різнодовжинних (але не менше 180 мм), 30×47×1250 мм, 30×47×950 мм, 30×47 мм різнодовжинних (але не менше 180 мм) становить від 49,60 до 80,29 % залежно від розмірно-якісної характеристики пиломатеріалів. Середній об'ємний вихід специфікаційних заготовок для досліджуваних умов становить 67,26 %.

Висновок. Встановлення впливу анатомічних ознак деревини дуба, зокрема вмісту заболоні в необрізних пиломатеріалах, на об'ємний вихід специфікаційних заготовок сприятиме ефективному використанню деревини та вдосконаленню технологій виготовлення клеєних щитів.

Список посилань

1. Маєвський В.О. Дослідження виходу клеєних щитів з дубових пиломатеріалів / В.О. Маєвський, Р.О. Мороз, С.В. Воронович, З.П. Копинець, Є.М. Миськів // Матеріали тез доповідей XIII Міжнародної науково-практичної конференції "Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем" (м. Чернігів, 25–26 травня 2023 р.) : у 2 т. – Чернігів: ЧНТУ, 2023. – Т. 1. – ст. 260-261.

УДК 674.047

Губер Ю.М., канд. техн. наук, доцент

Копинець З.П., канд. техн. наук

Гуменюк Ж.Я., асистент

Рубінський Ю.В., аспірант

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, tlsdbv@nltu.edu.ua

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИВАЛОСТІ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ СОСНОВИХ НЕОБРІЗНИХ ПИЛОМАТЕРІАЛІВ

Дослідження тривалості процесу сушіння пиломатеріалів є важливим, оскільки дає змогу прогнозувати продуктивність сушильних установок під час проектування нових деревообробних підприємств, їх розширенні або реконструкції. Найпоширенішим способом сушіння пиломатеріалів є конвективний [1-3].

На тривалість процесу конвективного сушіння пиломатеріалів впливає низка чинників, зокрема порода деревини, їхні розміри, вид обробки, початкова і кінцева вологість, параметри режиму сушіння (температура повітря, відносна вологість повітря), швидкість руху агента сушіння [2-6]. Реалії сучасності вимагають застосування таких режимів сушіння деревини, які б забезпечували потрібні показники якості сушіння і мінімальні затрати теплової та електричної енергії. Тому виникає потреба в дослідженні різних процесів сушіння для їхнього подальшого вдосконалення.

Метою цього дослідження є встановлення тривалості процесу конвективного сушіння соснових необрізних пиломатеріалів.

Дослідження проведено у конвективній сушильній камері періодичної дії фірми LeKo типу LK-ZDR-50 з об'ємом завантаження $\approx 50 \text{ м}^3$ пиломатеріалів. Під час проведення експериментальних досліджень висушували соснові необрізні пиломатеріали товщиною 30 мм та довжиною 3...3,2 м. Початкова вологість пиломатеріалів становила $W_{\Pi} \approx 45 \%$. Кінцева вологість становила $W_k \approx 9 \%$.

Експериментальні дослідження проводили за таких умов: температура агента сушіння (вологого повітря) на першому ступені режиму становила $t_c = 52 \text{ }^{\circ}\text{C}$, його відносна вологість – $\phi = 73,5\%$, за цих параметрів рівноважна вологість деревини – $W_p = 12 \%$; на останньому ступені – $t_c = 68 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $\phi = 32,5 \%$, $W_p = 5 \%$. Середня швидкість його руху через штабель висушуваного матеріалу за вологості пиломатеріалів більше 31% – $v = 2,5 \text{ м/с}$, за вологості менше 31% – $v = 1,5 \text{ м/с}$. Зміну параметрів процесу виконували за середньоарифметичним значенням вологості п'яти контрольних пиломатеріалів впродовж усього процесу сушіння.

Загальна тривалість процесу сушіння складається з таких фаз: початкове нагрівання пиломатеріалів, сушіння, кінцева вологотеплообробка та охолодження.

За результатами опрацювання протоколів процесів сушіння для кожного дослідного сушіння побудовано графіки кінетики процесу сушіння соснових необрізних пиломатеріалів товщиною 30 мм. Для прикладу на рис. 1 зображено кінетику процесу сушіння для дослідного процесу сушіння №4.

Загальна тривалість сушіння соснових необрізних пиломатеріалів товщиною 30 мм у конвективній сушильній камері періодичної дії фірми LeKo типу LK-ZDR-50 від середньої початкової вологості $W_{\Pi} \approx 45 \%$ до кінцевої $W_k \approx 9 \%$ за досліджуваного режиму становить для різних дослідних сушінь від 160,6 год до 184,7 год. За результатами дослідів у виробничих умовах і статистичної обробки експериментальних даних отримано середнє

значення тривалості конвективного процесу сушіння соснових необрізних пиломатеріалів товщиною 30 мм, яке становить 175,7 год.

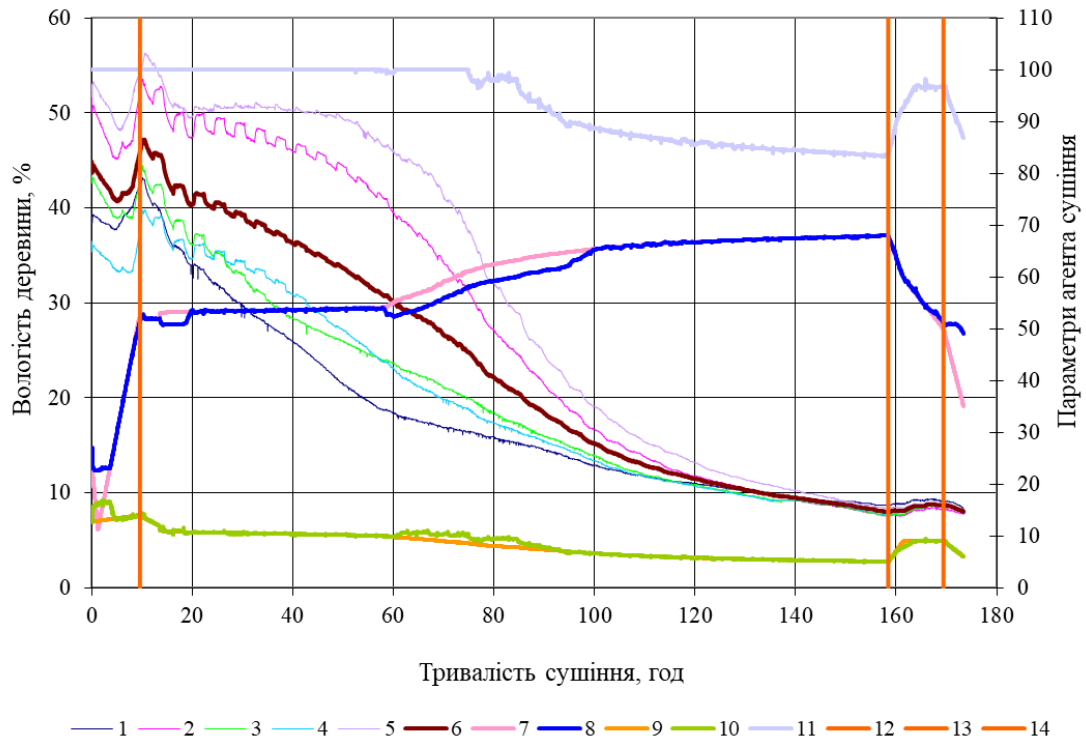


Рис. 1 – Кінетика процесу сушіння соснових необрізних пиломатеріалів товщиною 30 мм: 1, 2, 3, 4, 5 – поточна вологість деревини у точках вимірювання, %; 6 – середня поточна вологість деревини, %; 7 – задана температура агента сушіння, 8 – фактична температура агента сушіння; 9 – задана рівноважна вологість деревини, %; 10 – фактична рівноважна вологість деревини, %; 11 – частота обертання вентилятора, %; 12, 13, 14 – інтервали часу фаз процесу сушіння (нагрівання, сушіння, кінцева вологотеплообробка, охолодження)

Висновок. Результати експериментальних досліджень дадуть змогу вдосконалити технологію сушіння соснових необрізних пиломатеріалів, а також аналітичні методи визначення тривалості сушіння соснових пиломатеріалів за високих вимог до якості висушеного матеріалу.

Список посилань

1. Білей П.В. Дослідження тривалості процесу сушіння пиломатеріалів понижених товщин багатоступеневими режимами у виробничих умовах / П.В. Білей, Ю.М. Губер, З.П. Копинець // Науковий вісник. Львів, НЛТУ України. – 2011 – Вип.21.1. – С. 99-103.
2. Білей П. Теоретичні основи теплової обробки і сушіння деревини (Монографія) / П. Білей. – Коломия: Вік, 2005. – 364 с.
3. Brunner-Hildebrand. Die schnittholztrocknung. 5 AUFLAGE. Buchdruckwerkstätten Hannover GmbH, 1987. – 322 s.
4. Glijer L. Suszenie drewna I nie tylko / L. Glijer. – Warszawa: Wies Jutra, 2011. – 140 s.
5. Губер Ю.М. Аналіз методів визначення тривалості сушіння соснових необрізних пиломатеріалів / Ю.М. Губер, З.П. Копинець, Ю.Р. Дадак, Ж.Я. Гуменюк // Наукові праці Лісівничої академії наук України : збірник наукових праць. – Львів: Видавництво «Компанія “Манускрипт”», 2020. – Вип. 20. – С. 214-221.
6. Kopynets Z.P. Investigation of beech lumber drying process by the low temperature multi-stage regimes / Z.P. Kopynets, R.B. Shchupakivsky // Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry. Collection of scientific and technical works. – Lviv: NUFWT of Ukraine. – 2014, vol. 40. – P. 59-62.

УДК 674.093.26

Ортинська Г.Є., канд. техн. наук, доцент

Лютий П.В., канд. техн. наук

Рубінський Ю. В., аспірант

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, ortynska_g@nltu.edu.ua

ВЛАСТИВОСТІ ПРИРОДНИХ КЛЕЇВ НА ОСНОВІ СОЄВОГО ПРОТЕЇНУ

Впродовж останніх років спостерігається зростання інтересу до розроблення екологічно чистих і відновлюваних клеїв, які б могли стати альтернативою до синтетичних смол на основі формальдегіду, зокрема фенолоформальдегідним та карбамідоформальдегідним. Ці смоли є найбільш поширеними основами для виготовлення клеїв, що застосовуються у фанерному виробництві. Недоліком цих смол є те, що вони містять формальдегід, який може виділятися під час процесу виготовлення композиційних матеріалів, так і емісувати із готової продукції. Вільний формальдегід - канцероген, що має негативний вплив на здоров'я людини та навколишнє середовище.

Лідерську позицію серед досліджень щодо клеїв для фанери займають протеїни на основі сої. Соя є важливою сільськогосподарською культурою, що відновлюється швидко, легко доступною та економічно вигідною, і вона широко вирощується у всьому світі. Побічний продукт виробництва соєвої олії - борошно соєвих бобів, має високий вміст протеїну і представляє собою переважно суміш соєвого білка та вуглеводів. Це становить відмінну основу для виготовлення клеїв для деревини.

Розроблення клеїв на основі соєвого протеїну має свої переваги та обмеження. Однією з основних переваг таких клеїв є їх екологічність та низька вартість. Однак вони також мають недоліки, зокрема, низьку міцність з'єднання та водостійкість. Крім того, ці клеї характеризуються низькою стійкістю до біологічного розкладання. Тому актуальним завданням сучасності є пошук модифікувальних речовин, які зможуть покращити властивості клею, створеного на основі соєвого протеїну. [1].

Протеїн є основним компонентом, що бере участь у адгезії в соєвому борошні, концентраті чи ізоляті. Соєвий протеїн ізолят є комерційним продуктом, який використовується в багатьох дослідженнях. Велика кількість опублікованих досліджень зосереджена на визначенні кращого методу модифікування соєвого протеїну ізоляту для підвищення його водостійкості. Рекомендовано застосовувати різноманітні денатуранти, включаючи поверхнево-активні речовини, аміновмісні агенти, луки та ферменти, щоб покращити його адгезивні властивості. 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 [2-5].

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°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 (цитратну кислоту, карбамід, гідроксид натрію) в кількості 1, 3, 5 мас.ч. на 100 мас.ч. соєво-протеїнової суспензії та досліджували основні властивості відносно густину, рН, сухий залишок клею та міцність фанери на зріз.

Для виконання досліджень використовували лушений березовий шпон (розміром $300 \times 300 \times 1,5$ мм, вологістю $8 \pm 2\%$) та виготовляли тришарову фанеру за таких режимних параметрів склеювання: тиск – 1,8 МПа, температура – 150°C , тривалість – 6 хв, витрата клею – 150 г/м^2 . Для оцінювання якості склеювання фанери визначали міцність її на зріз згідно ДСТУ EN 314-2.

Додавання цитратної кислоти, рН якої становить 2,18, буде призводити до зміни рН середовища дисперсії соєвого протеїну ізоляту в кислотний бік. Із збільшенням вмісту цитратної кислоти від 1 до 5 мас.ч. значення рН становитимуть 5,68-3,85, відповідно.

Із збільшенням вмісту гідроксиду натрію від 1 до 5 мас.ч. рН клейової композиції також зміщується в лужну сторону від 9,8 до 12. Регулювання рівня рН дисперсій соєвого протеїну до дуже кислого або лужного середовища може призвести до значних змін у структурі білків, зокрема β -конгліцину та гліциніну, основних білків соєвого протеїну, тобто третинна або четвертинна структура протеїну може зазнавати змін.

Значення рН середовища клею, який модифікований карбамідом, є практично нейтральним. І карбамід не суттєво впливає на рН клейової композиції.

Карбамід, на відміну від попередніх модифікаторів, має нейтральне середовище і під час додавання до соєвого протеїну тільки частково розкриває протеїн. Із збільшенням вмісту карбаміду від 1 до 5 мас.ч. густина клею на основі соєвого протеїну збільшується від 1,014 до $1,118 \text{ г/см}^3$. Великі молекули соєвого протеїну, коли вони набрякають, можуть спричиняти збільшення в'язкості дисперсії та утворенням гелеподібних структур у воді.

Не зважаючи на те, що отримується досить в'язка суспензія, але сухий залишок є низьким, оскільки протеїн має великі макромолекули, які добре набрякають у воді.

Із наведених даних випливає, що із збільшенням вмісту модифікатору (гідроксиду натрію, цитратну кислоту, карбаміду) сухий залишок клею коливається від 23,80 до 28,49%, порівняно із суспензією, сухий залишок якої становить 20,32%.

Отримані результати свідчать, що введення досліджуваних модифікаторів у сухому вигляді у діапазоні від 1 до 5 мас. частки до соєвого протеїну призводить до формування клеїв, які не відповідають експлуатаційним та технологічним вимогам. Зокрема, спостерігається однорідність клею, але вони виявляють значну в'язкість та не текучість, що ускладнює визначення умовної в'язкості. Крім того, клеї наносяться на поверхню шпону незадовільно контактним способом.

Значення міцності фанери на зріз відповідають вимогам стандарту і значення є більшими встановленої стандартом межі 1,0 МПа. Із збільшенням вмісту від 1 до 5 мас.ч. цитратної кислоти спостерігається рівномірне підняття міцності фанери на зріз. Діапазон значень коливається від 1,08 до 1,12 МПа.

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 гідроксидом натрію 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 694.1:674.214:674.419

Манзюк А.О., аспірант
Воронович С.В., аспірант
Маєвський В.О., докт. техн. наук, професор
Національний лісотехнічний університет України, м. Львів
volodymyr_mayevskyy@nltu.edu.ua

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ НАПОВНЮВАЧА ДЛЯ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Станом на грудень 2023 р. за даними різних джерел, за час війни в Україні від 2.4 до 4 млн осіб втратили своє житло [1]. Тому постає питання швидкої побудови екологічного, енергоефективного та надійного житла. Одним з екологічних будівельних матеріалів є деревина. Оскільки, використання деревини є обмеженим [2], то необхідно розробити такий будівельний матеріал, який не поступатиметься своїми характеристиками як міцнісними, так і теплофізичними, дерев'яному, але дасть змогу ефективно використати деревину.

Для вирішення вищепоставлених завдань, розроблено конструкцію будівельного елемента, який має наповнювач в його порожнині та виготовлений з деревини. Загальний вигляд порожнистого будівельного елемента з наповнювачем наведено на рис.

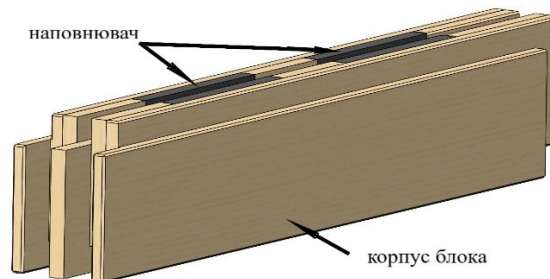


Рис. 1 – Загальний вигляд порожнистого будівельного елемента з наповнювачем

Проведено аналіз низки матеріалів, які потенційно можна використовувати як наповнювач для наведеного будівельного елемента, зокрема: деревинної стружки, каоліну, перліту, керамзиту [3-5]. Основні досліджувані характеристики наповнювача – теплопровідність, вологопоглинання та вологовіддача, паропроникність і звукоізоляція, прийнято зі спеціалізованої науково-технічної літератури.

Результати порівняння характеристик наповнювача свідчать, що: найкращі показники теплопровідності мають перліт та каолін, при цьому водопоглинання перліту становить в межах 300 – 400 %, що досить важливо для досліджуваних будівельних елементів. Водопоглинання деревинної стружки також є високим, але за тривалого зволоження вона буде уражена дереворуйнуючими грибами, що призведе до руйнування конструкції в цілому. Якщо розглянути паропроникність, то в перліту вона є найбільшою, що дасть змогу будівельному елементу ефективно виводити надлишкову вологу з приміщення, регулюючи параметри мікроклімату всередині будинку. При цьому найкращий коефіцієнт звукоізоляції має деревинна стружка – 1, а наближений до неї має каолін – 0,8...0,9.

Отже, можна зробити висновок, що для розробленої конструкції будівельних елементів доцільно використати суміш двох наповнювачів, а саме каоліну та перліту. Це дасть змогу забезпечити механічні та теплофізичні характеристики як наповнювача, так і будівельної конструкції загалом.

Список посилань

1. Режим доступу: <https://www.epravda.com.ua/publications/2022/11/7/693516/>.
2. Режим доступу: <https://forest.gov.ua/storage/app/sites/8/public/zvit/publicnii-zvit-za-2022.pdf>.
3. Режим доступу: <https://pidru4niki.com/76227/agropromislovist/sorbenti>.

4. Режим доступу: <https://abeton.ua/produkty/ekrany-shumopohlynalni/>.

5. Режим доступу: <http://poradu24.com/remontu/keramzitobetonni-bloki-texnichni-xarakteristiki.html>.

УДК 694.4

Барабаш Р.Г., аспірант

Миськів Є.М., канд.техн. наук ст.викладач

Національний лісотехнічний університет України, м.Львів, barabash.r@nltu.lviv.ua

ВСТАНОВЛЕННЯ НОРМИ ЧАСУ НА МЕТР ПОГОННИЙ РІЗУ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ НАКЛАДОК ДВЕРНИХ ПОЛОТЕН

Сьогодні, все більше набувають популярності індивідуальні виробництва. Особливістю таких індивідуальних виробництв є їхня гнучкість, яка дозволяє задовільнити найрізноманітніші потреби замовників щодо розмірів, текстури, складності оброблення, опорядження тощо. Для можливості швидкого переналаштування між замовленнями підприємствам все частіше доводиться постійно адаптовуватись та впроваджувати у свій технологічний процес найрізноманітніше обладнання в тому числі обладнання з ЧПУ.

Швидкі темпи будівництва, в свою чергу, зумовлюють попит на продукцію столярно-будівельних виробництв, таку як віконні та дверні блоки. У виробництві дверей, з врахуванням індивідуального виробництва, доводиться часто в межах одного замовлення (однієї квартири чи будинку) враховувати різноманітність розмірів і форм в дизайнерських рішеннях, що в свою чергу негативно впливає на витрату сировини та продуктивність виробництва і призводить до збільшення затрат виробничого часу. При рості затрат виробничого часу на випуск продукції, через перехід до індивідуального виробництва, може втрачатись економічна доцільність чи конкурентоздатність вартості продукції. Для уникнення такого ефекту, слід проводити планування та раціональний розподіл операцій в межах одного замовлення, а за можливості, поєднання та раціональний розподіл операцій між різними замовленнями одночасно з врахуванням затрат часу виконання кожної операції.

При виробництві дверних блоків [1], за умов «індивідуальності замовлень», значне збільшення виробничого часу має операція виготовлення накладок дверного полотна, через потребу формування індивідуальних карт розкрою плитних матеріалів. Для зручного розрахунку затрат цього виробничого часу, слід використовувати «норму часу на метр погонний різ» із врахуванням часу на встановлення, базування, холості переміщення.

З метою встановлення норми часу на метр погонний різ при розкроюванні плитних матеріалів на накладки дверних полотен, проведено пасивні експериментальні дослідження у виробничих умовах. Виконано заміри витрати виробничого часу при використанні різних карт розкрою на пильних центрах з ЧПУ. Між використаними картами були наступні відмінності: загальна довжина різ, кількість «поворотів матеріалу», кількість деталей (накладок) та їх розміри, кількість листів плитних матеріалів в пакеті для одночасного розкрою. За аналізом результатів експериментальних досліджень, використовуючи статистичні методи [2], встановлено що норма часу на метр погонний різ при розкроюванні плитних матеріалів на накладки дверних полотен становить 0,44 хв/м.

Список посилань

1. Ференц О.Б., Максимів В.М. Технологія столярних виробів: Навчальний посібник. - Львів: НЛТУ України, 2011 — 400с.
2. Кійко О.А. Статистичні методи підвищення якості продукції деревооброблення. — Івано-Франківськ: Фоліант, 2010. — 176 с.
3. Лісотехнічний термінологічний словник: український, російський, англійський. за ред.: Туниць Ю. Ю., Богуслаєва В. О. Національний лісотехнічний університет України, Львів: Піраміда, 2014. 968 с. - ISBN 978-966-441-368-5

УДК 674.039.26

Салабай Р.Г., канд. техн. наук, доцент
Салабай І.І., канд. техн. наук, ст. викладач
Притула Б.М., студент

Національний лісотехнічний університет України, м.Львів, roman_salabay@ukr.net

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ ПРЕСУВАННЯ НА ВЛАСТИВОСТІ ФАНЕРИ З ТЕРМІЧНО УЩІЛЬНЕНОГО ШПОНУ

Фанера є одним із перспективних деревинних композиційних матеріалів, якість якої характеризується фізико-механічними властивостями, що регламентуються стандартами і технічними умовами та залежать від породи і властивостей деревини лущеного шпону [1]. Окрім цього, на якість фанери також впливають вид та властивості застосованого клею, витрата клею, режим склеювання тощо [2]. Термічне модифікування деревини шляхом ущільнення дозволяє покращити якість готової продукції, а пропарювання дозволяє покращити пластичні властивості та колірні характеристики деревини.

Метою дослідження є проаналізувати властивості фанери, виготовленої за різної витрати клею з модифікованого березового лущеного шпону.

Матеріали та методики дослідження: експериментальні дослідження проводили в навчально-науковій лабораторії кафедри технологій деревинних композиційних матеріалів, целюлози та паперу НЛТУ України на лабораторному обладнанні кафедри.

Підчас проведення експериментальних досліджень лущений шпон з деревини берези пропарювали в автоклаві АГ-2 при температурі 105 °С і тиску 0,1 - 0,12 МПа. Тривалість пропарювання становила: 10, 20, 30 хв.

Шпон ущільнювали на гідравлічному пресі за таких технологічних параметрів: тривалість ущільнення – 5 хв; тиск ущільнення – 2 МПа; температура ущільнення – 150, 180, 210 °С.

Пакети шпону склеювали за таких технологічних параметрів режиму пресування: тривалість пресування – 3 хв; температура – 130 °С; тиск– 1,8 МПа; витрата клею – 110, 100, 90 г/м²;

Фанеру виготовляли з неущільненого березового шпону; з термічно ущільненого березового шпону; та попередньо пропареного і термічно ущільненого березового шпону.

Для склеювання дослідних зразків трьохшарової фанери готували карбамідоформальдегідний клей за рецептурою: смола карбамідоформальдегідна марки КФ-МТ-Ф – 100 мас. ч.; амоній хлористий – 1 мас. ч., каолін – 3 мас. ч.

Підготовка та випробування зразків здійснювалися відповідно до стандартних методик визначення фізико-механічних властивостей фанери.

Результати дослідження. Результати експериментальних даних відображено у таблиці 1.

Висновки. При визначенні показників фізико-механічних властивостей фанери отримані результати засвідчують, що при збільшенні витрати клею від 90 до 110 г/м²: щільність фанери зростає (найвищою спостерігалася щільність у зразках фанери, виготовлених з шпону, ущільненого при температурі 210 °С), а водопоглинання та об'ємне набрякання фанери – зменшується. Внаслідок ущільнення шпону водопоглинання та об'ємне набрякання фанери збільшується, порівняно із зразками фанери, виготовленої з неущільненого шпону. Проте, якщо шпон пропарити, то результати показників водопоглинання та об'ємного набрякання фанери близькі до результатів аналогічних досліджень зразків фанери, виготовлених з немодифікованого шпону. Міцність на зріз фанери зростає (найвищою спостерігалась міцність на зріз у зразках фанери, виготовлених з лущеного шпону ущільненого при температурі 180 °С). Міцність фанери на статичний згин також зростає. При дослідженні зразків фанери, виготовлених з лущеного шпону непропареного ущільненого за температури 150 °С, 180 °С та пропареного 10 хвилин спостерігалась вища міцність фанери на статичний згин порівняно із зразками фанери, виготовлених із немодифікованого шпону. Пропарювання шпону 20 хвилин і більше погіршує показники міцності фанери на

статичний згин. У всіх випадках виготовлені під час проведення експериментальних досліджень зразки фанери відповідають стандартам і технічним умовам на продукцію.

Таблиця 1 – Результати експериментальних даних

№ з/П	Змінні фактори			Вихідні параметри				
	тривалість пропарювання, хв	температура уцілювання, °С	витрата клею, г/м ²	щільність, кг/м ³	вдопоглинання, %	об'ємне набрякання, %	межа міцності на зріз	межа міцності на статичний згин
1	-	-	110	720,0	40,0	10,4	2,30	151,6
2	-	-	100	712,4	40,3	12,0	2,22	146,2
3	-	-	90	703,4	42,3	12,7	1,88	141,0
4	-	150	110	740,0	40,9	21,6	2,22	152,5
5	-	150	100	747,2	42,9	22,0	2,15	149,8
6	-	150	90	745,5	44,6	22,3	1,90	145,9
7	-	180	110	756,3	40,2	18,1	2,61	152,3
8	-	180	100	762,2	45,2	19,8	2,50	151,9
9	-	180	90	759,6	47,2	22,0	2,12	143,6
10	-	210	110	778,8	43,5	22,6	2,27	138,0
11	-	210	100	803,9	44,3	26,9	2,22	133,2
12	-	210	90	794,9	45,6	27,6	2,00	123,4
13	10	150	110	817,6	51,2	32,1	1,80	160,0
14	10	150	100	809,9	53,5	33,6	1,76	159,0
15	10	150	90	797,2	55,8	36,0	1,41	154,1
16	10	180	110	778,8	39,0	18,8	2,60	159,0
17	10	180	100	753,8	40,0	19,1	2,53	157,5
18	10	180	90	737,8	42,8	20,4	2,09	148,8
19	10	210	110	742,4	48,1	22,1	1,56	139,2
20	10	210	100	734,3	48,8	23,3	1,42	135,3
21	10	210	90	727,1	50,7	26,3	1,26	131,5
22	20	150	110	730,2	50,5	21,3	2,09	141,9
23	20	150	100	725,0	52,0	23,6	1,94	140,1
24	20	150	90	711,0	55,2	24,0	1,44	134,6
25	20	180	110	742,4	40,1	15,6	2,36	148,2
26	20	180	100	740,6	40,8	16,4	2,31	146,6
27	20	180	90	716,1	43,2	18,5	2,00	141,9
28	20	210	110	760	48	19,4	1,60	141
29	20	210	100	754,7	50,0	21,0	1,37	140,0
30	20	210	90	725,5	52,0	22,2	1,21	138,0
31	30	150	110	720,0	54,6	32,1	1,39	143,4
32	30	150	100	715,0	56,1	31,7	1,25	141,0
33	30	150	90	710,8	60,9	32,0	1,17	130,4
34	30	180	110	724,5	39,9	15,0	2,54	137,2
35	30	180	100	723,5	39,8	15,5	2,30	134,7
36	30	180	90	720,0	42,5	15,6	2,02	133,0
37	30	210	110	748,1	42,8	17,4	1,89	138,4
38	30	210	100	754,8	44,9	18,3	1,54	136,6
39	30	210	90	732,3	50,0	17,5	1,38	135,0

Список посилань

1. Бехта П.А. Виробництво шпону: підручник / П.А. Бехта. – К.: Основа, 2003. – 256 с.
2. Бехта П.А. Виробництво фанери: підручник / П.А. Бехта. – К.: Основа, 2003. – 320 с.

УДК 674.039.26

Салабай Р.Г., канд. техн. наук, доцент
Салабай І.І., канд. техн. наук, ст. викл.
Лемешко І.О., студент

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, roman_salabay@ukr.net

ДОСЛІДЖЕННЯ ТОКСИЧНОСТІ ФАНЕРИ, ВИГОТОВЛЕНОЇ З ТЕРМІЧНО УЩІЛЬНЕНОГО ШПОНУ

Актуальність теми. Для виготовлення фанери найчастіше використовують дешеві карбамідоформальдегідні (КФ) клеї, які забезпечують хороші механічні властивості продукції [1]. Проте, істотним недоліком таких клеїв є те, що вони не є екологічними, тому що містять непрореагований під час поліконденсації формальдегід. Вільний формальдегід виділяється як у процесі виготовлення, так і в процесі експлуатації готового виробу. Доведено, що формальдегід може викликати алергічні реакції, призвести до захворювань органів дихання, очей, шкіри, травної й нервової систем і навіть до раку та лейкемії. Формальдегід офіційно визнано канцерогеном категорії 1В.

Токсичність фанери найчастіше зменшують цілеспрямованим хімічним, фізичним чи комбінованим модифікуванням клейових композицій та шпону.

Мета роботи: визначити вміст вільного формальдегіду у фанері, виготовленій з термічно ущільненого за різних змінних параметрів шпону.

Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити такі завдання:

- Проаналізувати методи визначення токсичності.
- Ущільнити шпон за різних параметрів.
- Виготовити дослідні зразки фанери з неущільненого та ущільненого за різних параметрів шпону.
- Визначити вміст вільного формальдегіду у фанері перфораторним методом.

Матеріали та методики дослідження: експериментальні дослідження проводили в навчально-науковій лабораторії технологій деревинних композиційних матеріалів кафедри технологій деревинних композиційних матеріалів, целюлози та паперу НЛТУ України на лабораторному обладнанні кафедри.

Для проведення експериментальних досліджень використовували березовий шпон розміром 300 x 300 x 1,5 мм.

Шпон ущільнювали на гідравлічному пресі за таких технологічних параметрів:

- тривалість ущільнення шпону – 3, 5, 7 хв;
- температура ущільнення – 150, 180, 210 °С.
- тиск ущільнення шпону – 2 МПа;

Пакети шпону склеювали на лабораторному гідравлічному пресі за таких технологічних параметрів режиму пресування:

- тривалість пресування – 3 хв;
- температура пресування - 130 °С;
- тиск пресування – 1,8 МПа;
- витрата клею – 110 г/м².

Фанеру виготовляли з неущільненого лущеного шпону та з термічно ущільненого лущеного шпону з деревини берези.

Для склеювання дослідних зразків трьохшарової фанери готували карбамідоформальдегідний клей за наступною рецептурою:

Смола карбамідоформальдегідна марки КФ-МТ-Ф.....100 мас. ч.

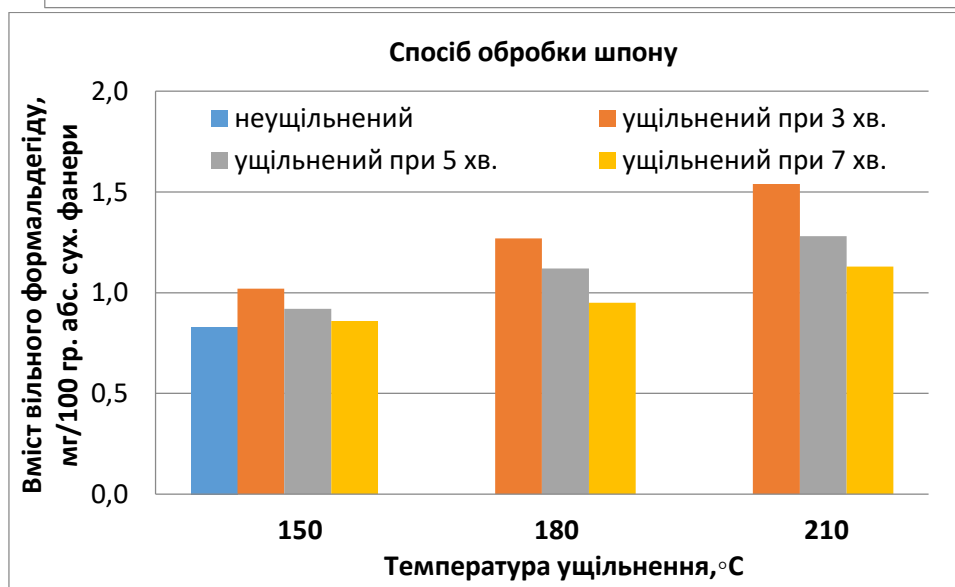
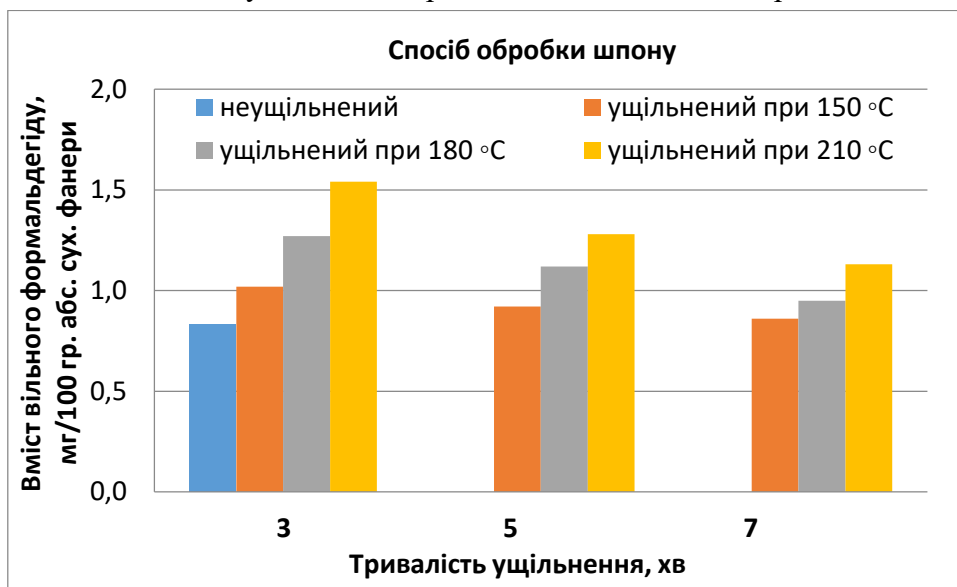
Амоній хлористий.....1 мас. ч.

Каолін.....3 мас. ч.

Дослідні зразки фанери витримували для вирівнювання внутрішніх напружень, після чого вирізали зразки відповідно до стандартної методики визначення вмісту вільного формальдегіду.

Вміст вільного формальдегіду у фанері визначали екстрактним (перфораторним) методом згідно ДСТУ EN 120:2006 [2].

Результати досліджень. Результати експериментальних даних відображено на гістограмах.



Висновки. При збільшенні тривалості ущільнення шпону від 3 до 7 хвилин вміст вільного формальдегіду у фанері, виготовленій з термічно ущільненого за різних температур шпону спадає. Найбільшим спостерігається показник вмісту вільного формальдегіду у зразках фанери, виготовлених із шпону, ущільненого при температурі 210 °C впродовж 3 хвилин. Найнижчого значення вмісту вільного формальдегіду набули зразки фанери, виготовлені з неущільненого шпону.

Із збільшенням температури ущільнення шпону від 150 до 210 °C показник вмісту вільного формальдегіду у фанері збільшується. Найменше значення вмісту вільного формальдегіду спостерігався у зразках фанери, виготовленої при температурі ущільнення

150 °С впродовж 7 хв. З графіку можна побачити що максимальне значення вмісту вільного формальдегіду спостерігається у зразках фанери, виготовлених із шпону ущільненого при 210°С впродовж 3 хвилини.

Список посилань

1. Бехта П.А. Виробництво фанери: підручник / П.А. Бехта. – К.: Основа, 2003. – 320 с.
2. Плити деревні. Екстрактний метод визначення вмісту формальдегіду (перфораторний метод) (EN 120:1992, IDT): ДСТУ EN 120:2006 – [Чинний з 2007-07-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – IV, 10 с. – (Національний стандарт України).

УДК 674

Попівнич В.В., студент

Сапон С.П., канд. техн. наук., доцент

Національний університет «Чернігівська політехніка», vladpopivnych@gmail.com

ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОСНАЩЕННЯ ДЛЯ КУТОВОЇ ШЛІФУВАЛЬНОЇ МАШИНИ В ДЕРЕВООБРОБНОМУ ТА МЕБЛЕВОМУ ВИРОБНИЦТВІ

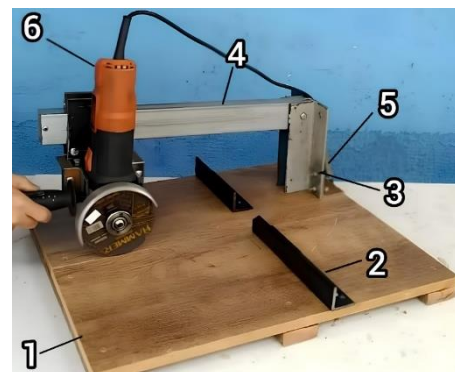
Технологічне оснащення – це засоби, які доповнюють технологічне устаткування під час виконання певної частини технологічного процесу. Застосування сучасних засобів технологічного оснащення дозволяє підвищити продуктивність процесів деревообробного виробництва, точність і якість продукції, що виготовляється. Крім цього, технологічне оснащення дозволяє розширити технологічні можливості деревообробного обладнання та механізованого деревообробного інструменту.

Кутова шліфувальна машина (КШМ) є одним з найбільш універсальних інструментів у цій галузі, здатна виконувати широкий спектр завдань від шліфування до різання. Технологічне оснащення для КШМ, таке як різноманітні насадки, дозволяє значно розширити можливості використання цього інструменту в одиничному і дрібносерійному деревообробному і меблевому виробництві.

В роботі на прикладі тримача, стрічкової шліфувальної насадки і насадки ланцюгової пилки показано розширені можливості використання такого поширеного інструменту, як КШМ.

Тримач для КШМ (рис. 1) є пристроєм, який дозволяє перетворити КШМ на інструмент для розпилювання, торцювання заготовок. Основна функція тримача полягає у підвищенні точності різання та безпеки процесу при використанні КШМ з пильним диском. Конструкція тримача забезпечує можливість швидкої заміни дисків та легкості установки на нього різних моделей КШМ.

Стрічкова шліфувальна насадка (рис. 2) перетворює КШМ на стрічкову шліфмашину для шліфування дерев'яних та металевих виробів. Основна функція цієї насадки полягає у забезпеченні можливості шліфування за допомогою КШМ. Конструкція насадки забезпечує швидку заміну та регулювання натягу шліфувальної стрічки, ергономічність та сумісність з різними моделями КШМ.



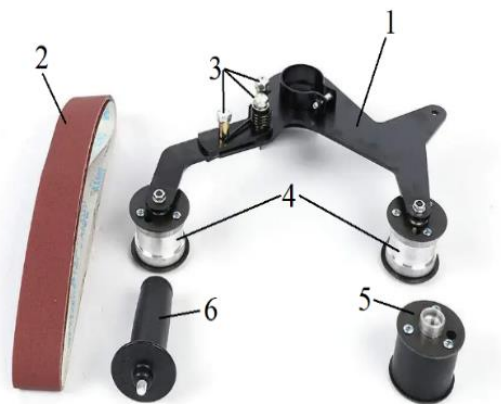
1 – підставка, 2 – кутники, 3 – кріпильні елементи, 4 – балка, 5 – пружина, 6 – КШМ

Рис. 1 – Тримач для КШМ



Рис. 2 – Стрічкова шліфувальна насадка

Стрічкова шліфувальна насадка перетворює кутову шліфувальну машину на універсальний інструмент для шліфування різноманітних матеріалів, включаючи дерево та метал. Шліфувальна насадка має регулювальні гвинти, які дозволяють налаштувати натяг стрічки, а ролик та приводний барабан забезпечують її направлений рух.



1 – корпус насадки, 2 – шліфувальна стрічка, 3 – регулювальні гвинти, 4 – ролик, 5 – приводний барабан, 6 – ручка

Рис. 3 – Елементи стрічкової шліфувальної насадки

Насадка ланцюгової пили (рис. 4) для кутової шліфувальної машини не перетворює інструмент у повноцінну ланцюгову пилу, а надає додаткові можливості для розпилювання деревини невеликих розмірів, переважно в домашньому господарстві та на присадібній ділянці. Насадка ланцюгової пили не може замінити спеціалізовані інструменти, призначені для обробки великих об'ємів деревини, коли потрібна висока продуктивність.



1 – корпус насадки, 2 – направляюча шина, 3 – бачок для мастила, 4 – пильна шина, 5 – пильний ланцюг, 6 – ручка, 7 – захисний елемент, 8 – зірочки

Рис. 4 – Насадка ланцюгової пили

Конструкція насадки ланцюгової пили включає корпус 1, який служить захистом для внутрішніх компонентів та основою для інших елементів. Направляюча шина 2 забезпечує точність руху ланцюга, а пильна шина 4 направляє його під час різання. Бачок для мастила 3 забезпечує необхідне змащення, що важливо для плавності роботи та зниження зносу. Пильний ланцюг 5 є ріжучим елементом, а ручка 6 дозволяє оператору безпечно керувати процесом різання. Захисний елемент 7 відіграє важливу роль у забезпеченні безпеки, а зірочки 8 передають обертальний рух від двигуна до ланцюга.

Здійснено порівняння функціональних можливостей представлених засобів технологічного оснащення для КШМ зі спеціалізованим механізованим інструментом: торцювальною пилою, стрічковою шліфувальною машиною та електричною пилою. Показано випадки і технологічні задачі, для вирішення яких доцільне і ефективно застосування розглянутих засобів технологічного оснащення для КШМ.

Представлене технологічне оснащення розширює функціонал КШМ, що дозволяє вирішувати з використанням цього інструменту специфічні завдання, підвищуючи в певних межах точність, якість та безпеку роботи.

УДК 674:694

Козак Ю. О., аспірант

Кушпін А.С., канд. техн. наук, доцент

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, andriy.kushpit@nltu.edu.ua

ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ДЕРЕВИНИ ТА ЇХ ВПЛИВ НА МІЦНІСТЬ ДЕРЕВ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Дерев'яні конструкції завжди викликали інтерес у будівельній галузі завдяки своїй природній красі, легкості та екологічності. Однак, їхня міцність та стійкість залежать від ряду факторів, включаючи фізико-механічні властивості інших конструкційних матеріалів, які використовуються разом з деревиною. При створенні таких конструкцій, з поєднанням різних матеріалів, розуміння впливу характеристик цих матеріалів стає критично важливим для забезпечення безпеки, довговічності та ефективності будівельних об'єктів.

Рівень дослідженості впливу фізико-механічних властивостей основних конструкційних матеріалів на міцнісні характеристики дерев'яних конструкцій, є високим, однак існують певні недоліки та прогалини у нашому розумінні цього питання.

Дослідниками було проведено значну кількість експериментальних досліджень, спрямованих на вивчення впливу фізико-механічних властивостей матеріалів, на деформації та руйнування дерев'яних конструкцій. Ці дослідження дозволили отримати важливі дані про міцність, пружність та інші характеристики дерев'яних конструкцій під впливом різних навантажень.

Численні теоретичні розробки математичних моделей та методів аналізу поведінки дерев'яних конструкцій під впливом різних факторів дозволили отримати глибше розуміння механізмів взаємодії матеріалів та розвинути нові методи прогнозування поведінки конструкцій у різних умовах експлуатації.

Проте з розвитком технологій, розробкою сучасних деревинних матеріалів, зокрема модифікованих та композиційних, є потреб дослідити аспекти взаємодії нових матеріалів в конструкціях та при експлуатації. Також існує потреба в більш системному підході до аналізу впливу фізико-механічних властивостей на міцнісні характеристики дерев'яних конструкцій, зокрема урахування впливу вологості, температури та інших екологічних факторів.

Отже, незважаючи на наявні дослідження в цій області, є потреба в подальших дослідженнях з метою розширення наших знань та розробки нових підходів до

проектування та експлуатації дерев'яних конструкцій з урахуванням їх взаємодії з іншими конструкційними матеріалами.

Відомості про вплив фізико-механічних властивостей основних конструкційних матеріалів на міцнісні характеристики дерев'яних конструкцій мають велике значення для розвитку будівництва та підвищення якості споруд. На підставі проведеного нами огляду та аналізу існуючих досліджень плануємо розширити пошук в таких перспективних аспектах:

1. Дослідження впливу різних конструкційних матеріалів на міцнісні характеристики дерев'яних конструкцій у різних умовах експлуатації, зокрема з урахуванням вологості, температури та інших факторів.

2. Теоретичні дослідження з розробки математичних моделей та методів аналізу, які дозволять прогнозувати поведінку дерев'яних конструкцій за різних умов.

3. Розвиток нових технологій та матеріали для підвищення міцності та стійкості дерев'яних конструкцій, зокрема шляхом застосування композитних матеріалів або модифікації деревини.

4. Вивчення екологічних аспекти при проектуванні та будівництві, зокрема зменшення використання матеріалів, що мають негативний вплив на навколишнє середовище.

Подальші дослідження в цій області можуть допомогти:

- оптимізувати використання різних видів деревини та розробляти нові технології обробки для підвищення їхніх властивостей;

- поглибити розуміння механізмів взаємодії різних матеріалів у дерев'яних конструкціях для створення більш ефективних та стійких будівельних проектів;

- розробити нові методи оцінки стійкості та довговічності дерев'яних конструкцій у різних умовах експлуатації;

- дослідити вплив будівельних матеріалів на довкілля та розробити екологічно сталий підхід до будівництва.

Подальші дослідження в цій області мають великий потенціал покращити якість та довговічність дерев'яних конструкцій, забезпечуючи стійкі та ефективні рішення для будівництва майбутнього.

Список посилань

1. ДБН В.2.6-161:2017 «Дерев'яні конструкції. Основні положення». Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2017. – 117 с

ДСТУ-Н Б В.2.6-184:2012 Конструкції будинків і споруд. Конструкції із цільної і клеєної деревини. Настанова з проектування

Гомон С. Методика досліджень основних механічних та деформативних властивостей суцільної та клеєної деревини / С. Гомон // Праці VI Міжнародної науково-технічної конференції „Пошкодження матеріалів під час експлуатації, методи його діагностування і прогнозування“, 24-27 вересня 2019 р. – Т. : ТНТУ, 2019. – С. 198–200. – (Оцінювання залишкового ресурсу елементів конструкцій).

4. Кліменко В.З. Ефективний конструкційний матеріал - клеєна деревина. Будівництво України : Науково-виробничий журнал. 2009. – Вип. 9/10. – С. 16-20

ГОСТ 16483.0-89. Деревина. Загальні вимоги до фізико-механічних випробувань

СЕКЦІЯ 3.

ГІДРАВЛІЧНІ ТА ПНЕВМАТИЧНІ СИСТЕМИ

УДК 621.25:622.276

Ворожка А.С., аспірант

Лобуренко М.В., науковий співробітник

Павленко І. В., докт. техн. наук, професор

Папченко А. А., канд. техн. наук, доцент

Тягно О.В., аспірант

Сумський державний університет, i.pavlenko@cm.sumdu.edu.ua

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ НАПІВЗАНУРЮВАНИХ ВЕРТИКАЛЬНИХ НАСОСІВ ДЛЯ ПЕРЕКАЧУВАННЯ РОБОЧИХ СЕРЕДОВИЩ НАФТОПЕРЕРОБНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Модернізація технологічних ліній нафтовидобувної і нафтопереробної галузей промисловості України вимагає перегляду технологічних процесів, а також використання більш прогресивного та енергоефективного обладнання. З огляду на те, що основними рушіями рідини в технологічних лініях є відцентрові насоси, однією із задач модернізації є розроблення і впровадження більш сучасних насосів.

Відповідно до міжнародного стандарту API 610 / ISO 13709:2009 «Centrifugal Pumps for Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries», основними конструктивними схемами насосів є OH1–OH5, BB2–BB5 та VS1–VS5. Насоси більшості конструктивних схем виготовляються як вітчизняними підприємствами (наприклад, АТ «Сумський завод Насосенергомаш», ТОВ «Сумський машинобудівний завод», ТОВ «Сумська насосна техніка», ТОВ «Завод НГО», ТОВ «Завод ПЕМ» тощо), так і закордонними компаніями (наприклад, «KSB», «Sulzer», «Andritz» та ін.).

Найменш освоєною є конструктивна схема вертикальних відцентрових напівзанурюваних насосів VS4, VS5 з огляду на значну варіативність їх конструктивних та режимних параметрів (подача, напір, частота обертання валу, робоче середовище і його температура, глибина занурення та установчі розміри монтажного фланця).

З огляду на вищезазначене, метою роботи є підвищення енергоефективності насосів обраної конструктивної схеми. Для досягнення цієї мети необхідно розв'язати такі задачі: дослідити робочий процес у напівзанурюваних вертикальних відцентрових насосах, розробити концепцію їх уніфікації і створити типорозмірний ряд, розробити технічну документацію на виготовлення насоса Prime Pump CVN 065-040-200.

Вирішення цієї проблеми дозволить запропонувати вітчизняним і закордонним підприємствам нафтопереробної та нафтовидобувної галузі більш енергоефективні, надійні й менш вартісні насосні агрегати, а реалізація усіх науково-технічних розробок дозволить підвищити ефективність використання палив, одержаних із вітчизняної сировинної бази та відходів виробництв, що відповідає потребам Міністерства енергетики України.

Використання уніфікованих елементів дасть змогу значно спростити процес розроблення і виготовлення нових типорозмірів насосів шляхом використання раніше створених блочних елементів. Заключним етапом роботи буде розроблення типорозмірного ряду насосів з діапазонами подачі 12,5–120 м³/год, напору 30–110 м та частоти обертання 1500–3000 об/хв для потреб нафтовидобувних та нафтопереробних підприємств.

Відповідна науково-технічна розробка «Дослідження робочого процесу та розробка напівзанурюваних вертикальних насосів для перекачування робочих середовищ нафтопереробної промисловості з високоефективними конструкціями ущільнень і динамічних підшипників» здійснюється у рамках виконання завдань перспективного плану

розвитку наукового напрямку «Технічні науки» Сумського державного університету» (ДР № 0121U112684).

УДК 621.512:62 – 762

Начовний І.І., канд. техн. наук, доцент,

Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро, dekan.udhtu@gmail.com

Павленко А.А., асистент

Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро, aavsaa@ukr.net

Чуприна О.А., магістр,

Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро, somalexx@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСУ УЩІЛЬНЕННЯ ШТОКА ПОРШНЕВОГО КОМПРЕСОРА У ВИРОБНИЧИХ УМОВАХ

Для компримирування газів в хімічній та інших галузях промисловості знаходять використання поршневі опозитні компресори. Такі компресори мають циліндри подвійної дії, у яких поршень зв'язаний з механізмом руху через шток, герметичність по якому забезпечується за допомогою ущільнень (сальників). Загальним для цих ущільнень є багатокамерне виконання, при якому в кожній камері знаходиться ущільнювальний елемент, який складається з декількох деталей. Типовими є ущільнення з плоскими та конічними ущільнювальними елементами.

Ущільнювальні елементи установлюються в камерах з можливістю їх зміщення в радіальному напрямку з метою відслідковування биття штока.

Об'єктом досліджень були ущільнювальні елементи у вигляді конічних кілець. Такі ущільнювальні кільця складаються з набору трьох кілець з розрізами – одного Т-подібного з кутом конуса відносно осі штока 60° і двох кілець у вигляді прямокутної трапеції, розташованих у розточках Т-подібного кільця з перекриттям розрізів. Циліндр працює при тиску всмоктування 10 МПа і тиску нагнітання 22 МПа. Діаметр штока становить 0,1 м. Матеріал кілець ущільнювальних елементів – бабіт Б83.

Сальник складається з шести робочих камер з конічними елементами і двох камер з дросельними елементами на вході газу в сальник. Зовнішня (шоста) робоча камера виконує функцію предсальника. Сальник працює зі змащуванням.

Величина зносу складових деталей ущільнювального елемента визначалась вимірюванням їх радіальної товщини до і після роботи. Напрацювання становило 2160 годин. Виміри здійснювались по колу кожного кільця в шести перерізах. Результати оброблені методом математичної статистики.

Підтверджено, що найбільше зношується ущільнювальний елемент, розташований першим від входу газу, і останній на виході (п'ятий перед предсальником).

Аналіз результатів вимірювання величини зносу за колом ущільнювальних елементів показав, що кільця зношуються нерівномірно. Це можна пояснити хвилястістю поверхонь штока і ущільнювальних елементів. Нерівномірний знос спостерігається і між кільцями в одному і тому ж перерізі. Менше зношується кільце ущільнювальних елементів, розташоване першим за рухом газу, і найбільше – кільце після Т-подібного кільця, що пов'язано з нерівномірним розподілом контактного тиску за шириною ущільнювального елемента. Зусилля від дії рівномірного тиску на зовнішню поверхню ущільнювального елемента протидіє зусилля від дії тиску газу в зоні контакту між ущільнювальним елементом і штоком. А тиск газу за шириною ущільнювального елемента знижується до виходу з нього. Відповідно, кільце, яке стоїть за Т-подібним кільцем, зношується більше.

Візуальний огляд ущільнювальних елементів показав, що на них є ділянки, які практично не зношувались. Максимальна величина зносу становила $80 \cdot 10^{-6}$ м.

Отримані результати можуть корисні при розробці конструкції сальників компресорів.

UDC 674:621.928.93

Udovytska Mariana, teacher of the highest category

Technological College of the Ukrainian National Forestry University, Lviv, udovytskam@gmail.com

Udovytskyi Oleksandr, PhD in Technical Sciences

Ukrainian National Forestry University, Lviv, o.udvytskyi@nltu.edu.ua

MATHEMATICAL MODELING OF THE CRUSHED WOOD PARTICLES MOVEMENT IN PNEUMATIC TRANSPORT SYSTEMS

At industrial enterprises of the woodworking industry transport pneumatic systems (TPS) are used to remove air contaminated with small wood waste, followed by its aspiration with the help of cyclones [1, 2]. The transportation of crushed material with the help of TPS is carried out due to the flow of air moving through the pipelines. TPS make it possible to transport crushed material along a complex trajectory, collect material from various loading devices and hard-to-reach places, and protect the environment from dust pollution during transportation.

The main disadvantage of TPS is the high specific consumption of electricity, which is determined by the speed of the airflow in the pipeline, the need to separate the material from the air at the end of the transportation route [1, 2].

In this article, an attempt to describe the main concepts of the pneumatic transportation process is made.

The basic concepts in the theory of pneumatic transport are transportation speed, the speed of floating (soaring) of a part and the starting speed of movement of a material particle.

When analysing the movement of dust particles along the TPS pipeline, the following main sections should be distinguished (Fig. 1):

- movement along the vertical section;
- movement along a horizontal section;
- movement in the elbow (ell).

It is assumed that a dust particle in a vertical pipeline will move if the value of the air flow speed exceeds the soaring speed of the particle.

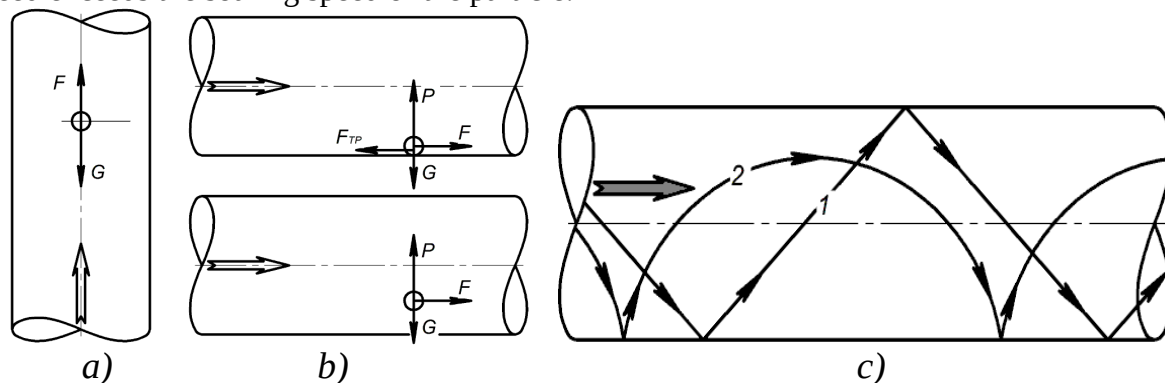


Fig. 1 – Movement of a particle in a vertical (a) and in a horizontal (b) pipeline;
the nature of the movement of dust particles in a horizontal pipeline (c):

1 – movement along an indirect line; 2 – movement along a curvilinear trajectory.

The force F with which the flow acts on the particle is determined by the dependence:

$$F = C_F \cdot S \cdot \frac{\rho_n}{2} \cdot V^2 \quad (1)$$

where C_F – the resistance coefficient, which depends on the shape of the particle;

S – the area of the projection of the particle on the plane that is perpendicular to the flow direction;

ρ_n – air density;

V – the speed of air flow.

In order for a particle to move in a horizontal pipeline, the force with which the air flow acts on it must be greater than the sum of all other forces acting on the particle. It is believed [2, 3] that reliable transportation is possible in the case when the flow rate in the pipeline is greater than the starting speed of movement of the particle.

A particle lying at the bottom of the pipeline is affected by the force F of being captured by the flow, the force of gravity G , the force of friction F_{TP} and the lifting force P , which are determined by the following dependencies:

$$P = p_d \cdot \xi \cdot S, \quad (2)$$

where p_d – the dynamic pressure; ξ – the aerodynamic coefficient.

$$F_{TP} = G \cdot f, \quad (3)$$

where f – the coefficient of friction of the wood against the pipeline wall.

The nature of particle movement in a horizontal pipeline depends on such parameters as the mode of movement and speed of air flow, weight and shape of the particle. Possible trajectories are presented on Fig. 1, c.

A more detailed analysis of the causes of pressure decrease during pneumatic transportation is made in the work [3] (Fig. 2), where the following main components are highlighted. Pressure decrease, which is caused by friction of the flow against the walls of the pipeline Δp_L . The value of the pressure decrease increases in proportion to the square of the flow rate. The decrease Δp_R , which is associated with the slowing down of the movement of particles near the walls of the pipeline and the need for their further acceleration. The decrease Δp_F , which is caused by the interaction of particles with each other in the air flow. The total pressure decrease dependence curve in the pipeline is shown by the Δp_{tot} curve.

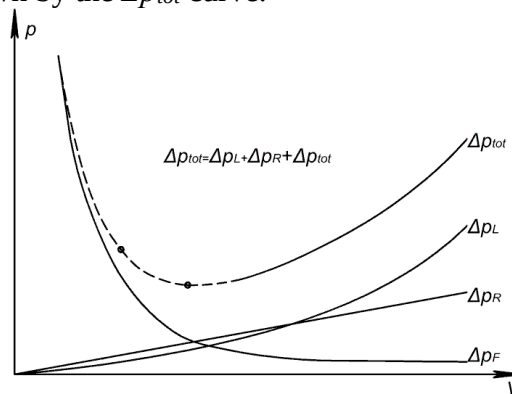


Fig. 2 – Graphs of pressure decrease for components of total pressure

The movement of dust and air flow in the ell is the most complex and therefore requires a more detailed study.

When the air flow moves through a curved channel, the velocities of the flow particles decrease with increasing radius of curvature and, as a result, the pressure near the inner wall is lower than near the outer wall. The uneven distribution of the flow velocity value will lead to an increase in the influence of such forces as aerodynamic, ejective, and Magnus forces, which are usually not taken into account when modelling the process of pneumatic transportation [3, 4].

These phenomena determine the nature of losses in a curvilinear flow, which consist of frictional losses; losses associated with the occurrence of paired vortices; and losses caused by the presence of local flow separations. The latter have the largest relative magnitude, and friction losses account for the smallest share of total losses.

References

1. Kozoriz G.F. Pnevmaticheskie transportnie sistemi derevoobrabativayushchikh predpriyatii: Spravochnik – Lvov.: Vyshcha shk., 1985. – 128 s.

2. A V Liashenyk, O M Udovyt'skyi, L M Dorundiak and M V Udovyt'ska. To the question of mathematical modeling of the crushed wood particles movement in pneumatic transport and aspiration systems. [IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 1277](#), 8 p.

3. S ZOUAOUI, H DJEBOURI, A MENGUELTI, K MOHAMMEDI and A OUAKED 2014 Analytical Approach Modelling of the Motion of a Solid Particle in a Fluid Flow inside a Pipe Conference Paper, Conference: ACMA April, At: Marrakech, Morocco.

4. Electronic resource: <http://neuero.de>. Introduction to the Theoretical and Practical Principles of Pneumatic Conveying SCOTTNEIDIGH, Neuero Corporation, West Chicago, IL, USA.

УДК 629.114.42

Іскович-Лотоцький Р. Д., докт. техн. наук, професор

Іванчук Я. В., докт. техн. наук, професор

Вінницький національний технічний університет, islord@vntu.edu.ua

Веселовська Н.Р., докт. техн. наук, професор

Косаківський А.Ю., аспірант

Романов В.В., аспірант

Булига А.І., аспірант

Вінницький національний аграрний університет, wnatalia@ukr.net

СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ВИКОРИСТАННЯ ГІДРОІМПУЛЬСНИХ ВІБРОРОЗВАНТАЖУВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ НА АВТОМОБІЛЬНОМУ ТРАНСПОРТІ

Комплексна система механізації і автоматизації трудомістких розвантажувальних робіт являється найважливішим засобом збільшення продуктивності праці, підвищення пропускної здатності фронтів і розвантаження рухомого складу на автомобільному транспорті. Автомобільний транспорт виконує перевезення великої кількості різних типів вантажів, що включають в себе як насипні так і навалочні. До 57% всього об'єму автомобільних перевезень вантажів в нашій країні перевозиться автомобілями-самоскидами. З метою полегшення розвантажувальних робіт, скорочення часу простою автомобілів-самоскидів і поліпшення умов праці під розвантажувальними операціями застосовують різне розвантажувальне устаткування. Вибір засобів механізації розвантажувальних робіт визначається залежно від виду вантажу і його фізико-механічних властивостей, а також типу транспортних засобів і об'єму виконуваних робіт. Найбільш перспективним є змінне навісне гідравлічне обладнання, що обумовлене простотою конструкції, компактністю, високою енергоємністю, широким діапазоном регулювання робочих параметрів та можливістю роботи в автоматизованому режимі.

Для підвищення ефективності розвантаження і очищення кузовів автомобілів-самоскидів пропонується застосовувати вібрації [1, 3] або періодичні удари прикладені до вантажонесучого органу [2, 4].

Конструктивна схема віброударного пристрою для розвантаження і очищення кузова самоскида показана на рис. 1, а, б, де виконавчий орган 3 закріплений на днищі кузова 2 автомобіля-самоскида.

У зв'язку з тим, що днище кузова 2 автомобіля-самоскида має ребра жорсткості, ефективність застосування такого пристрою дуже низька. А також використання даного методу розвантаження потребує створення додаткового пристрою у вигляді інерційних мас з пружними елементами і можливістю вбудови в нього кулькового клапана-пульсатора 9, що спричиняє додаткові значні грошові витрати.

У зв'язку з цим було запропоновано використовувати базовий гідропривод автомобіля-самоскида, в якому за рахунок створення в додатковому робочому вібраційному гідроциліндрі 5 пульсуючого тиску від загального гідронасоса 4, за допомогою

спеціального вібробудувача, або клапана-пульсатора 9 [3], досягається можливість створення вібрацій кузова 2, що призводить до одночасного його очищення і розвантажування, тому було запропоновано наступну конструкцію гідроімпульсного вібророзвантажувального пристрою, що представлений на рис. 2, а, б.

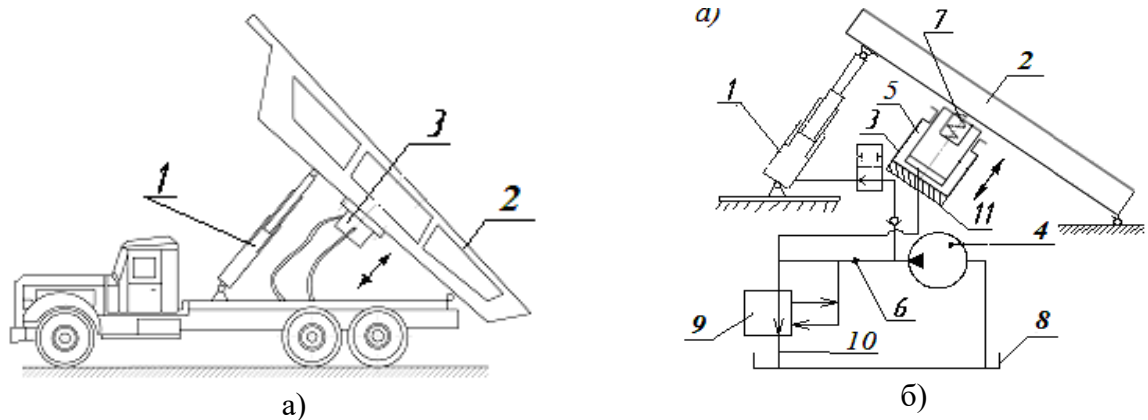


Рис.1 – Гідроімпульсний привод віброударного пристрою для розвантаження кузова автомобіля-самоскида: а) схематичне розташування вузлів гідроприводу; б) гідравлічна схема гідроімпульсного привода віброударного пристрою для розвантаження кузова автомобіля-самоскида

Пристрій працює таким чином. Коли кузов 2 автомобіля-самоскида за допомогою телескопічного підйомного гідроциліндра 1 розвантажується, робоча рідина під тиском від загального гідронасоса 4 поступає в робочу порожнину вібраційного гідроциліндра 5 по магістралі 7 від напірної лінії 6, до якої підключений розподільний пристрій – шариковий однокаскадний клапан-пульсатор 9. Клапан-пульсатор 9 періодично при досягненні заданого тиску, з'єднує напірну магістраль 6 зі зливною 10 в бак 8. Таким чином, у робочій порожнині вібраційного гідроциліндра 5 амплітудне значення тиску рідини змінюється із визначеною періодичністю (частотою) від мінімального до максимального значення (рис.2, б). У проміжок часу, коли кульковий клапан-пульсатор 9 закритий і напірна лінія 6 відділена від лінії зливу 10, гідронасос 4 подає робочу рідину під тиском в робочу порожнину вібраційного гідроциліндра 5.

Під дією тиску рідини плунжер 3, з'єднаний з телескопічним підйомним гідроциліндром 1, переміщується відносно опори – корпуса вібраційного гідроциліндра 5. Напірна лінія 6 з'єднується з лінією зливу 10, яка в свою чергу з'єднана із баком 8, в момент, коли тиск робочої рідини в напірній лінії 6 досягає максимального значення і спрацьовує кульковий клапан-пульсатор 9. Коли тиск в гідросистемі зменшується - плунжер 3 повертається у вихідне положення. У результаті закриття кулькового клапана-пульсатора 9 напірна лінія 6 від'єднується від зливної лінії 10, система переходить у попереднє положення і робочий цикл повторюється.

Досвід використання даного пристрою виявив його основні недоліки, а саме: так як робочий вібраційний гідроциліндр 5 пульсуючого тиску розташований і закріплений безпосередньо на платформі кузова автомобіля-самоскида то вібраційні навантаження, що створюються в робочій порожнині гідроциліндра 5 передаються не тільки на кузов 2 автомобіля-самоскида, але й на сам транспортний засіб, що спричиняє незворотні негативні наслідки на роботоздатність усього автомобіля і здоров'я людини. А також незначні амплітуди коливань із-за того, що поступальне переміщення гідроциліндра 5 передається на кузов 2 автомобіля-самоскида, який в свою чергу виконує обертальний рух навколо опори закріплення 11 і тому має кутову амплітуду коливань, що спричиняє нерівномірне вібраційне навантаження на самий вантаж, що знаходиться на кузові 23 автомобіля-самоскида.

Тому, на основі досвіду експлуатації механізму підйому кузовів автомобілів-самоскидів, було запропоновано новий метод створювати віброударні навантаження безпосередньо в самій робочій порожнині телескопічного підйомного гідроциліндра 1, що безпосередньо передаються на кузов автомобіля-самоскида, шляхом створення ударів в гідросистемі за допомогою клапана-пульсатора 9, який встановлений на зливній лінії (рис. 3, в).

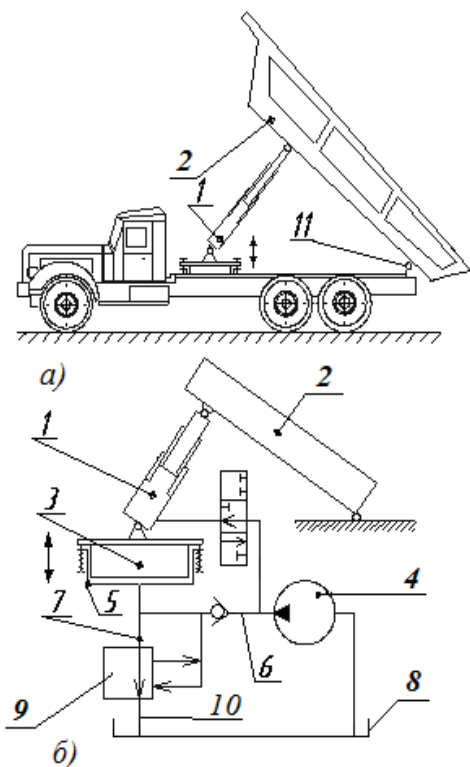


Рис.2 – Гідроімпульсний вібророзвантажувальний пристрій:
а) схематичне розташування вузлів гідроприводу; б) гідравлічна схема приводу вібраційного розвантажувача автомобіля-самоскида, що встановлений на платформі автомобіля-самоскида

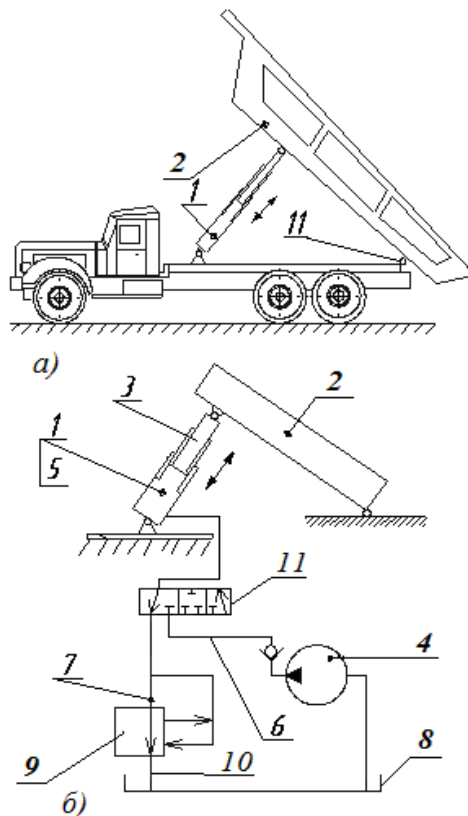


Рис.3 – Гідроімпульсний вібророзвантажувальний пристрій:
а) схематичне розташування вузлів гідроприводу; б) гідравлічна схема приводу вібраційного розвантажувача автомобіля-самоскида при встановленні клапана-пульсатора безпосередньо в зливній лінії телескопічного підйомного гідроциліндра 1

Пристрій на (рис. 3, а, б) працює так. Коли кузов 2 автомобіля-самоскида за допомогою телескопічного підйомного гідроциліндра 1 розвантажується, робоча рідина під тиском від загального гідронасоса 4 поступає в робочу порожнину телескопічного підйомного гідроциліндра 1 по магістралі 7 від напірної лінії 6. Шариковий однокаскадний клапан-пульсатор 9 з'єднаний зі зливною магістраллю 10. При переключенні гідророзподільника 11 в положення на злив, рідина із телескопічного гідроциліндра 1 поступає в зливну магістраль 7 на клапан-пульсатор 9. В свою чергу, коли тиск робочої рідини в зливній магістралі 6 досягає максимального значення, спрацьовує шариковий клапан-пульсатор 9 і виникають коливання, які передаються на вантажонесучий орган (кузов автомобіля-самоскида). Використання запропонованої конструкції вимагає надійного ущільнення телескопічного гідроциліндра. В усіх вищерозглянутих пристроях використовується відомий клапан-пульсатор, принципова схема якого показана на рис. 4. Принцип дії клапана-пульсатора (вібробуджувача), що входить у даний запропонований

пристрій гідропривода вібраційного розвантажувача автомобіля-самоскида оснований на миттєвому збільшенні зусилля P_{n1} відкриття його рухомого запірного елементу у виді кульки 1, яке створюється тиском p_1 на площі підйому S_{n1} ($P_{n1}=p_1 \cdot S_{n1}$), до величини P_{n2} ($P_{n2}>P_{n1}$).

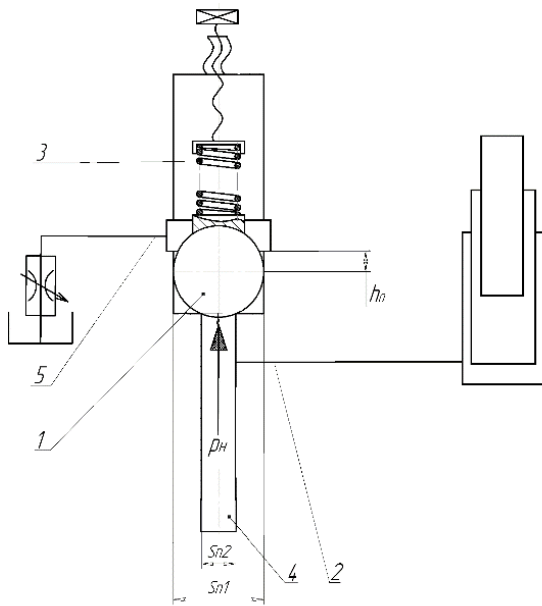


Рис. 4. Принципова схема клапана-пульсатора

Це збільшення відбувається за рахунок ступінчастої зміни площі підйому від S_{n2} до S_{n1} ($S_{n1} > S_{n2}$) в момент порушення герметизації посадки запірного елементу на сідло. Зусилля $P_{n2}=p_1 \cdot S_{n2}$ перевищує зусилля налагодження пружини 2 $P_{np}=P_{n1}$, що притискає запірний елемент клапана 1 до сідла гідроциліндра 2 у вихідному положенні, і може утримувати його у відкритому стані, забезпечуючи доступ рідини із напірної лінії 4 на злив 5 протягом падіння тиску в гідросистемі до величини p_2 . При цьому тискові зусилля на запірному елементі зменшаться до значення $P_{n1}=p_2 \cdot S_{n2}$ і пружина 2 зможе повернути його у вихідне положення, притиснувши до сідла 3.

Миттєве збільшення зусилля відкриття P_{n1} запірного елементу до P_{n2} при ступінчастому збільшенні площі підйому від S_{n2} до S_{n1} забезпечує герметизуюче перекриття h_0 , завдяки якому тиск в гідросистемі в момент порушення герметизації посадки запірного елементу на сідло лишається незмінним ($p \approx p_1$) при його осьовому зміщенні на величину $h \leq h_0$. Принцип дії таких віброзбуджувачів гідроімпульсного приводу ілюструють типові графіки зміни їх основних параметрів, побудовані на основі осцилограм, отриманих при проведенні експериментальних досліджень [5, 6].

Висновки. На основі аналізу досвіду використання розроблених конструкцій вібраційних приводів на автомобільному транспорті було запропоновано новий гідроімпульсний привод віброударного пристрою для розвантаження кузова автомобіля-самоскида який значно спрощує і здешевлює саме впровадження і використання віброударного розвантажувального пристрою і може знайти своє призначення у народному господарстві. Завдяки простоті регулювання параметрів вібрацій, гвинтовим з'єднанням, ми отримали простоту регулювання параметрів вібрацій, компактність конструкції. Застосування однокаскадного клапана-пульсатора в якості регулювальної апаратури дає можливість збільшення потужності і одночасно спрощує конструкцію гідропривода вібраційного розвантажувача автомобіля-самоскида.

Список посилань

1. Пат. 9583 Україна, МПК F 15 B 15/26. Вібраційний гідроциліндр / Р. Д. Іскович-Лотоцький, Я. В. Іванчук - № u 200504193; заявл. 04. 05. 2005; опубл. 30. 08. 05, Бюл. №11.
2. Іскович-Лотоцький Р. Д. Застосування вібраційного гідроімпульсного приводу в сільськогосподарському виробництві. Збірник наукових праць Вінницького державного аграрного університету. Серія: Технічні науки. Вінниця, 2006. № 1. С. 178 – 181.
4. Іскович-Лотоцький Р. Д., Іванчук Я. В. Розробка та дослідження гідроімпульсного приводу вібророзвантажувача автомобіля-самоскида . Всеукраїнський науково-технічний журнал: Промислова гідраліка і пневматика. Вінниця, 2008. №1(19). С. 96 – 99.

УДК 62-729.3

Погорлецький Д.С., канд. техн. наук, доцент

Гричук І.В., докт. техн. наук, професор

Худяков І.В., канд. техн. наук, доцент

Херсонська державна морська академія, м. Херсон, dimon150582@gmail.com

СИСТЕМА ОЧИСТКИ ГІДРАВЛІЧНОГО МАСЛА KLEENTEK ELC-R25SP РУЛОВОЇ МАШИНИ ROLLS-ROYCE FRYDENBO

Для нормальної роботи рульової машини велике значення має чистота гідравлічного масла в гідросистемі, забруднення може привести до виходу з ладу насосів змінної продуктивності. Під час проведення робіт з гідравлічними системами приводу рульової машини необхідно забезпечувати граничну чистоту, навіть незначні забруднення можуть привести до відмов системи керування. У процесі експлуатації рульової машини поряд з фізичними та експлуатаційними властивостями гідравлічного масла на роботу гідравлічних систем істотно впливає чистота масла. Забруднення є причиною більшості збоїв та поломок, що виникають в гідравлічних системах. Від 60 до 80 % відмов гідравлічних систем виникають через неналежну чистоту гідравлічного масла, при тому, що, за різними даними, від 40 до 80 % всіх відмов рульових машин пов'язано з несправностями гідравлічних систем. Причиною забруднення гідравлічного масла може стати потрапляння в нього води (рідини), повітря (газу), механічних (твердих) частинок (особливо небезпечні частинки кварцового пилу) [1-3]. Забруднення можуть надходити в гідравлічну систему зовні через гідроциліндри, через сапун гідравлічного бака найчастіше це відбувається в процесі технічного обслуговування, коли механік відкриває гідравлічну систему. Крім того, накопичення внутрішніх забруднень в гідроагрегатах стає причиною зносу деталей і вузлів гідроагрегатів, а також зносу, який викликаний високим рівнем зовнішнього забруднення. Для оцінки рівня чистоти гідравлічного масла стосовно наявності забруднень у вигляді механічних частинок використовуються класи чистоти рідин і стандарт ISO 4406:Hydraulic

Відповідно до стандарту ISO 4406 оцінка чистоти гідравлічного масла ґрунтується на визначенні кількості забруднюючих частинок, що містяться в робочій рідині. Залежно від кількості частинок визначають клас чистоти масла, який являє собою код у вигляді трьох цифр, розділених косою рисою. Кожна цифра вказує кількість частинок певної розмірної групи, присутніх в 1 см³ масла. Ефективність досягається покриттям рухомих поверхонь тонким шаром мастила. Часто зазори або товщина шару масла становлять лише кілька мікрон. Також лакові відкладення налипають і накопичуються на рухомих поверхнях, наприклад в період технологічної зупинки устаткування, це призводить до збільшення тертя та подальшого зносу цих поверхонь, з можливою відмовою деталей та механізмів, зупинкою або виходом з ладу всього механізму (рис. 1).

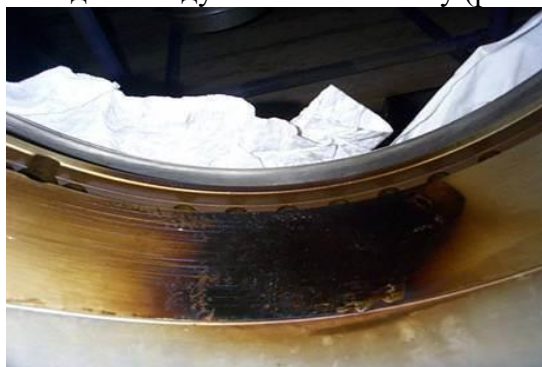


Рис. 1 – Пошкодження корпусу підшипника гідравлічного насосу

У приводах рульових машин для забезпечення рекомендованих класів чистоти гідравлічного масла використовують гідравлічні фільтри. До основних параметрів, що характеризують систему фільтрації відносяться: тонкість фільтрації і коефіцієнт ефективності фільтрування. Коефіцієнт ефективності фільтрування (β_x - бета-коефіцієнт) показує відношення кількості частинок певного розміру, що знаходяться в маслі до фільтрування і після проходження через фільтр (ISO 16889 Hydraulic fluid power. Filters. Multi-pass method for evaluating filtration performance of a filter element) [1-3]. Принципи класифікації викладені в ISO 4406. В документі серед важливих показників забрудненості робочої гідравлічної рідини також виділяється відносна маса механічних домішок (гравіметричний рівень). Для оцінки ймовірності перехоплення забруднень фільтрами істотне значення має форма частинок. Більшість домішок розміром не більше 7 мкм зовні нагадують сферу. Частки розміром від 7 до 35 мкм мають форму тіл дроблення. Решта (понад 35 мкм) - неправильну форму, в тому числі нагадує голку. На знос приводу гідронасосів та машин найбільший вплив роблять абразивні домішки, що визначається їх фізико-хімічним складом. Кількість абразивних частинок в загальній масі забруднень становить близько 50 % і залежить від класу чистоти робочої рідини [1-3]. Одним зі способів очищення гідравлічного масла є використання системи очистки масла рульової машини Kleentek ELC-R25SP, загальний вигляд якої зображено на (рис. 2).

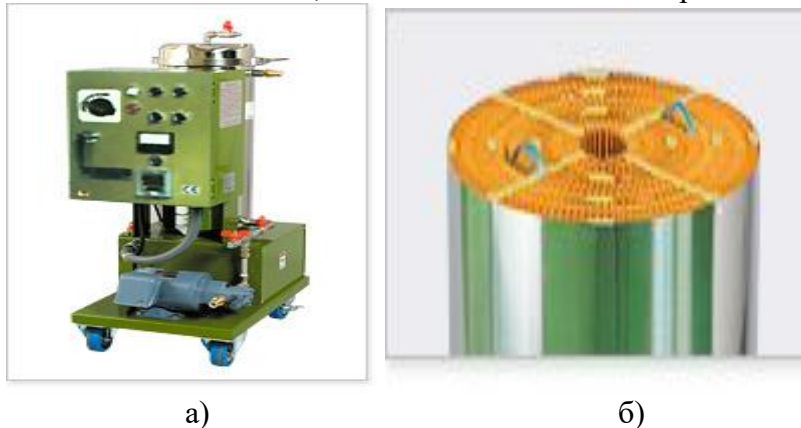


Рис. 2 – Установка электростатического очищения «Kleentek ELC -R25SP»: а) загальний вигляд; б) фільтруючий елемент

Це невеликий переносний очищуючий масло модуль, який прокачує масло з маслобака через камеру електростатичного очищення і повертає його в систему, в безперервному циклі. Під час очистки, в кожен момент часу, з бака видаляється не більше 60 літрів масла, що дозволяє очищати масло безпосередньо в процесі роботи, виключаючи операцію зливу і подальшого заповнення устаткування маслом. Застосування установок «Kleentek ELC» забезпечує глибоке очищення від забруднень, включаючи найбільш агресивні заряджені і дипольні частинки, що складаються з металу, скловолокна, продуктів окислення масла, до субмікронного рівня, і запобігає іскріння в маслі в порівнянні зі звичайними фільтрами. Масло стає чистим, та поступово розчиняє і очищає від забруднень внутрішні поверхні обладнання і масляної системи [1-3]. Це зменшує ризик відмови гідравлічної системи, а також продовжує термін служби масла. Компактна, проста в експлуатації система дозволяє, безпосередньо на робочому місці, визначати чистоту і вологість масла. За допомогою технології мембранного фільтру, дозволяє ідентифікувати всі нерозчинні забруднювачі в маслі, а також наявність в ньому води.

Список посилань

1. Артемов Г.А., Горбов В.М. Суднові енергетичні установки: Навчальний посібник. – Миколаїв: УДМТУ, 2002. – 356 с.

2. Hydraulic fluid power Fluids Method for coding the level of contamination by solid particles [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/79716/d9e67bb574834f389e27d374af881811/ISO-4406-2021.pdf>

3. Kleentek ELC [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://kleentek.net/products/sp-series/elc-r3psp-ce/>

УДК 621.67

Ратушний О.В., канд. техн. наук, доцент

Шерстюк В.М., аспірант

Сумський державний університет, o.ratushnij@pgm.sumdu.edu.ua

ПЕРСПЕКТИВИ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПРОЦЕСУ ЕНЕРГОПЕРЕДАЧІ У ВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСАХ

Наразі перед насособудівниками постає глобальна проблема щодо розроблення насосного обладнання, яке забезпечуватиме створення все більш високих напорів для різноманітних сфер сучасної промисловості та господарства. Тобто виникає потреба інтенсифікувати процес енергопередачі від робочих органів насосів до потоку рідкого середовища, що ними перекачується.

Як відомо, загалом напір у робочих колесах динамічних насосів створюється завдяки двом складовим [1]: коріолісової ($H_{кор}$) і циркуляційної ($H_{цирк}$). $H_{кор}$ – частина напору, що створюється за рахунок дії коріолісових сил інерції, тобто завдяки наявності різниці радіусів входу і виходу решіток профілів, через які протікає потік. $H_{цирк}$ – частина напору, що створюється за рахунок дії циркуляційних сил (за рахунок кривизни профілю в решітці – різниці кутів установки профілю на вході і виході з решітки профілів).

Таким чином, концептуальне вирішення окресленої проблеми насособудування на наш погляд, можливе трьома шляхами – підвищенням складової $H_{кор}$, підвищенням складової $H_{цирк}$ та наближенням до еталону Ейлеровської моделі, тобто загалом подальшою гармонізацією проточної частини насосів за рахунок зменшення витрат через недосконалість геометрії лопатевих систем. Третій підхід вбачається певною інтеграцією перших двох на якісно новому рівні.

При цьому тут виникає принципове питання щодо оптимальної геометрії лопатевої системи динамічного насоса (у першу чергу відцентрового, як принципово найбільш енергонавантаженого). На наш погляд, його можна вирішити, використовуючи гармонічні пропорції (визначення гармонійних співвідношень радіальних розмірів, форми і геометрії лопаті, кутів її установки тощо).

У насособудуванні давно перейшли на просторову форму лопаті відцентрового робочого органу. Але вона має внутрішнє протиріччя. Методика проектування такої лопаті практично ніколи з першого разу не дозволяє отримати «нормальну лопать» – оптимальну з точки зору ККД. Враховуючи досвід розвитку насособудування, можливості та результати сучасних числових досліджень, і необхідність створення все більш високонапірних насосів вбачається потенційна перспектива при створенні відцентрових насосних систем (у першу чергу низької швидкохідності) повернутися до використання лопатей циліндричної форми (з використанням і вдосконаленням відповідних методів їх проектування) на якісно новому рівні.

Список посилань

1. Ратушний, О. В. VI технологічний уклад: перспективи розвитку систем, які передають енергію рідині: монографія / О. В. Ратушний. – Суми : СумДУ, 2020. – 212 с.

УДК 621.941-229.3:531.133

Ратушний О.В., канд. техн. наук, доцент

Сукрут С.В., аспірант

Сумський державний університет, s.sukrut@pgm.sumdu.edu.ua

ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНІЧНОГО РІВНЯ ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСА НИЗЬКОЇ ШВИДКОХІДНОСТІ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ УЩІЛЬНЮЮЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ ВИХРОВОГО ТИПУ

У сучасній гідротехніці однією з актуальних задач є пошук способів підвищення ефективності відцентрових насосів низької швидкохідності. Це особливо актуально у зв'язку зі зростанням вимог до енергоефективності та надійності гідротехнічного обладнання. Одна з концептуальних можливостей реалізації цього – підвищення ККД робочого процесу, тобто зменшення рівня втрат енергії (у першу чергу об'ємних) у проточній частині насоса. Пропонується підвищити технічний рівень таких насосів шляхом застосування ущільнюючих елементів вихрового типу.

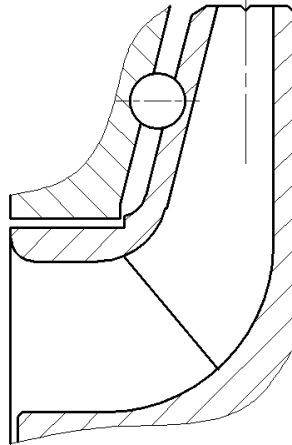


Рис. 1 – Принципова схема відцентрового ступеня з вихровим ущільнюючим елементом.

Мета дослідження полягає у вивченні можливостей підвищення технічного рівня відцентрового насоса низької швидкохідності за допомогою використання ущільнюючих елементів вихрового типу. Основною задачею є аналіз теоретичних аспектів роботи відцентрових насосів та виявлення можливостей оптимізації їхнього технічного балансу та рівня втрат енергії, зниження об'ємних витрат у пазах між статорною та роторною частинами насоса за рахунок використання вихрових камер у якості ущільнюючих елементів.

У роботі буде проведено літературно-патентний пошук за темою дослідження з метою збору і систематизації наявних даних. Детально будуть розглянуті теоретичні основи роботи відцентрових насосів низької швидкохідності, а також особливості балансування та втрат енергії в проточній частині такого насоса.

Основний етап дослідження передбачає аналіз способів ущільнення та визначення можливостей використання вихрових камер у якості ущільнюючих елементів. Будуть створені тривимірні та натурні моделі критичних частин насоса з використанням вихрових камер, а також проведені числові та стендові експерименти з метою оцінки їхнього впливу на ефективність роботи насоса.

Наукові результати дослідження дозволять сформулювати рекомендації щодо використання ущільнюючих елементів вихрового типу для поліпшення технічних характеристик відцентрових насосів низької швидкохідності.

УДК 621

Ковальов С.Ф., канд. техн. наук

Кудін С.В., аспірант

Сумський державний університет, kovalovsf@ukr.net

СТВОРЕННЯ УНІФІКОВАНОГО ПРЯМОТОЧНОГО КЛАПАНА

Велика кількість процесів, які відбуваються в сфері промисловості та обслуговування, не проходять без використання зжатих газів або газових сумішей. Створення останніх відбувається компресорним обладнанням. Як відомо компресор являє собою складну технічну систему, яка складається з ряду вузлових елементів. В моїй науковій роботі пропонується звернути увагу на один з найбільших часто ремонтованих вузлів, а саме – клапан компресора. На даний час існує велика кількість компресорного обладнання того чи іншого конструктивного виконання та різних принципів дії. На сьогоднішній день відомі буквально сотні різновидів клапанів, що різняться за принципом дії, формою та розмірами. На меті стоїть завдання розібратися в фізичних процесах що відбуваються в клапанах та прогнозувати найбільш ефективну конструкцію, що дозволить створити уніфікований та багаторазовий клапан.

Для вирішення сформульованої задачі визначимо алгоритм створення уніфікованого клапана. Застосуємо принцип теорії розвитку технічних систем. Згідно останнього, виділяємо декілька етапів. Перший етап – створення перспективного функціонального центра. Другий етап – розвертання функціонального центру: розширення можливостей, які реалізують більший спектр потрібності для споживача. Основний постулат сучасної теорії розвитку технічних систем – розвиток відбувається по об'єктивно існуючим законам. Їх можна використовувати для вирішення конкретних практичних занять. Закони розвитку технічних систем є окремим випадком більш загальних законів природи. Автором «Теорії вирішення винахідницьких задач» Г.С. Альтшулером та його учнями виявлені та сформульовані принципи розвитку технічних систем. Їх зацікавлення окремими технічними системами показує, що це допомагає виявити нові закономірності, які характерні тільки для цього виду систем. Така робота була проведена для компресоробудування. Спостерігаючи за напрямком руху газу в компресорі, виявляємо ланцюг проходження газу через багатопоршневий компресор від першої ступені до другої і так далі в залежності від їх кількості. Газ який проходить через кожен ступінь компресора збільшує свій тиск, що формує більш складні умови для роботи клапана, а це в свою чергу змушує застосовувати відповідні конструктивні рішення з підвищеними вимогами до міцності. На сьогодні класична схема застосування клапанів виглядає так. На першій ступені знаходяться прямооточні клапани, далі в залежності від умов експлуатації та нагнітаючого газу встановлюються дискові, тарілчасті, грибокві та інші. Відповідно до першого етапу, прийнято рішення взяти за функціональний центр прямооточний клапан та уніфікувати його. Нами планується розробити уніфікований клапан з унікальною конструктивною схемою, яка нам дозволить його застосовувати на всіх ступенях компресора. Як наслідок, підприємства знизять свій складський запас різних типів запчастин для різних клапанів. Наступною частинкою вирішення проблеми по зниженню затрат підприємств - це концептуальна різна робота клапанів. Крім того використання прямооточного клапана в порівнянні з іншими дозволить: зменшити питомий розхід електроенергії 8-12%; збільшиться продуктивність 6-10%; збільшиться в 2-3 рази строк роботи до першої відмови в порівнянні з кільцевими клапанами; зменшиться температура нагнітаючого газу за рахунок менших втрат в клапані; клапани працюють майже безшумно, зменшиться шум від роботи компресора.

Таким чином концептуальна заміна дозволить нам вивести показники компресорних станцій на більш ефективні як по продуктивності так і по затратах на їх обслуговування та використання.

УДК 622.3:534.1

Харченко Є.В., докт. техн. наук, професор

Бутринський Д.І., аспірант

Бутринський І.З., канд. техн. наук, доцент

Національний університет «Львівська політехніка», ihor11@ukr.net

МОДЕЛЮВАННЯ ПОЗДОВЖНИХ КОЛИВАНЬ КОЛОНИ БУРИЛЬНИХ ТРУБ У ЇЇ ВЗАЄМОДІЇ З ПОТОКОМ ПРОМИВАЛЬНОЇ РІДИНИ

Динамічні явища, зумовлені взаємодією бурової колони, бурового інструменту, приводу, підйімальної системи та конструкції бурової вежі розглянуто, зокрема, у роботах [1-4]. Традиційно буріння глибоких свердловин технологічно здійснюється із застосуванням бурового розчину, який виносить на поверхню розбурену породу і виконує інші важливі функції. Під дією тиску буровий розчин рухається всередині бурової колони та у затрубному просторі між буровою та обсадною колонами, взаємодіючи ними. За певних параметрів механічної системи і параметрів руху рідини можливе виникнення пульсацій потоку промивальної рідини та інтенсивних динамічних явищ у буровій колоні. Дослідження поздовжніх коливань бурової колони становить практичний інтерес.

За реологічними властивостями буровий розчин є в'язко-пластичною неньютонівською рідиною (із нелінійною залежністю в'язкості від швидкості деформацій зсуву).

Зв'язані задачі взаємодії потоку рідини з деформівною колоною бурильних труб становлять інтерес і з теоретичної точки зору в силу істотних труднощів побудови розв'язків системи нелінійних диференціальних рівнянь [5, 6].

У даній доповіді розглядається математична модель динамічної взаємодії колони бурильних труб з потоком промивальної рідини. Бурова колона моделюється пружним стрижнем, поздовжні коливання якої описуються хвильовим рівнянням, пульсуючий потік бурового розчину – рівняннями руху рідини з реологічною моделлю Бінгама [7]; взаємодія колони з рідиною здійснюється силами тертя між розчином і колоною.

Одержано нелінійну систему диференціальних рівнянь у частинних похідних, яка дає можливість досліджувати нестационарні процеси та хвильові явища у механічній системі. Отриману систему рівнянь розв'язуємо методом скінченних різниць з дискретизацією диференціальних рівнянь і граничних умов за часовою та за просторовою координатами із застосуванням явного методу Мак-Кормака другого порядку [8].

Запропонований підхід дає можливість ефективно досліджувати динамічну взаємодію потоку промивальної рідини і колони бурильних труб, аналізувати перехідні процеси та хвильові явища у механічній системі. Результати досліджень посприяють підвищенню ефективності бурових робіт, надійності та довговічності бурового обладнання.

Список посилань

1. Tucker R. W., Wang C. An integrated model for drill-string dynamics. *Journal of Sound and Vibration*, 224 (1), (1999), pp. 123–165.
2. Моделирование нештатных ситуаций при бурении глубоких скважин: монография / [В. И. Гуляев, С. Н. Глазунов, О. В. Глушакова и др.] – Киев: Издательство «Юстон». – 2017. – 544 с.
3. Харченко Е.В. Динамические процессы буровых установок. Львів, Світ, - 1991. – 175 с.
4. Kharchenko Ye., Hutyi A., Haiduk V. The influence of friction forces on longitudinal waves propagation in a drill string under release of a stuck borehole, *Tribologia*, 2018, Volume 282, Nr 6, pp. 79-87.
5. Чарний И.А. Неустановившееся движение реальной жидкости в трубах.- Недра, - 1975.–296с.
6. Hou G., Wang J., Layton A. Numerical methods for fluid structure interaction: a review. *Communications in Computational Physics*, vol. 12, no. 2, pp. 337–377, 2012.
7. Bingham E.C. Fluidity and plasticity. McGraw-Hill, NY, 1922, 440p.
8. MacCormack R. W. The Effect of Viscosity in Hypervelocity Impact Cratering. *Frontiers of Computational Fluid Dynamics*, 2002, pp.27-43.

УДК 621.7.043

Зінько Р.В., докт. техн. наук, професор

Войтик Я.М., аспірант

Національний університет «Львівська політехніка», rzinko@gmail.com

ВИЗНАЧЕННЯ ЗУСИЛЬ В КРІПІЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТАХ АВТОЦИСТЕРНИ ПРИ ГАЛЬМУВАННІ АВТОПОЇЗДА

Складність конструктивних форм і специфічні умови експлуатації пред'являють до розрахунків кузовів наливного рухомого складу своєрідні і підвищені вимоги. Тенденція підвищення корисного об'єму котлів нафтоналивних цистерн, що склалася нині, при одночасному зниженні матеріаломісткості за рахунок використання тонкостінних конструкцій, призводить до істотного підвищення рівня напруженого стану. Необхідність забезпечення працездатності і надійності наливного рухомого складу визначає актуальність вирішення проблеми розрахункової оцінки несучої здатності елементів конструкцій, працюючих в складних умовах експлуатації.

При проведених дослідженнях враховувався Порядок перевірки цистерн для перевезення небезпечних вантажів, який затверджений наказом Мінінфраструктури та МВС від 12.05.2015 № 166/550, зареєстрований в Мін'юсті 05.06.2016 за № 663/27108, який забезпечує виконання Плану імплементації Директиви 2008/68/ЄС Європейського Парламенту та Ради про внутрішні перевезення небезпечних вантажів, схваленого розпорядженням Кабінету Міністрів України від 26.11.2014 № 1159, та відповідно до вимог розділу 6.8 міжнародних регламентів у сфері перевезення небезпечних вантажів, зокрема Європейської угоди про міжнародне дорожнє перевезення небезпечних вантажів (ДОПНВ), Правил перевезення небезпечних вантажів, Регламенту про міжнародне залізничне перевезення небезпечних вантажів (РІД), Міжнародного кодексу морського перевезення небезпечних вантажів (МКМПНВ) та Європейської угоди про міжнародне перевезення небезпечних вантажів внутрішніми водними шляхами (ВОПНВ) та методики [1-5].

Була створена розрахункова стержнево-пластинчатая модель автоцистерни. Граничні умови – місця установки упор і схема навантаження резервуара цистерни. Резервуари цистерни створювалися у вигляді поверхневої моделі в середовищі SolidWorks, яким після передачі в модуль міцнісного розрахунку, задавалася товщина стінок. Каркас цистерни створювався у вигляді пластин в редакторі SolidWorks, а окремі стержні виконувалися у вигляді стержневих елементів. Далі проводили вибір точок опори, а саме місць кріплення цистерни до рами. Після визначення точок опори конструкції, прикладали відповідні зусилля до частин конструкції. Далі проводилася генерація сітки.

Розглядалися варіанти заповнення резервуару цистерни на 40, 60 і 80%. Кінцевоелементні моделі містили від 150 до 300 тисяч кінцевих елементів. Крок за часом приймався рівним 0,015 с. Коефіцієнт поверхневого натягу рідини був прийнятий рівним 0,072 Н/м.

Початкова швидкість руху автопоїзда склала 15 м/с, після чого рух відбувався з уповільненням 0,6g уздовж подовжньої осі, уздовж поперечної осі z – 0,3g. Проводилися дослідження напруги, переміщень, деформацій в елементах цистерни, напруження в перегородках і опорах цистерни.

На рисунках 1 і 2 представлена величина напружень в елементах кріплення. Їх найбільша величина досягає 171,7 МПа і носить локальний (точковий) характер. Напруження у більшості інших стержневих і пластинчатих елементах конструкції автоцистерни знаходяться на рівні 20-60 МПа, що є некритичним для сталевих конструкцій і свідчить про те, що конструкція може бути вдосконалена і полегшена.

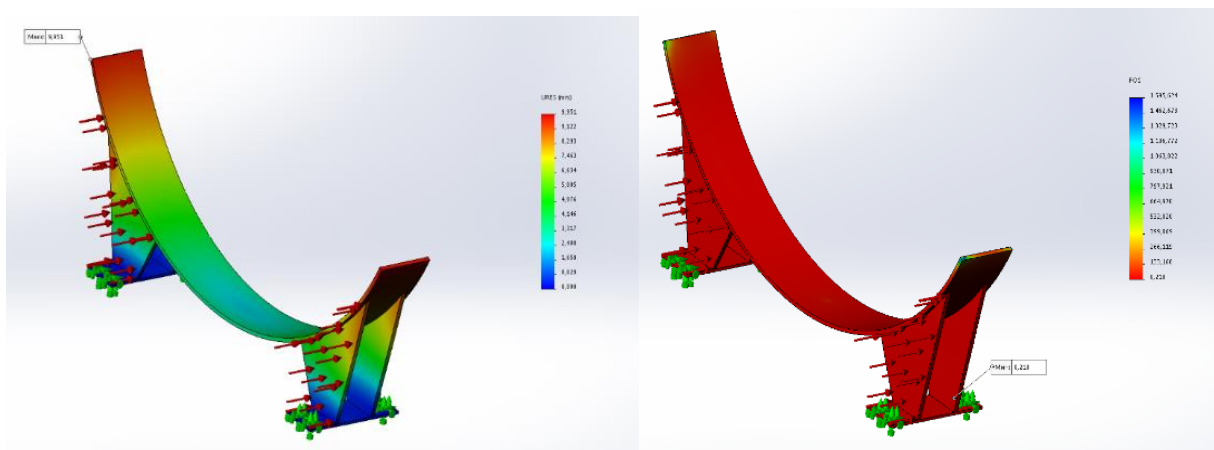


Рис. 1 – Визначення критичних значень зусиль на кріпильні елементи автоцистерни при режимі гальмування автопоїзда

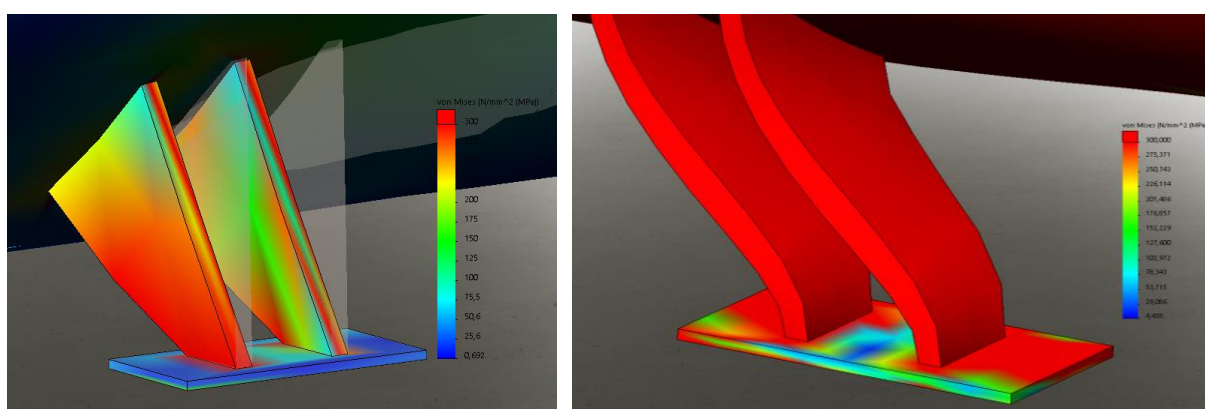


Рис. 2 – Карта еквівалентних напружень в опорах цистерни

Виконаний аналіз показує, що кріпильні елементи дозволяють забезпечити безпеку експлуатації цистерн. Такі рішення дозволили знизити амплітуди коливань, максимізувати дисипацію енергії коливань рідини, раціоналізувати конструкцію резервуару, напруги в оболонці резервуару.

Список посилань

1. ДСТУ UN/ECE R 13-09:2002. Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження дорожніх транспортних засобів категорії M, N і O стосовно гальмування (Правила ЕЖ ООН № 13-09:2000, IDT). – К.: Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики, 2002. – 180 с.
2. ДСТУ 3649:2010. Колісні транспортні засоби. Вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролювання. – К.: Держспоживстандарт України, 2011. – 28 с.
3. Guidelines on Maximum Weights and Dimensions of Mechanically Propelled Vehicles and Trailers [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [http://www.rsa.ie/en/RSA/Your-Vehicle/Vehicle-Standards/Weights-- Dimensions-/](http://www.rsa.ie/en/RSA/Your-Vehicle/Vehicle-Standards/Weights--Dimensions/) (дата звернення: 15.01.2019).
4. Наказ № 166/550 12.05.2015 Про затвердження Порядку перевірки цистерн для перевезення небезпечних вантажів Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 05 червня 2015 р. за № 663/27108.
5. Крайник Ю.Л. Методичні основи оптимізації розміщення колісного візка цистерни – напівпричепа / Ю.Л. Крайник, Р.В. Зінченко, М.В. Глобчак, Ю.Ю. Скварок // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки» Луцьк: ЛНТУ. – 2018.– Випуск № 62. – С. 144-147.

УДК 536.3:614.838.441

Виноградов А.Г., докт. техн. наук, доцент

Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького, vynogradov.ag@gmail.com

ТЕХНІЧНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ ВОДЯНИХ ЗАВІС ДЛЯ ЕКРАНУВАННЯ ТЕПЛОВИХ ПОТОКІВ

Водяні завіси (струмені розпиленої води (СРВ)) застосовуються для захисту від інтенсивного теплового випромінювання в зоні пожеж, а також на деяких виробництвах із нагрівальним мікрокліматом [1]. Для вже створеної захисної системи такого типу актуальним є питання контрольованої зміни поточного режиму її роботи в залежності від зміни поточної ситуації в зоні пожежі або зміни умов технологічного процесу на даному виробництві. При зміні інтенсивності теплового випромінювання в зоні розташування водяної завіси повинні змінюватися вимоги до параметрів його екранування. Наприклад, при зменшенні інтенсивності теплового випромінювання є можливість збільшити коефіцієнт пропускання водяної завіси і знизити витрату води.

В роботі представлено методику розрахунку робочого режиму вже створеної водяної завіси для умов зовнішнього теплового опромінення, що змінюються. При цьому фіксованими є конструктивні параметри, задані при проектуванні завіси. Зміну коефіцієнта пропускання водяної завіси (і пов'язаної з ним витрати води) в даному випадку найбільш раціонально здійснювати за допомогою регулювання тиску води в зрошувачах. При цьому змінюватиметься еквівалентний діаметр крапель СРВ [2].

Розрахунок виконується наступним чином. При суттєвому зменшенні інтенсивності зовнішнього теплового випромінювання від первісного значення I_1 до нового значення I_1' знайдемо нове значення тиску води в системі зрошувачів, при якому інтенсивність опромінення захищеної зони залишиться на заданому безпечному рівні. В результаті розрахунків у межах раніше розробленої математичної моделі [3] знайдено розрахункову формулу для нового значення тиску:

$$p' = p \cdot \left(1 - \frac{\ln \frac{I_1'}{I_1}}{\ln H} \right)^3,$$

де p – попереднє значення тиску води, H – попередній коефіцієнт пропускання водяної завіси для теплового випромінювання. Витрата води зрошувачів визначається співвідношенням

$$Q_{noz} = K \cdot \sqrt{p},$$

де K – коефіцієнт продуктивності зрошувача. При зменшенні тиску води її витрата зменшиться в $\sqrt{p/p'}$ разів. В роботі наведено приклади практичних розрахунків і технічні аспекти застосування наведеної методики.

Список посилань

1. Parent G. Radiative shielding effect due to different water sprays used in a real scale application / G. Parent, R. Morlon et al // International Journal of Thermal Sciences. – 2016. – V. 105. – P. 174–181.
2. Виноградов А.Г. Эквивалентный диаметр капель струй распыленной воды и его зависимость от технических параметров / А.Г. Виноградов., О.М. Яхно // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», сер. Машинобудування.– 2016.– № 1 (76).– с.39-45.
3. Виноградов А.Г. Поглощение лучистого теплового потока в распыленной водяной струе // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», сер. Машинобудування. – 2012. – № 65. – с. 145-152.

УДК 693.6.002.5

Шаповал М.В., канд. техн. наук, доцент
Михайлик В.Г., аспірантНаціональний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»,
nvshapoval75@ukr.net**СТВОРЕННЯ НОВИХ КОНСТРУКЦІЙ КОМБІНОВАНИХ КОМПЕНСАТОРІВ У ПОРШНЕВИХ РОЗЧИНОНАСОСАХ ОДИНАРНОЇ ДІЇ**

З метою зниження пульсацій та підвищення надійності роботи однопоршневого розчинонасоса [1, 2], пропонуються нові конструкції компенсаторів (рис. 2). Аналіз роботи розчинонасоса з кожним з приведених компенсаторів дозволить виявити найбільш ефективний варіант конструкції за для забезпечення низького рівня ступеня пульсацій тиску. Нові конструкції компенсаторів можуть нівелювати недоліки конструкцій компенсаторів, що використовуються в сучасному насособудуванні, а саме у розчинонасосах для перекачування будівельних сумішей. Пропонуються комбіновані компенсатори закритого типу з використанням пневмобалонів (рис.1) автомобілів різних конструкцій залежно від об'єму та конструкції вільної камери.

Але спочатку розглянемо конструкції пневмобалонів (рис. 1), які можливо використати у вигляді замкненої камери.

Як видно з зображень рис. 1 конструктивні особливості пневмобалонів є різними, що дає загальну картину їх використання у вигляді замкненої камери компенсаторів. Також їх спрацювання в компенсаторі теж буде відбуватися по різному. Так наприклад пневмобалон рис. 1, а буде зтискатись при зростанні тиску подачі вище рівня у пневмобалоні радіально перпендикулярно вісі і тільки частково паралельно їй. Такий характер зміни об'єму повітря пневмобалону стосуватиметься і конструкцій пневмобалонів зображених на рис. 1 б, д. Дещо інший характер спрацювання пневмобалонів рис. 1 в, г, а саме зменшення об'єму при зростанні тиску вище рівня закачаного будуть відбуватися значні деформації паралельно вісі. Хоча картина роботи пневмобалона може змінитися, якщо розчин буде впливати (тиснути) по всій поверхні пневмобалона.

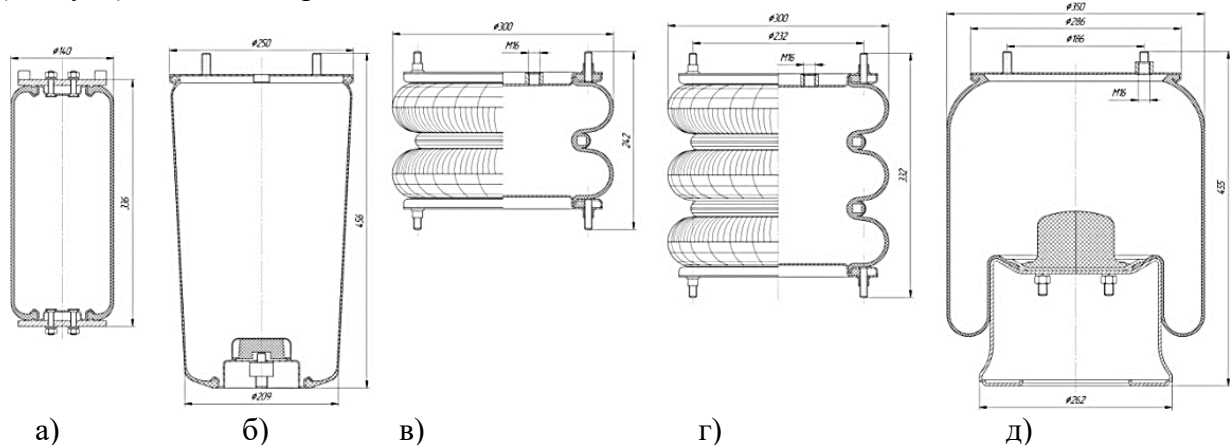


Рис. 1 – Пневмобалони, що використовувались для дослідження у компенсаторах розчинонасоса

Чому вирішено модернізувати компенсатори залежно від форми вільної камери? Це рішення прийнято за рядом переваг, як з конструктивної так і експлуатаційної точки зору.

Далі розглянемо доцільність використання автомобільних пневмобалонів у комбінованих компенсаторах у вигляді замкненої камери.

До переваг використання пневмобалонів можна віднести:

- збільшення об'єму замкненої камери, що суттєво вплине на зниження ступеня

пульсацій тиску підвищеного рівня вище 0,7 МПа;

– збільшується об'єм контакту замкненої камери з перекачуваним розчином за рахунок циліндричної форми пневмобалону, що теж позитивно впливає на зниження ступеня пульсацій тиску;

– скорочується час на промивання вільної камери компенсатора після циклу роботи;

– зменшуються витрати на обслуговування компенсатора в цілому;

– краща ремонтпридатність компенсатора.

На рис. 2 зображено однопоршневий розчинонасос з комбінованими компенсаторами з різними конструкціями замкненої камери у вигляді пневмобалонів, які потребують в перспективі експериментальних досліджень для визначення технічних параметрів та надання пріоритетів у практичному використанні кращого обладнання на будівельному майданчику.

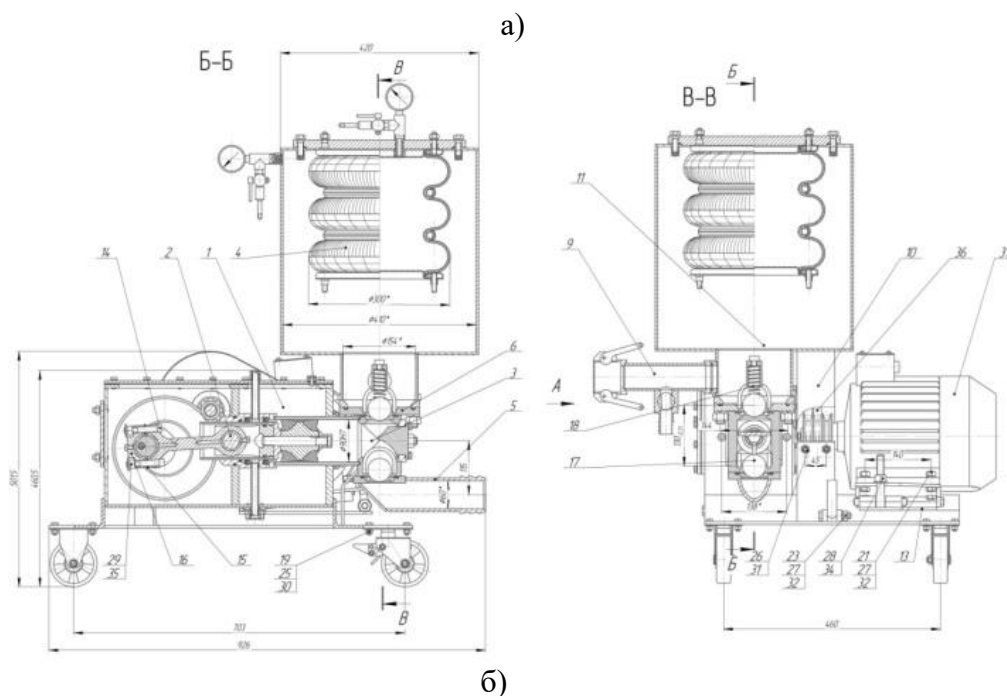


Рис. 2 – Розчинонасос: а) з комбінованим компенсатором №1; б) з комбінованим компенсатором №2

Список посилань

1. Шаповал М.В. Вплив конструктивних рішень компенсаторів на енергоефективність роботи розчинонасоса / М.В. Шаповал, В.В. Вірченко, А.І. Криворот, М.О. Скорик // Автоматика, комп'ютерно-інтегровані технології та проблеми енергоефективності в промисловості і сільському господарстві (АКІТ-2022): матеріали міжнар. наук.-техн. конф. – Кропивницький : Ексклюзив-Систем, 2022. – С. 101–103. <http://reposit.nupp.edu.ua/handle/PoltNTU/11056>

2. Bogdan Korobko, Viktor Virchenko, Mykola Shapoval. Feed Solution in the Pipeline aith the Compensators Mortar Pump of Various Design Solutions Pressure Pulsations Degree Determination // International Journal of Engineering & Technology, Vol 7, № 3.2 (2018). – P. 195 – 202. Published on: 20-06-2018.

УДК 621.225

**Аврунін Г.А., канд. техн. наук,
Подригало М.А., докт. техн. наук,
Подригало Н.М., докт. техн. наук,
Мороз І.І., старший викладач**

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, giavrunin@ukr.net

АНАЛІЗ СПОСОБІВ РЕГУЛЮВАННЯ ГІДРОМОТОР-КОЛІС ДЛЯ ТРАНСМІСІЙ МОБІЛЬНИХ МАШИН

В сучасних будівельно-дорожніх, сільськогосподарських та комунальних машинах застосовують в якості трансмісій пересування об'ємний гідропривод. До складу гідравлічної трансмісії входять аксіально-поршневі насоси з регульованим робочим об'ємом і гідромотори, які залежно від конструктивних особливостей мають постійний або регульований робочий об'єм. При застосуванні героторних гідромоторів, наприклад, в трансмісіях прибиральних комунальних машин, швидкість обертання гідромоторів забезпечується тільки за рахунок подачі насосів, робочий об'єм яких штучно завищують. Гідромотори з регульованим робочим об'ємом дають можливість створення більш економічних гідравлічних трансмісій, які дозволяють реалізацію тягово-швидкісної характеристики на режимі максимальної швидкості мобільної машини без вимушеного збільшення встановленої потужності насоса за рахунок зменшення робочого об'єму гідромотора або гідромоторів при багатомашинних схемах трансмісій. В таких гідравлічних трансмісіях застосовують аксіально-поршневі гідромотори з планетарними редукторами для підвищення крутного моменту, радіально-поршневі ексцентрикові гідромотори з редукторами або без них, а також радіально-поршневі багатоциклові (копірні) гідромотори, які в змозі створювати крутні моменти без редукторів і практично без обмежень. Аксіально-поршневі і радіально-поршневі ексцентрикові гідромотори мають конструкції із забезпеченням безступеневої зміни робочого об'єму, а для радіально-поршневих багатоциклових є можливості змінювати робочий об'єм ступенево і в конструкціях останніх років вже є виконання на 4 ступені. Цей недолік компенсується за допомогою безступеневого регулювання подачі насоса.

З точки зору енергетичних характеристик, то практично всі типи поршневих гідромоторів мають максимальний тиск до 50 МПа, а загальний ККД досягає 95%, якщо мова йде про функціонування при повному (максимальному) робочому об'ємі. Підвищення відносних втрат потужності механічного тертя, витоків робочої рідини та втрат, пов'язаних з перемішуванням робочої рідини та гідродинамічних втрат тиску, призводить до суттєвого зменшення ККД гідромоторів на режимах при зменшених значеннях робочого об'єму. Крім того, для гідромотор-колів з планетарними редукторами слід враховувати їх ККД, який має значення в 95...98%.

При порівнянні ККД аксіально-поршневих гідромоторів і гідромоторів багатоциклової дії фірма Poclain Hydraulics приводить відповідну графічну залежність (рис. 1) [1]. При цьому пояснюється, що суттєво вищі значення ККД в радіально-поршневих гідромоторах досягнуті за рахунок способу регулювання. А саме тому, що зменшення робочого об'єму відбувається не силовим методом, як в аксіально-поршневих гідромоторах при зміні кута похилого диска, на котрий постійно спираються поршні під тиском незалежно від значення робочого об'єму, а за рахунок зменшення зон нагнітання на кулачковому профільному копірі. На рис. 1 радіально-поршневі гідромотори позначені MS18 1C(2C) і MHP20 1C(2C; 3C), а аксіально-поршневі з похилим блоком циліндрів, як G8+Bent axis з різними відсотковими значеннями параметра регулювання.

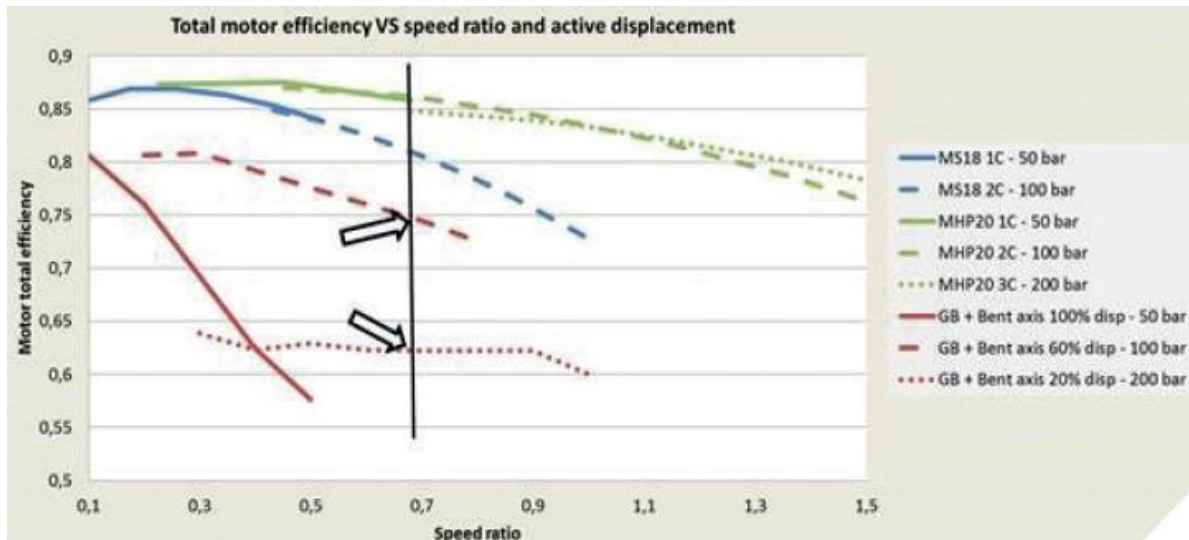


Рис. 1 – Залежність загального ККД гідромоторів з регульованим робочим об'ємом від відносної частоти обертання, типу конструкції і тиску

Безумовно, такі суттєво підвищені за ККД параметри радіально-поршневих гідромоторів багатоциклової дії дають перспективи підвищення технічного рівня сучасних трансмісій мобільних машин з без редукторними 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 рівня бакавра та магістра.

Список посилань

1. Traction Control Methods by Poclain Hydraulics / RCS 397 566 860-pointvirqule.fr-03 44 23 48 4. – 24 p.

УДК 621.941-229.3:531.133

Шалапай В.В., аспірант

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, vadimshalapajj18@gmail.com

ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕХАНІЧНИХ ПРОЦЕСІВ УЩІЛЬНЮЮЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ В СТИСНеноМУ ГІДРОЦИЛІНДРІ

Гідравлічні циліндри зазвичай ущільнюються гумовими ущільнювачами для підвищення об'ємної ефективності та запобігання витоку гідравлічного масла в навколишнє середовище. Існує компроміс між об'ємним ККД циліндра і ефективністю зусилля циліндра. Чим вище об'ємний ККД, тим нижче буде силовий ККД. Оскільки поршень циліндра і шток ущільнені гумовими ущільнювачами, простір для подальшого підвищення ефективності циліндра фізично обмежений. Крім того, гумові ущільнювачі створюють згубну силу тертя в крихітних пристроях.

Силу в'язкого тертя і потік витоку через ущільнення гідроциліндра можна змоделювати за допомогою (1) і (2)

$$f_u = \frac{\pi H P D}{2} - \frac{\pi \mu U D l}{H} \quad (1)$$

$$q_u = \frac{\pi P D H^3}{12 \mu l} + \frac{\pi U H D}{2} \quad (2)$$

де P – робочий тиск, D – діаметр ущільнення, μ – абсолютна в'язкість рідини, U – швидкість ущільнюючого елемента, H – розмір нещільності, l – ширина ущільнення, E – модуль Юнга.

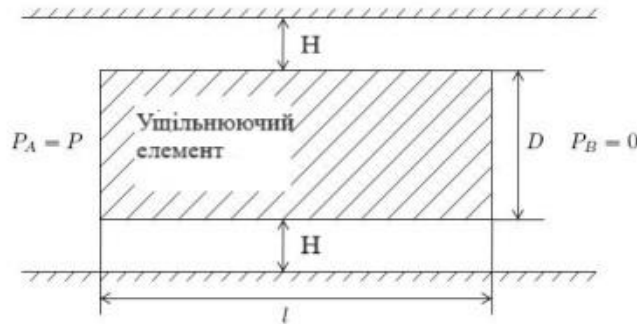


Рис. 1 – Ілюстрація параметрів ущільнення

Силу в'язкого тертя f_u можна розглядати як накладення тертя, викликаного тиском і швидкістю. Якщо швидкість ущільненого елемента U дорівнює нулю, то існує тільки тертя, викликане тиском, і навпаки. Оскільки напрямки сили в'язкого тертя збігається з градієнтом швидкості потоку зазорів, тертя, викликане тиском, знаходиться в тому ж напрямку, що і швидкість потоку зазору, а тертя, викликане швидкістю, – в протилежному напрямку швидкості потоку зазору. Оскільки як індуковані тиском, так і швидкі потоки зазору знаходяться в тому ж напрямку, що і швидкість потоку зазору, потік витіку q_u завжди знаходиться в тому ж напрямку, що і U .

Посилання [1] дає аналітичне рішення для тертя гумового ущільнювального кільця ущільнювача, як показано в (рис. 2), де нижній індекс s представляє герметичну ситуацію, тобто при ущільненні ущільнювального кільця μ_f – коефіцієнт тертя між ущільнювальним кільцем і стінкою конструкції, а r – радіус поперечного перерізу. Змінні d , d_1 та d_2 визначені на рис. 3.

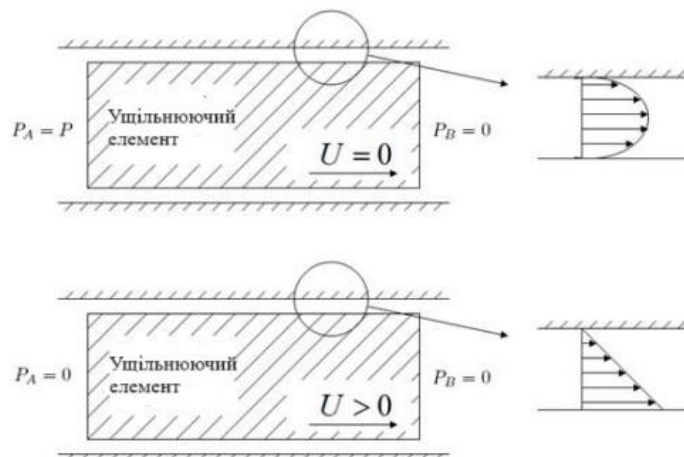


Рис. 2 – Індукований тиском (1-й ряд) і індукований швидкістю (2-й ряд) розподіл швидкості потоку

$$f_s = 2\pi \cdot \mu_f \cdot d_1 \cdot r \cdot E \cdot \left(1 - \frac{d_1 - d_2}{4r}\right) \cdot \sqrt{1 - \frac{(d_1 - d_2)^2}{16 \cdot r^2}} \quad (3)$$

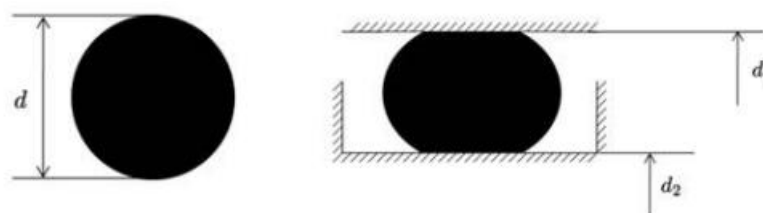


Рис 3 – Ущільнювальне кільце ущільнювача до та після встановлення

$$d = 2 \cdot r \quad (4)$$

$$g = \frac{d_1 - d_2}{2} \quad (5)$$

$$D = d_1 \quad (6)$$

Коефіцієнт стиснення ущільнюючого елемента:

$$\varepsilon = \frac{d - g}{d} = 1 - \frac{d_1 - d_2}{4r} \quad (7)$$

Заміна (4) - (7) на (3) призводить до

$$f_s = \pi \cdot \mu_f \cdot D \cdot d \cdot E \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{2\varepsilon - \varepsilon^2} \quad (8)$$

У області гідродинамічного змащення мкф можна виразити як [48]

$$\mu_f = C \cdot \sqrt{\frac{\mu \cdot U}{P}} \quad (9)$$

де C – константа, пов'язана з умовами експлуатації.

Крім того, $\mu_f = 0,3 \sim 0,5$ для добре оброблених і досить змащених герметичних поверхонь [1]. Якщо $\mu_f = 0,4$, $\mu = 0,1$ Па·с, $U = 0,1$ м/с і $P = 10$ МПа є номінальними умовами експлуатації, то

$$\mu_f = \begin{cases} 12650 \cdot \sqrt{\mu \cdot U / P} & \text{якщо } P \neq 0 \\ 4 \cdot \sqrt{\mu \cdot U} & \text{якщо } P = 0 \end{cases} \quad (10)$$

Рівняння (8) і (10) дають набір рівнянь для оцінки тертя ущільнювального кільця.

Ущільнення під тиском, такі як ущільнювальні кільця, зазвичай призначені для роботи в повністю змащеному стані [2]. Ущільнювач тримається на тонкій плівці мастила, яка забезпечує остаточний ущільнювальний бар'єр, що утримується в потрібному положенні за рахунок поверхневого натягу плівки. У довідці [3] наводиться експериментальна формула товщини ущільнювальної плівки ущільнювального кільця h_c

$$\frac{h_c}{s} = 2.99 \cdot \left(\frac{\mu \cdot U}{\delta_m \cdot s} \right)^{0.71} \quad (11)$$

де s – ширина контакту ущільнювального кільця,

δ_m – максимальний контактний тиск ущільнювального кільця.

Список посилань

1. F. M. M. Al-Ghathian and M. S. Tarawneh. Friction forces in o-ring sealing. American Journal of Applied Sciences, 2(3):626–632, 2005.
 2. M. W. Brown. Seals and Sealing Handbook. Elsevier Advanced Technology., 4th edition edition, 1995.
 3. A. Karaszkiwicz. Hydrodynamic lubrication of rubber seals for reciprocating motion; leakage of seals with an o-ring. Tribology International, 21(6):361–367, December 1988
- УДК 621.941-229.3:531.133

Шаргородський С.А., канд. техн. наук, доцент

Вінницький національний аграрний університет, serganatsharg@gmail.com

Іванов М.І., канд. техн. наук

Асоціація спеціалістів промислової гідравліки і пневматики, ivanovni@ukr.net

Кондратюк Д.А., аспірант

Вінницький національний аграрний університет, 1at15b.kondratiuk@gmail.com

СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОБ'ЄМНИХ СИСТЕМ РУЛЬОВОГО КЕРУВАННЯ САМОХІДНИХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

На сьогоднішній день гідростатичні системи рульового керування використовуються на різноманітних самохідних спеціальних машинах, що пояснюється низкою переваг таких систем.

Одним із важливих питань, які постають при створенні нових зразків технічних об'єктів, а особливо таких наукомістких, як агрегати рульового керування, є проведення експериментальних досліджень їх дослідних зразків [1]. Експериментальні дослідження спрямовані на визначення параметрів конкретної моделі гідрооб'ємного рульового механізму з метою використання отриманих результатів при проведенні математичного моделювання, або перевірки адекватності раніше розробленої математичної моделі. Крім того, існує проблема проведення порівняльних та ресурсних випробувань блоків рульового керування різних виробників.

На сьогодні існують різні стенди для експериментальних досліджень систем гідрооб'ємного рульового керування.

Особливістю роботи систем рульового керування є наявність зовнішнього навантаження на виконавчому гідроциліндрі. Величина цього навантаження для систем рульового керування технологічних машин є різною, в залежності від ваги, потужності, призначення машини тощо. Саме тому у відомих конструкціях стендів використовуються гідроциліндри з різною ефективною площею поршня.

Але у лабораторних умовах для навантаження насосів дозаторів достатньо контролювати перепад тиску у вихідних каналах [9], що дозволяє оцінити продуктивність цих виробів. Тому даний параметр (перепад тиску Δp) фактично є універсальним навантажувальним параметром насоса дозатора.

Характер навантаження на насос-дозатор рульового керування пов'язаний з напрямом зусилля на виконавчий гідроциліндр відповідно до напрямку обертання рульового колеса. Тому розрізняють зустрічне і попутне навантаження на систему рульового керування.

Запропоновано конструкцію спеціального експериментального стенду для дослідження насосів –дозаторів гідрооб'ємних систем рульового керування. Стенд має систему формування керуючого сигналу у вигляді обертання вхідного вала насоса-дозатора і систему формування навантаження у вигляді різниці тиску в його вихідних каналах (рис. 1). Оскільки використовуються різні способи формування зустрічних і попутніх навантажень, реалізовано стенд зі змінною конструкцією. Відповідно до цього розроблені різні схеми стенду для реалізації навантажень різного типу. На (рис. 1, а) наведена повна схема стенду, в якій реалізована система формування зустрічного навантаження (CFZN). На (рис. 1, б) показана лише частина схеми стенда, в якій реалізована система формування попутного навантаження (CFPN). При цьому інші системи стенду аналогічні зображеним на (рис. 1, а).

Стенд містить насос дозатор (SKU), насосну станцію, систему формування керуючого сигналу (SFCY), систему формування навантаження, а також систему реєстрації та обробки інформації. (CROI).

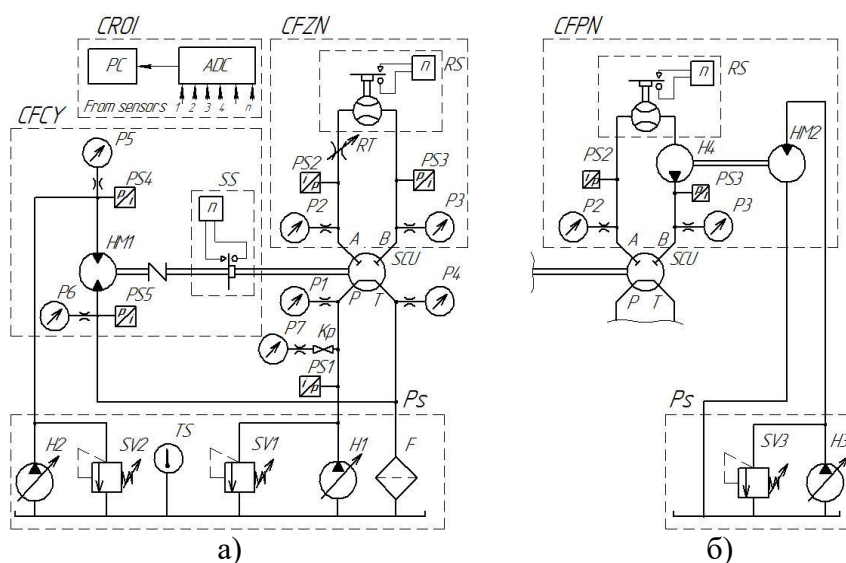


Рис. 1 – Гідрравлічна схема стенда для визначення характеристик насоса-дозатора системи рульового керування: а) - при формуванні зустрічного навантажень, б) - при формуванні попутного навантаження

Блок рульового керування (SCU) (рис. 1, а) напірним каналом Р з'єднаний з насосом Н1, а каналом Т - з дренажним каналом насосної станції. Це відтворює роботу блоку рульового управління з системою живлення на самохідній машині.

Вихідні канали блоку рульового управління А і В підключені до системи формування навантаження.

Формування різних видів навантажень здійснюється шляхом зміни конструкції стенду. Система формування зустрічного (пасивного) навантаження (рис. 1, а) реалізована у вигляді регульованого дроселя РТ, який підключений до вихідних каналів А і В насоса-дозатора. Регулювання площі цього дроселя дозволяє змінювати опір потоку робочої рідини через вихідні отвори блоку рульового керування. Завдяки цьому на виході блоку рульового управління в його вихідних каналах формується навантаження у вигляді перепаду тиску Δp , що відтворює подолання певного зустрічного навантаження.

Система формування попутного (активного) навантаження (рис. 1, б) реалізована у вигляді насоса Н4, всмоктувальний і вихідний канали якого з'єднані з вихідними каналами А і В насоса-дозатора. Вал насоса Н4 приводиться в рух гідромотором НМ2, частота обертання якого регулюється установкою витрати насоса Н3 насосної станції. Регулювання швидкості насоса Н4 дозволяє регулювати певну величину різниці негативного тиску у вихідних каналах дозувального насоса, що відтворює певне пов'язане навантаження.

Для реєстрації динамічних сигналів використовується комп'ютеризована система реєстрації та обробки результатів вимірювань досліджуваних параметрів з використанням персонального комп'ютера, аналого-цифрового перетворювача та програми вимірювання результатів вимірювання.

Список посилань

1. Casoli, P.; Gamba A.; Pompini, N.; Ricco, L. Hybridization methodology based on DP algorithm for hydraulic mobile machinery - Application to a middle size excavator. Autom. Constr. 2016. № 61. P. 42-57.
2. Rossetti, A.; Macor, A.; Scamperle, M. (2017) Optimization of components and layouts of hydromechanical transmissions. Int. J. Fluid Power, 18, 123-134.
3. Zardin, Barbara & Borghi, M. & Gherardini, Francesco & Zanasi, Nicholas. (2018). Modelling and Simulation of a Hydrostatic Steering System for Agricultural Tractors. Energies. 11. 230.10.3390/en11010230.

СЕКЦІЯ 4. ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ТА СИСТЕМИ ХІМІЧНОЇ, ЛЕГКОЇ, ПЕРЕРОБНОЇ ТА ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 621.326

Бакалов В.Г., канд. техн. наук, доцент

Сиза О.І., докт. техн. наук, професор

Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т.Г. Шевченка, м. Чернігів,

bakalow1972@ukr.net

КОНСТРУЮВАННЯ БАРАБАНУ ЦЕНТРИФУГИ ТА МОДЕЛЮВАННЯ В НЬОМУ ВІДДІЛЕННЯ ВЕРШКІВ ІЗ МОЛОКА

В харчовій промисловості широко використовуються вершки [1], які виробляються із молока в процесі його сепарування. Для цього використовуються різноманітні сепаратори-вершковідділювачі в яких, за рахунок відцентрових сил, розділяються рідини з різною щільністю. Слід зауважити, що барабан обертається з високою кутовою швидкістю. При сепаруванні молока вершки, які мають меншу щільність, переміщуються до центру барабану, а знежирене молоко до його периферії. В існуючих сепараторах барабан складається з багатьох так званих тарілок щоб збільшити поверхню розділу. Але це призводить до зменшення зазору між тарілками, що ускладнює розділення рідин.

З нашої точки зору перспективною конструкцією є барабан, який складається із двох частин – кришки і корпусу [2]. Ці частини мають вертикальні концентричні обичайки. На першій вертикальній обичайці, при виході молока із каналу у вигляді тору, за рахунок коалесценції більша частина вершків переміститься до центру барабану в зону видалення (рис. 1). Залишки вершків, які мають малі розміри краплин і не встигли переміститися до центру барабану, будуть ефективніше відділятися в наступних вертикальних обичайках відстань між якими складає 5-7 мм. Повернення вершків, які попали в додаткову зону видалення, здійснюється через нижні отвори корпусу. Ці отвори з'єднані з порожниною, яку утворюють кришка і корпус. З цієї порожнини вершки через патрубок видаляються з барабану.

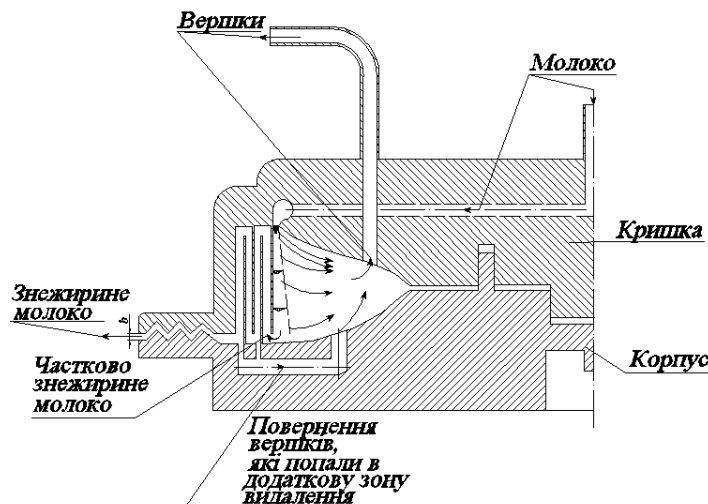


Рис. 1. – Розріз барабану сепаратора по осі симетрії зі схемою руху рідин

Всі канали в кришці і в корпусі виготовляються в площинах, які взаємно перпендикулярні (рис. 2). Як видно (рис. 2,а) канали (іх всього 6) для подачі молока виготовлені в кришці барабану, а канали для повернення вершків, їх також 6, розташовані в іншій площині (рис. 2,б) в корпусі барабану.

Слід зауважити, що така конструкція дозволяє змінювати продуктивність сепаратора за рахунок зміни зазору b (рис.1) між кришкою і корпусом.

Технологічні параметри, продуктивність і якість сепарації такого апарату будуть визначатися процесами коалесценції, детермінованим рухом крапель і їх подрібненням [2]. Відомо, що ламінарний режим руху рідини не викликає подрібнення крапель, а коалесценція сприяє швидкому виводу крапель із зони розділення, тобто якість розділення буде визначатися траєкторією руху одиничної краплі. Ця траєкторія має просторовий вид, але рух краплі по колу сепаратора не наближує її до виходу рідкої фази. Тому її рух у пристінному струмені можна розглядати як рух по площині (рис. 3). Враховуючи, що розміри крапель дисперсної фази малі, циркуляційним рухом рідини всередині краплі можна знехтувати і розглядати краплю як тверду частинку.

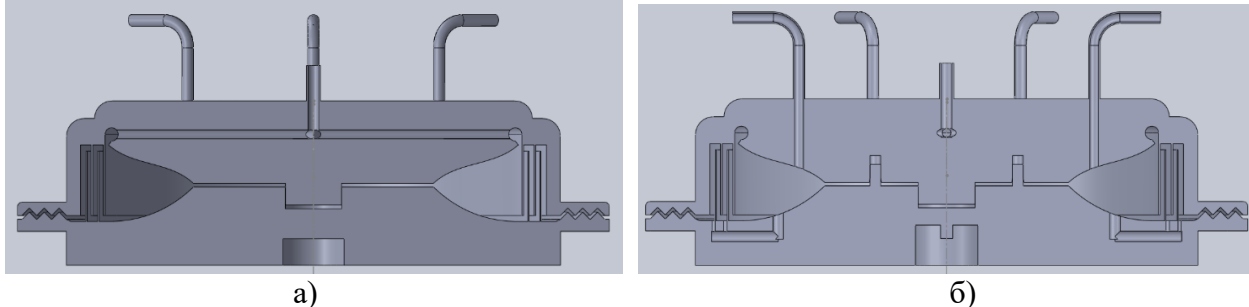
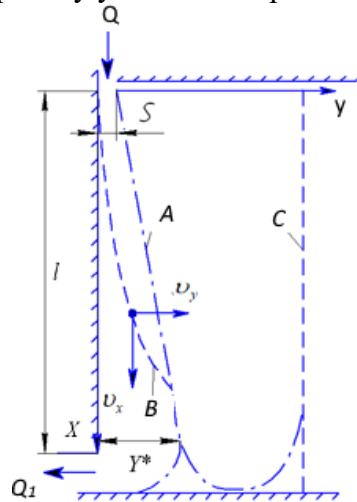


Рис. 2. – Розрізи барабану у взаємно перпендикулярних площинах



A – границя активної частини струмені; B – сепаратриса; C – поверхня розділу фаз; Q – вхід гетерогенної рідинної суміші; Q_1 – вихід дисперсної фази

Рис. 3 – Рух краплі у пристінному струмені

Рівняння руху краплі вздовж вісі координат (див. рис. 3) включає наступні сили: інерції, в'язкий опір, Магнуса [3, 4], сили, що виштовхують і відцентрові сили.

$$\omega^2 (R - \int_0^{\tau} v_y d\tau) (\rho_s - \rho_l) + \frac{3}{8} (U - v_x) \rho_s \frac{dU}{dy} - 18 \frac{\mu_s v_y}{d^2} - \rho_l \frac{dv_y}{d\tau} = 0 \quad ; \quad (1)$$

$$18 \frac{\mu_s}{d^2} (U - v_x) + \frac{3}{8} v_y \rho_s \frac{dU}{dx} - g(\rho_s - \rho_l) - \rho_l v_x \frac{dv_x}{dx} = 0 \quad ; \quad (2)$$

$$U = \frac{\partial \psi}{\partial y} = \sqrt{\frac{E}{\nu x}} \frac{dF}{d\eta} \quad , \quad (3)$$

де ω – швидкість обертання сепаратора;

R – радіус сепаратора;

v_x, v_y – швидкість краплі вершків вздовж вісі x та y відповідно;

ρ_v, ρ_l – щільність важкого знежиреного молока і легкої фази вершків відповідно;

d – діаметр краплі вершків;

μ – в'язкість молока;

U – швидкість дисперсної фази (розрахунок потрібно проводити згідно роботи [2]).

Аналіз рівнянь (1-2) показує, що для краплі вершків розміром менше 20 мкм і при градієнті швидкості dU/dy менше 250 1/с, виштовхувальними, інерційними і силами Магнуса можна знехтувати. Тоді згідно [2, 4] крапля буде рухатися вздовж вісі X зі швидкістю, яка дорівнює швидкості пристінного струменя U . Рух краплі вершків вздовж вісі y буде відбуватись з постійною швидкістю

$$v_y = \frac{\omega^2 R(\rho_v - \rho_l)d^2}{18\mu_v} \quad (4)$$

З врахуванням вищенаведеного рівняння:

$$X = \frac{\omega^2 R(\rho_v - \rho_l)d^2}{18\mu_v} \tau, \quad (5)$$

$$Y = \int_0^\tau U d\tau = \int_0^\tau \sqrt{\frac{E}{vX}} \frac{dF}{d\eta} d\tau. \quad (6)$$

Але аналітично вирішити рівняння (4-6) не вдається, тому що функція F має складну залежність від X і Y [2-4].

Тому траєкторія сепаратиси розраховувалась на комп'ютері. Адекватність запропонованого розрахунку проводилась експериментально шляхом фотографування траєкторії руху крапель вершків у воді у пристінному струмені.

Процес видалення дисперсної фази із емульсії, яка входить в апарат, можна рахувати закінченим, коли крапля вершків під час руху в струмені при дії силового поля перетне границю активної частини струмені до її повороту на вихід при $X=l$, далі крапля попадає в циркуляційний контур і уноситься до поверхні поділу фаз. Якщо прийняти саме невигідне початкове розташування краплі на вході в апарат при $X=0$ і $Y=0$ і вирішити рівняння (4-6) при $X=l$ і $Y=Y^*$ відносно d , то отримаємо допустимий розмір краплі вершків при заданих витратах молока Q і швидкості на вході в апарат $U_x = 0$, яка визначається шириною щілини S .

Враховуючи, що величина $Y=Y^*$ при $X=l$ постійна і залежить тільки від в'язкості молока, задаючи допустимий розмір частки, що сепарується, можна розрахувати продуктивність сепаратора Q по молоку або по заданій продуктивності і визначити геометричні розміри апарата l і S , тобто провести технологічний розрахунок сепаратора.

Список посилань

1. Ковальов О.О. Обґрунтування параметрів струминно-щілинного гомогенізатора молока з розподільною подачею вершків. – Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. – Таврійський державний агротехнологічний університет імені Д.Моторного. – 2021.–228 с.
2. Бакалов В.Г. Дослідження руху одиночної краплі дисперсної фази у пристінній струмені. // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС-2017): матеріали тез доповідей VII міжнародної науково-практичної конференції (м. Чернігів, 24-27 травня 2017 р.) – Чернігів, ЧНТУ, – 2017. – Т.2 – С.23-24.
3. Веремеев С.А., Семко А.Н. Взаимодействие импульсной затопленной струи жидкости с преградой. Прикладна гідромеханіка. – 2008. – Т. 10. – №1. – С. 3-9.
4. Мовчан В.Т., Шквар Е.А. Математическое моделирование пограничных слоев. Прикладна гідромеханіка. К: ІГМ. – 2005. – Т. 7. – №3 – 4. – С. 73–85.

УДК 621.865.8: 687.053

Орловський Б. В., докт. техн. наук, професор

Місяць М. В., аспірант

Київський національний університет технологій та дизайну, mlp-knutd@ukr.net

ОПТИМІЗАЦІЙНИЙ СИНТЕЗ ЗАХОПЛЮВАЧА ДЕТАЛЕЙ КРОЮ З ТЕКСТИЛЮ ЗІ СТОСУ РОБОТИЗОВАНИХ ШВЕЙНИХ МАШИН

Швейні машини [1] з маніпулятором [2] автоматичного завантаження деталями крою з текстилю переходять у клас роботизованого обладнання цільового призначення.

Для аеродинамічного захоплювача [3] прийнята цільова функція $Y(p, l_{\text{ц}}, l_{\text{с}}) \rightarrow \min$ при обмеженнях: $0,37 \cdot 10^5 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \leq p \leq 2,5 \cdot 10^5 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$; $10 \text{ мм} \leq l_{\text{ц}} \leq 110 \text{ мм}$; $20 \text{ мм} \leq l_{\text{с}} \leq 65 \text{ мм}$

Аналіз цільової функції виконане у вигляді побудови і аналізу двовірних перерізів поверхонь відгуку для тканин сорочкової $Y_{\text{с}}$, костюмної $Y_{\text{к}}$, та пальтової $Y_{\text{п}}$, груп при дії обраних апіорі керованих незалежних змінних: x_1 – тиск p в пневмо мережі, x_2 – положення центру маси $l_{\text{ц}}$ деталі крою, що відділяється зі стосу щодо бази аеродинамічної пластини і x_3 – довжини сопла $l_{\text{с}}$.

За результатами проведених серій експериментів по плану експерименту 2-го порядку та з урахуванням формул переходу від кодованих значень керуючих факторів до іменованих значень керованих факторів $x_1 = \Delta p^{-1}(p - p_0)$,

$x_2 = \Delta l_{\text{ц}}^{-1}(l_{\text{ц}} - l_{\text{ц}0})$, $x_3 = \Delta l_{\text{с}}^{-1}(l_{\text{с}} - l_{\text{с}0})$ отримані наступні експериментально-статистичні рівняння (1)...(3):

$$Y_{\text{с}} = 0,627 - 0,723p + 0,003l_{\text{ц}} + 0,212p^2 - 0,003 \cdot 10^{-2}l_{\text{ц}}^2 - 0,017 \cdot 10^{-2}l_{\text{с}}^2; \quad (1)$$

$$Y_{\text{к}} = 0,485 - 0,109p - 0,452 \cdot 10^{-2}l_{\text{ц}} + 0,394 \cdot 10^{-2}l_{\text{с}} - 0,085p^2 - 0,015 \cdot 10^{-3}l_{\text{ц}}^2 - 0,022 \cdot 10^{-2}l_{\text{с}}^2 + 0,186 \cdot 10^{-2}p \cdot l_{\text{с}} + 0,015 \cdot 10^{-2}l_{\text{ц}} \cdot l_{\text{с}}; \quad (2)$$

$$Y_{\text{п}} = 1,163 - 0,303p - 0,008l_{\text{ц}} - 0,155 \cdot 10^{-1}l_{\text{с}} + 0,707 \cdot 10^{-1}p^2 + 0,425 \cdot 10^{-4}l_{\text{ц}}^2 + 0,137 \cdot 10^{-3}l_{\text{с}}^2 - 0,146 \cdot 10^{-2}p \cdot l_{\text{ц}} + 0,205 \cdot 10^{-2}p \cdot l_{\text{с}} + 0,105 \cdot 10^{-3}l_{\text{ц}} \cdot l_{\text{с}}. \quad (3)$$

Аналіз рівнянь (1)...(3) на міні-макс методом невизначених множників Лагранжа дозволив отримати екстремальні значення критерія оптимізації $\hat{Y}_{\text{с}}$, які зведені в таблицю 1, де також наведено значення координат у кодованих значеннях $x_{1\text{с}}$, $x_{2\text{с}}$, $x_{3\text{с}}$ та в поіменованих значеннях $p_{\text{с}}$, $l_{\text{цс}}$, $l_{\text{сс}}$ умовного екстремуму поверхонь відгуку для досліджених областей факторного простору.

Таблиця 1 – Розрахункові значення величини та координат умовного екстремуму критерію оптимізації

Група тканин	Вага матеріалу. $\frac{\text{г}}{\text{м}^2}$	$x_{1\text{с}}$	$p_{\text{с}} \cdot 10^{-5}, \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$	$x_{2\text{с}}$	$l_{\text{цс}}, \text{мм}$	$x_{3\text{с}}$	$l_{\text{сс}}, \text{мм}$	$\hat{Y}_{\text{с}}$
Сорочкові	100 ÷ 120	0,53	1,70	-0,51	52,5	0	35	0,28
Костюмні	200 ÷ 220	-0,75	1,03	2,53	112,5	1,0	50	0,37
Пальтові	300 ÷ 420	2,20	2,32	0,75	87,5	0,75	46	0,39

На рис. 1 (а, б, в), для екстремального значення $\hat{Y}_{\text{с}} = 0,28$ (таблиця 1) наведено графічні номограми $l_{\text{с}}(l_{\text{ц}})$ при $p = 1,69 \cdot 10^5 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = \text{const}$, $l_{\text{с}}(p)$ при $l_{\text{ц}} = 52,5 \text{ мм} = \text{const}$ та $l_{\text{ц}}(p)$ при $l_{\text{с}} = 35 \text{ мм} = \text{const}$ для тканин сорочкової групи. Величина знайдених значень екстремальних параметрів критерію оптимізації $\hat{Y}_{\text{сс}} = 0,28$ для деталей крою сорочкової

групи збільшується при русі від центру двовірних перерізів по одній осі і зменшується при русі по іншій осі для поверхонь відгику типу міні-макс.

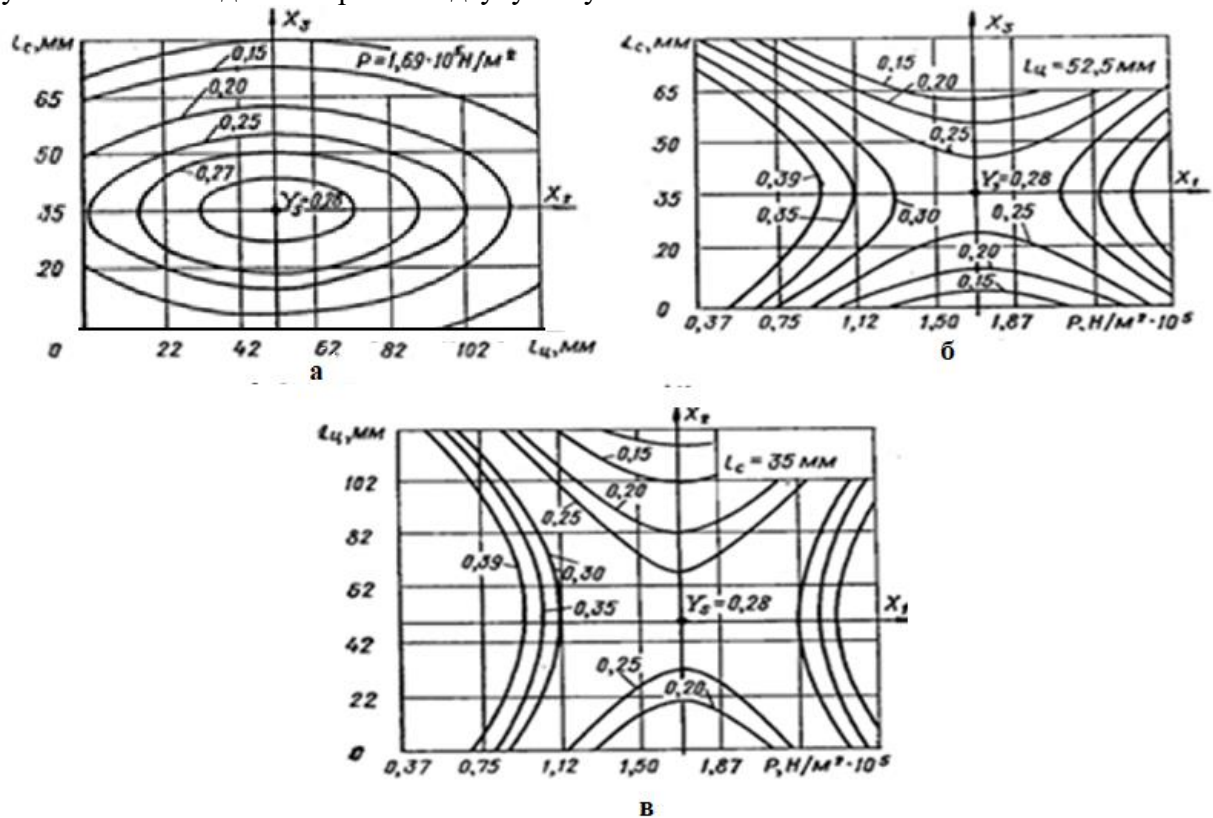


Рис. 1 – Графічні номограми двовірних перерізів поверхонь відгику для інженерних розрахунків оптимальних режимів роботи аеродинамічного захоплювача швейного маніпулятора для деталей крою сорочкової групи

На рис. 2 наведені двовірні перерізи поверхонь відгику у вигляді графічних номограм для інженерних розрахунків оптимальних параметрів аеродинамічного захоплювача деталей крою з текстилю костюмної групи.

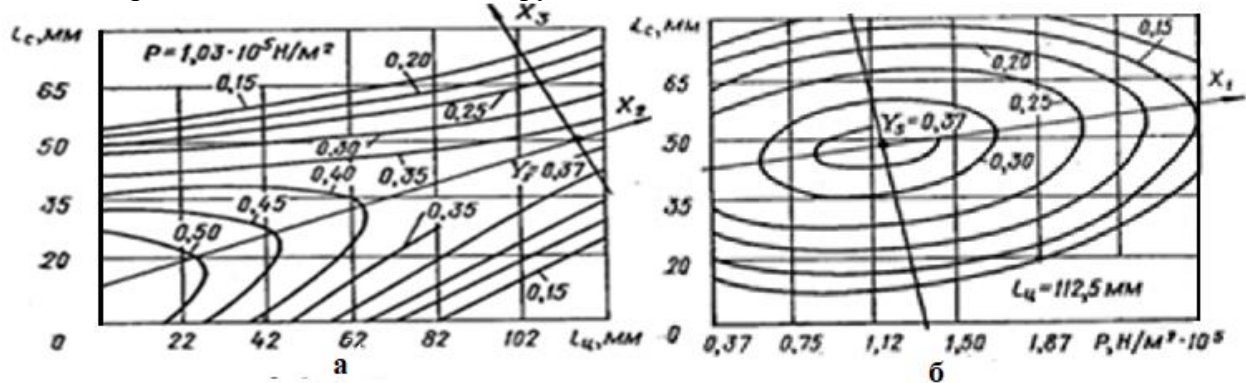


Рис. 2 – Графічні номограми двовірних перерізів поверхонь відгику для інженерних розрахунків оптимальних режимів роботи аеродинамічного захоплювача швейного маніпулятора для деталей крою костюмної групи

На рис. 2 (а, б), для екстремального значення $\hat{Y}_S = 0,37$ (таблиця 1) наведено графічні номограми $l_c(l_u)$ при $p = 1,03 \cdot 10^5 \frac{H}{M^2} = const$ та $l_c(p)$ при $l_u = 112,5 \text{ мм} = const$ для тканин костюмної групи. Величина знайдених значень екстремальних параметрів критерію оптимізації $\hat{Y}_{S_k} = 0,37$ для деталей крою костюмної групи значення екстремуму функцій зменшується по двох осях поверхонь відгику типу еліпсоїда

На рис. 3 наведені графічні номограми двовірних перерізів поверхонь відгуку для інженерних розрахунків оптимальних режимів роботи аеродинамічного захоплювача швейного маніпулятора для деталей крою пальтової групи.

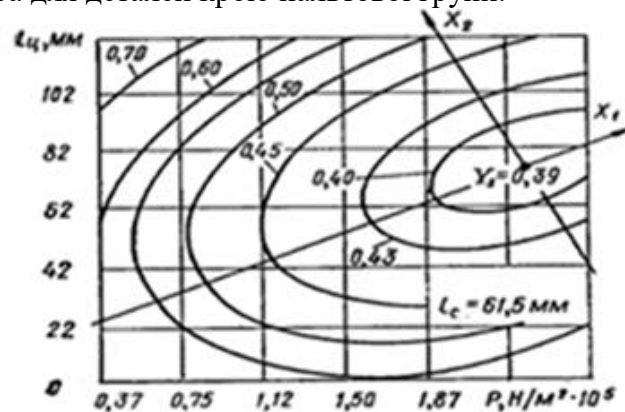


Рис. 3 – Графічна номограма двовірних перерізів поверхонь відгуку для інженерних розрахунків оптимальних режимів роботи аеродинамічного захоплювача швейного маніпулятора для деталей крою пальтової групи

На рис. 3 для екстремального значення $\hat{Y}_s = 0,39$ (таблиця 1) наведено графічну номограму $l_c(p)$ при $l_c = 61,5 \text{ мм} = \text{const}$ для тканин пальтової групи. Величина знайдених значень екстремальних параметрів критерію оптимізації $\hat{Y}_{s_{\text{п}}} = 0,39$ для деталей крою пальтової групи значення екстремуму функцій зменшується по двох осях поверхонь відгуку типу еліпсоїда.

Побудовані графічні номограми призначені для інженерних розрахунків прийнятого критерія оптимізації Y_s процесу поштучного відділення деталей крою сорочкової, костюмної і пальтової груп від пачки при деяких обмеженнях, що накладаються на один із керованих факторів, не вдаючись до громіздких розрахунків за рівняннями (4)...(6) для аеродинамічних захоплювачів швейних маніпуляторів, отриманих в роботі [4].

Наведені номограми також можуть бути використані при проектуванні теоретичних циклограм роботи швейних машин з модулями автоматичного завантаження деталей крою з текстилю розміром до 300 x 150 мм. При цьому для дослідженого процесу цільову функцію $Y(p, l_c, l_c) \rightarrow \min$ потрібно погоджувати з часом виконання технологічних операцій сточування/обметування швейного виробу за необхідною довжиною та кривизною ниткового шва. Також отримані графічні номограми доцільно використовувати для інженерних розрахунків конструктивних параметрів та інших струменевих пневматичних пристроїв.

Список посилань

1. Пищиков, В. О. Проектування швейних машин / В. О. Пищиков, Б. В. Орловський. – К. : Формат, 2007. – 320 с. <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/4514>
2. Орловський Б. В. Патент України на винахід №126711 Швейна машина із захватом маніпулятора деталей крою швейних виробів. МПК (2022.01) B65H 3/00; B65H 1/04 (2006.01); B65H 5/00; D06H 7/00; /Б. В. Орловський, М. В. Місяць. Дата публікації відомостей про державну реєстрацію та номер Бюлетеня: 11.01.2023, Бюл. № 2.
3. Орловський Б. В. Порівняльний аналіз функціонально-адекватних захватів маніпуляторів завантаження швейних машин деталями крою з текстилю/ Б. В. Орловський, М. В. Місяць. – Технології та інжиніринг. – Київ: КНУТД, № 2, 2022. – с. 31–45. <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2022.2.3>.
4. Місяць М. В. Аналітична модель і розрахунки аеродинамічного захоплювача деталей крою з текстилю зі стосу маніпуляторів завантаження швейних машин / М. В. Місяць, Б. В. Орловський. – Том № 1 (2024): Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – с.281-290. DOI:[10.31891/2307-5732-2024-331-43](https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-331-43)

УДК 67.017+677(075.8)

Орловський Б. В., докт. техн. наук, професор

Київський національний університет технологій та дизайну, mlp-knuid@ukr.net

СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ЖОРСТКОСТІ ТКАНИНИ ПРИ ЗГИНІ

При виготовленні виробів з текстилю необхідно, щоб матеріал мав здатність згинатись, але при цьому утворення в процесі експлуатації незникаючих складок та зморшок на матеріалі призводить до зміни розмірів та форми виробів, погіршення їх якості.. Жорсткість матеріалів при згині це здатність чинити опір зміні форми при дії зовнішньої згинаючої сили . Жорсткість це характеристика, яка визначає здібність матеріалів чинити опір деформації (розтягненню, згинанню, крученню тощо). Залежить від геометричних характеристик перетину та фізичних властивостей матеріалів (модулів пружності) [1]. Для дослідження механічних властивостей текстильних використання і визначення кількісних параметрів жорсткості матеріалів застосовують метод консолі, При такому способі зразок тканини кладуть на площадку, після чого опускають рухомі частини площадки, що призводить до згинання зразка тканини під дією власної маси без його примусової деформації. Згаданий спосіб дозволяє вимірювати жорсткість тканини при згині з низькою точністю, тому що 20% зразка тканини не бере участь у самонавантаженні, під час якого опущені рухомі частини площадки, взаємодіючи зі зразком, утворюють кути між торцевою поверхнею рухомих частин площадок і торцевою поверхнею нерухомою частини площадки, що призводить до викривлення лінії згину зразка тканини між нерухомою та рухомими частинами, що додає додаткову помилку при само навантаженні. При цьому не враховується похибка вимірювань під час відліку величини прогину зразків тканин різної товщини.

Також відомий спосіб визначення жорсткості тканини при згині, при якому один кінець зразка тканини фіксується в нерухомому кронштейні, а другий – в рухомому, потім рухомий кронштейн переміщується, стискаючи зразок тканини до утворення складки. При використанні згаданого способу визначається момент втрати пружних характеристик зразка тканини з додатковою помилкою, яку вносить тензометричний датчик під час навантаження зразка тканини. Для текстильних матеріалів немає стандарту значень жорсткості при згині до моменту втрати пружних властивостей, тому відсутність таких еталонних мір не дозволяє використовувати згаданий спосіб для широкого застосування.

Відомий також спосіб визначення жорсткості тканини при згині за методом кільця. Для визначення жорсткості тканини, який містить притискну площадку для передачі навантаження на зразок тканини, знімну площадку стола, на якій закріплений зразок тканини у формі кільця та бункер з металевими кульками. При цьому способі стіл піднімають до моменту торкання зразка тканини з притискною площадкою, потім із бункера на притискну площадку подаються металеві кульки. Використання цього способу дозволяє вимірювати жорсткість тканини при згині з низькою точністю, тому що не враховується додаткова помилка від динамічного способу навантаження металевими кульками, а також те, що зразок, зроблений у формі кільця, вже до початку навантаження втрачає форму кільця під дією власної сили ваги.

В основу нового способу [2] визначення жорсткості тканини при згині виконано шляхом введення нових операцій відбувається само навантаження зразка в двох взаємо перпендикулярних напрямках, а наступною зміною двох його положень досягається точність визначення жорсткості тканини при згині завдяки спрощенню вимірювань та розрахунків (рис.1).

На плаский зразок у формі кільця, наносять на нього верхній і нижній, лівий і правий маркери у відповідних точках кільця, які лежать на кінцях взаємо перпендикулярних діаметрів, що проведені, відповідно, паралельно осям ОХ та ОУ, фіксують правий маркер,

закріплюють кільце у нижньому маркері, повертають його навколо осі ОХ на кут 90° проти годинникової стрілки і фіксують положення правого маркера, потім вивільняють кільце у нижньому маркері та закріплюють кільце у верхньому маркері і фіксують положення правого маркера, а жорсткість при згині обчислюють за формулою:

$$EI = 2\pi \cdot m \cdot g \cdot R \cdot h \left(\tan^{-1} \frac{a}{b} - \tan^{-1} \frac{a_1}{b_1} \right) \quad (1)$$

де EI – жорсткість тканини при згині, Н·см²;

m – маса зразка тканини, г;

g – прискорення вільного падіння, см/с²;

R – радіус кільця зразка тканини, см;

h – ширина зразка тканини, см;

величини a , b , a_1 , b_1 , см, – відповідно, проекції відрізків, що з'єднують маркери, які визначаються, відповідно, з рис. 1, а та рис. 1, б, де $a=y_1-y_2$ і $b=x_2-x_1$ та $a_1=y_2-y_1$ і $b_1=x_1-x_2$.

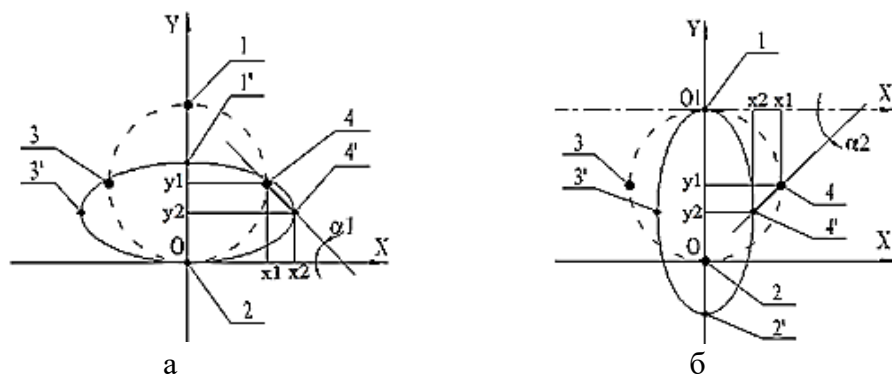


Рис.1 – Розрахункові схеми до нового способу визначення жорсткості тканин при згині

Жорсткість тканини при згині визначається як добуток довжини, ширини, ваги зразка тканини і різниці кутів нахилу відрізків, які з'єднують однойменні маркери до та після навантаження зразка тканини отриманні при двох варіантах закріплення останнього, тобто коли нижній маркер закріплений а верхній не закріплений, та навпаки коли верхній закріплений а нижній не закріплений. Величина визначення жорсткості при згині буде залежать від маси зразка тканини і різниці кутів нахилу цих відрізків. Реалізований таким чином спосіб дозволяє використовувати визначення жорсткості при згині в широкому діапазоні текстильних матеріалів.

Спосіб здійснюється наступним чином. Плaskий зразок масою m і шириною h зшивають у формі кільця радіуса R ; наносять на нього верхній, нижній, лівий, правий маркери у відповідних точках кільця, які лежать на кінцях взаємо перпендикулярних діаметрів, що проведені, відповідно, паралельно вісі ОХ та ОУ, фіксують положення правого маркера 4 (рис.1), закріплюють кільце у нижньому маркері 2 і повертають його навколо осі ОХ на кут 90° проти годинникової стрілки, потім фіксують положення правого маркера 4', з'єднують положення маркера до повертання 4 та після повертання 4' і визначають $a=y_1-y_2$ і $b=x_2-x_1$. Далі вивільняють кільце у нижньому маркері 2 та закріплюють кільце у верхньому маркері 1 (рис. 2) і також відмічають положення правого маркера 4', з'єднують точки положення маркера до повертання 4 та після повертання 4' і визначають $a_1=y_2-y_1$ і $b_1=x_1-x_2$. По отриманими значеннями a , b , a_1 , b_1 обчислюють жорсткість тканини при згині за формулою (1).

Список посилань

1. Слізков А. М. Тлумачний словник з матеріалознавства та текстильних виробництв / А. М. Слізков, Р. В. Луцук – Київ: Арістей, 2004. – 304 с.
2. Орловський Б. В. Спосіб визначення жорсткості тканин при згині / Б. В. Орловський, Н. С. Абрінова, Д. А. Тропша. – Патент на винахід (UA) № 54194 А, опубл. Бюл.№ 2, 2003.

УДК 621.357

Крюкова О.А., канд. техн. наук, доцент

Тіщенко Д.І., магістрант

Київський національний університет технологій та дизайну, lena.krukova@gmail.com

ОСОБЛИВОСТІ ГАЛЬВАНІЧНОГО ПОКРИТТЯ ВИРОБІВ НІКЕЛЕМ

Одним зі шляхів підвищення економічної ефективності промислових гальванічних виробництв та поліпшення екологічного стану навколишнього середовища є розробка та застосування технологічних процесів електроосадження металів з електролітів, що мають більш низьку, в порівнянні зі стандартною, концентрацією його хімічних реагентів. Особливо це стосується процесу нікелювання, який є найбільш розповсюдженим в сучасній гальванотехніці [1]. Високі захисні властивості нікелевого покриття внаслідок його анодного характеру та не дуже висока вартість нікелю пояснюють широке коло застосування електролітичного нікелювання в різних галузях промисловості.

Електроліти нікелювання дуже чутливі до органічних і неорганічних домішок. Правильне приготування електроліту забезпечує його надійну роботу протягом тривалого часу. При відповідному очищенні та коригуванні електроліт можна використовувати декілька років [2].

В теперішній час найбільшого поширення набули електроліти на основі сульфату нікелю, оскільки дана сіль добре розчиняється у воді. Електроосадження нікелю завжди супроводжується значною катодною і анодною поляризацією, яка залежить як від складу електроліту, так і від режиму проведення процесу (при пасивації анодів зменшується концентрація іонів Ni^{2+} в прикатодному просторі, що призводить до зменшення виходу за струмом). Тому в електроліт додатково вводять іони Cl^- , які знижують анодну поляризацію, оскільки ці іони, розряджаючись на аноді, розчиняють пасивну плівку анодів, завдяки чому знижують анодну поляризацію. Іони хлору вводяться у вигляді сполук: $NiCl_2$, $NaCl$ або KCl . У ролі буферної добавки в сульфатних електролітах зазвичай використовують борну кислоту [1]. Можливо також використання солей оцтової кислоти.

Для швидкісного осадження нікелю використовуються фторборатний або кремнійфторидні електроліти. Вони дозволяють проводити осадження при достатньо високих густинах струму. Осад виходить світлий та еластичний. Електроліз проводять як в стаціонарних ваннах, так і в барабанах та дзвонах. У якості буферних добавок для таких електролітів іноді використовують фториди.

Для формування блискучих осадів безпосередньо в процесі електролізу в електроліт вводять спеціальні добавки - блискоутворювачі. В наш час відомо багато блискоутворювачів, як неорганічних так і органічних, але більшість з них погіршують фізико-механічні та антикорозійні властивості нікелевих покриттів, сприяють пітингу [1]. Для попередження пітингу слід ретельно знежирювати поверхню деталей, стежити за якістю промивних операцій, особливо після операції знежирення, строго підтримувати кислотність розчину в заданому діапазоні та періодично чистити електроліт від органічних домішок шляхом фільтрації через активоване вугілля.

Список посилань

1. Якименко, Г.Я. Гальванічні покриття. Аспекти вибору, функціональні властивості і технологія одержання: навч. посібник / Г.Я. Якименко, В.М. Артеменко. – Харків: НТУ «ХПІ», – 2009. – 148 с.
2. Watson, F.A. and Worn, D.K., 1981, Developments in Electroforming of Nickel for Engineering Applications, Metallurgist and materials Technology, Vol. 13: 310-314.

УДК 677.055, 687.053

Дворжак В. М., канд. техн. наук, доцент
Київський національний університет технологій та дизайну, dvorzhak@ukr.net

ЗАСТОСУВАННЯ CAD-ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЦІЛЬОВИХ МЕХАНІЗМІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАШИН

Виконання складних рухів робочими органами технологічних машин потребує створення складних механізмів різних класів з використанням аналітичних методів. Після структурного синтезу проводиться геометричний синтез кінематичної схеми, що дозволяє аналізувати рух. Використання аналітичних методів дозволяє отримати точні результати та автоматизувати розрахунки за допомогою комп'ютерних програм. Однак ці методи можуть давати декілька розв'язків, що відповідають різним варіантам складання механізму. Іноді це може призвести до «дефекту галуження». Для вибору найкращого розв'язку рекомендується використовувати візуалізацію схеми, що дозволяє аналізувати рух механізму та досліджувати траєкторії його характерних точок [1]. Візуалізацію схем механізмів здійснюють зазвичай з використанням CAD/CAE-технологій, наприклад, програми MathCAD, що передбачає створення математичних моделей, які описують положення механізму, методами векторної алгебри [1]. У випадках, коли необхідно виконувати побудови положень механізму, зручніше користуватись графічними редакторами, наприклад, програмою AutoCAD, яка також дозволяє здійснювати креслення в автоматичному режимі, використовуючи редактор Visual Lisp. Програмний код Visual Lisp (рис. 1, рис. 2) містить власні функції користувача у вигляді математичних моделей, що описують вектори-ланки механізму та радіус-вектори характерних його точок методами векторної алгебри, та дозволяє створення базових геометричних об'єктів, таких як лінії, кола тощо, які відповідатимуть елементам кінематичної схеми механізму (рис. 3).

```
(defun c:positions1 ()
;Введення вхідних даних для побудови схеми механізму та траєкторій його точок
(setq P1 (getpoint "\nТочка 1: "))
(setq P4 (getpoint "\nТочка 4: "))
(setq L1_2 (getreal "\nДовжина ланки 1-2 (кривошип): "))
(setq L2_3 (getreal "\nДовжина ланки 2-3 (шатун): "))
(setq L4_3 (getreal "\nДовжина ланки 4-3 (коромисло): "))
(setq L3_5 (getreal "\nДовжина ланки 3-5 (відросток шатуна): "))
(setq L3_6 (getreal "\nДовжина ланки 3-6: (відросток коромисла) "))
(setq kut2_3_5_deg (getreal "\nКут 2-3-5 (в градусах): "))
(setq kut4_3_6_deg (getreal "\nКут 4-3-6 (в градусах): "))
(setq W2_3_4 (getreal "\nСкладання 2-3-4 (1 або -1): "))
(setq start_angle_deg (getreal "\nПочатковий кут ланки 1-2 (кривошип) (в градусах): "))
(setq pol (getreal "\nКількість положень механізму: "))
(setq MSt (getreal "\nМасштаб стояків механізму на кресленнику: "))
;Перерахунок кутових параметрів з градусів у радіани
(setq f0 (* (/ start_angle_deg 180.0) pi) f1_max (+ f0 (* 2.0 pi)))
(setq deltaf (/ (- f1_max f0) pol))
(setq kut2_3_5 (* (/ kut2_3_5_deg 180.0) pi))
(setq kut4_3_6 (* (/ kut4_3_6_deg 180.0) pi))
;Визначення проєкцій радіус-векторів стояків P1 і P4 на осі координат X і Y
(setq P1_x (car P1) P1_y (cadr P1) P4_x (car P4) P4_y (cadr P4))
;Встановлення початкового значення дискретної змінної кута повороту кривошипа f1
(setq f1 f0)
;Створення порожніх списків для зберігання координат точок механізму P5, P6 і P3
(setq points_list_P5 '() points_list_P6 '() points_list_P3 '())
```

Рис. 1 – Лістинг фрагменту програмного коду в редакторі Visual Lisp для AutoCAD для креслення положень механізму ниткопритягача з двома вічками швейної машини

```

;Цикл розрахунку з внутрішніми командами для визначення:
;1) вільних векторів-ланок P1-2, P2-3, P4-3, P3-5, P3_6
;2) радіус-векторів точок P2, P3, P5, P6
(while (<= f1 f1_max)
  (setq P1_2_x (ro_x 1.0 0.0 f1 1.0 L1_2) P1_2_y (ro_y 1.0 0.0 f1 1.0 L1_2))
  (setq P2_x (+ P1_x P1_2_x) P2_y (+ P1_y P1_2_y))
  (setq L4_2 (distance P4 (list P2_x P2_y)))
  (setq P4_2_x (- P2_x P4_x) P4_2_y (- P2_y P4_y))
  (setq kut2_4_3 (tcos L4_2 L4_3 L2_3))
  (setq P4_3_x (ro_x P4_2_x P4_2_y (* -1.0 W2_3_4 kut2_4_3) L4_2 L4_3))
  (setq P4_3_y (ro_y P4_2_x P4_2_y (* -1.0 W2_3_4 kut2_4_3) L4_2 L4_3))
  (setq P3_x (+ P4_x P4_3_x) P3_y (+ P4_y P4_3_y))
  (setq P2_3_x (- P3_x P2_x) P2_3_y (- P3_y P2_y))
  (setq P3_5_x (ro_x (* -1.0 P2_3_x) (* -1.0 P2_3_y) kut2_3_5 L2_3 L3_5))
  (setq P3_5_y (ro_y (* -1.0 P2_3_x) (* -1.0 P2_3_y) kut2_3_5 L2_3 L3_5))
  (setq P3_6_x (ro_x (* -1.0 P4_3_x) (* -1.0 P4_3_y) kut4_3_6 L4_3 L3_6))
  (setq P3_6_y (ro_y (* -1.0 P4_3_x) (* -1.0 P4_3_y) kut4_3_6 L4_3 L3_6))
  (setq P5_x (+ P3_x P3_5_x) P5_y (+ P3_y P3_5_y))
  (setq P6_x (+ P3_x P3_6_x) P6_y (+ P3_y P3_6_y))
;Креслення ліній, які зображують ланки механізму
(command "_line" P1 (list P2_x P2_y) "")
(command "_line" P4 (list P3_x P3_y) "")
(command "_line" (list P2_x P2_y) (list P3_x P3_y) "")
(command "_line" (list P3_x P3_y) (list P5_x P5_y) "")
(command "_line" (list P3_x P3_y) (list P6_x P6_y) "")
;Креслення кіл, які зображують обертальні кінематичні пари механізму 2, 3 та робочі
точкі механізму 5, 6
(command "_circle" (list P2_x P2_y) (* MSt 3.0))
(command "_circle" (list P3_x P3_y) (* MSt 3.0))
(command "_circle" (list P5_x P5_y) (* MSt 1.0))
(command "_circle" (list P6_x P6_y) (* MSt 1.0))
;Додавання нових координат точок P5 і P3 до початку відповідних списків
(setq points_list_P5 (cons (list P5_x P5_y) points_list_P5))
(setq points_list_P6 (cons (list P6_x P6_y) points_list_P6))
(setq points_list_P3 (cons (list P3_x P3_y) points_list_P3))
(setq f1 (+ f1 deltaf))
)

```

Рис. 2 – Лістинг фрагменту програмного коду в редакторі Visual Lisp для AutoCAD для креслення положень механізму ниткопритягача з двома вічками швейної машини (продовження)

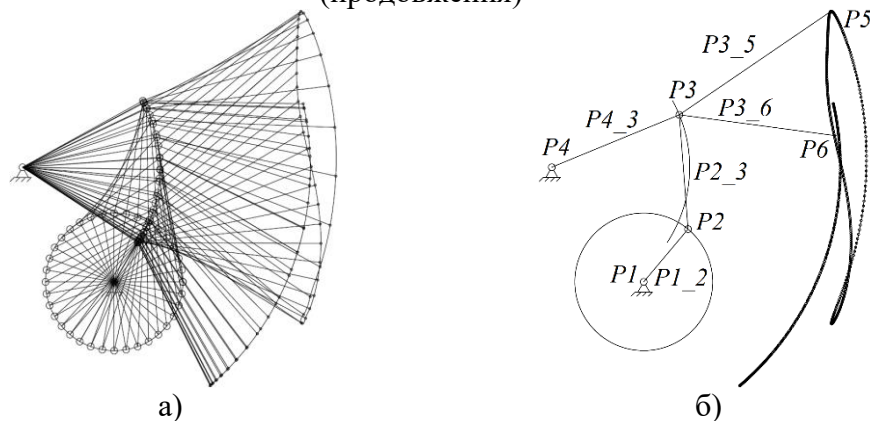


Рис. 3 – Схеми, отримані в результаті виконання програмного коду в редакторі Visual Lisp для AutoCAD а) 36 положень механізму; б) траєкторій за 360 положеннями механізму
Результати роботи можуть бути використані для дослідження положень та траєкторій точок механізмів технологічних машин в програмі AutoCAD.

Список посилань

1. Візуалізація схемотехнічного моделювання механізмів технологічних машин [Електронний ресурс] / В. М. Дворжак, Д. Л. Литвяк, І. С. Мелашенко, В. В. Мочоник // Технології та дизайн. - 2018. - № 4 (29). - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/td_2018_4_9.

УДК 628.1

Федін В.М., студент

Трус І.М., докт. техн. наук, доцент

Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського»,

inna.trus.m@gmail.com

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ АНТИСКАЛАНТУ ДЛЯ СТАБІЛІЗАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ ПРИРОДНОЇ ВОДИ

Вода використовується в багатьох сферах життя людини. Вона необхідна для пиття, зрошення сільськогосподарських культур, промислових процесів та виробництва електроенергії. Проте, вода може містити різні домішки, які негативно впливають на її якість та призводять до утворення накипу, корозії та інших проблем. Тому на сьогоднішній день стабілізаційна обробка води є досить важливою. Стабілізаційна обробка води запобігає утворенню накипу та корозії в системах водопостачання та опалення та робить воду стабільною до зміни хімічних та фізичних властивостей протягом певного періоду часу.

Утворення накипу – це складне явище, яке включає механізми кристалізації та перенесення. Типи накипу, які зустрічаються, можна загалом охарактеризувати як лужні, нелужні та на основі кремнію. Можна передбачити накип на основі даних про розчинність, загальна шкала, яка зустрічається під час цієї оцінки, включає карбонат кальцію (CaCO_3), сульфат кальцію ($\text{CaSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$), сульфат барію (BaSO_4), сульфат стронцію (SrSO_4), силікати, фосфат кальцію (Ca_3PO_4) та алюмосилікати [1 – 3].

Існує декілька типів реагентів для стабілізаційної обробки води, такі як фосфати, фосфонати та полікарбоксилати.

Поліфосфати, особливо гексаметафосфат натрію (NaPO_3)₆ (ГМФН) широко застосовується як засіб проти накипу [4]. Антискалантна функціональність у фосфатах зумовлена зв'язком $\text{O}-\text{P}-(\text{O})_3$, отриманим у реакціях конденсації ортофосфорної кислоти, у лінійній або циклічній формі [5].

Фосфонати – це солі та складні ефіри фосфонової кислоти, $\text{HPO}(\text{OH})_2$, добре розчинні у воді. Встановлено, що фосфонати працюють краще, ніж поліфосфати, особливо щодо інгібування відкладень CaCO_3 , $\text{Mg}(\text{OH})_2$ та BaSO_4 . Крім того, інгібуюча дія фосфонатів щодо CaCO_3 була значно вищою порівняно зі шкалою CaSO_4 [5]. Як і поліфосфати, фосфонати також можуть утворювати відкладення фосфату кальцію [6].

Полікарбоксилати характеризуються функціональними групами – COOH . Полікарбоксилатні антискаланти є аніонними низькомолекулярними поліелектролітами. Полікарбоксилати в основному є гомополімерами та сополімерами акрилової кислоти та малеїнової кислоти, але також доступні полімери, такі як поліметакрилова кислота та поліаспарати. Ефективність полікарбоксилату проти накипу залежить від молекулярної маси, кількості карбоксильних груп та просторового розташування функціональних груп.

Антискаланти застосовують для запобігання утворенню накипу в металевих конструкціях водогрійних котлів [7] та є ефективним методом контролю утворення накипу [8]. Однією з головних переваг антискалантів є низькі рівні необхідного дозування, що мінімально впливає на якість підживлюючої води, що є економічно ефективним способом.

Стабілізаційна обробка води за допомогою антискалантів є важливим методом запобігання утворенню накипу та корозії, що може значно продовжити термін служби обладнання та покращити якість води [9, 10]. В роботі для визначення стабілізаційного та протинакипного ефектів був досліджений антискалант РТ-110. Вплив дози даного реагенту на стабілізаційний (СЕ) та протинакипний (ПЕ) ефекти природної води з р. Десна наведено на рис. 1.

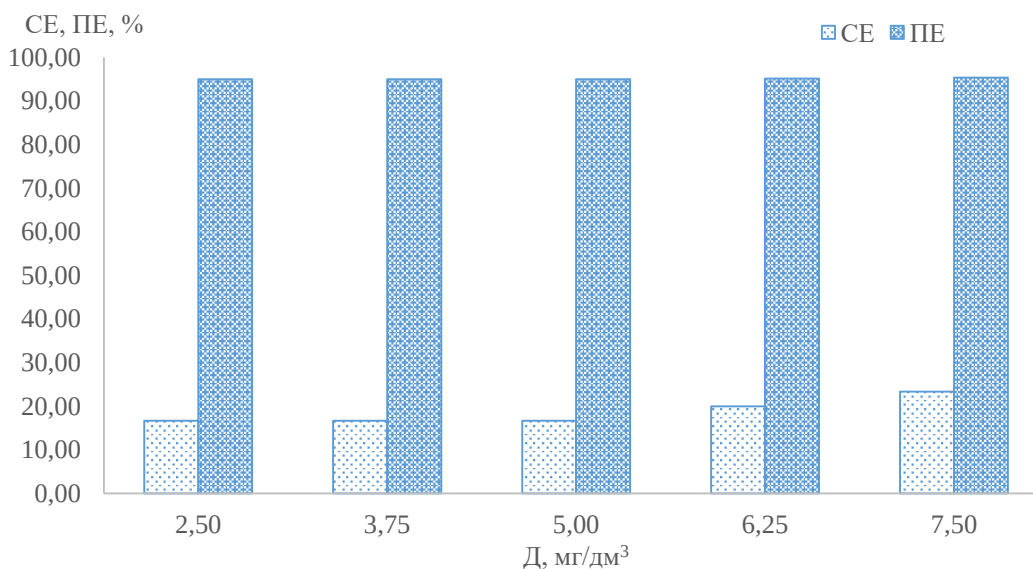


Рис. 1 – Вплив дози антискалantu РТ-110 при 80 °С на стабільність природної води з р. Десна при Ж = 5,0 мг-екв/дм³ (t = 2,0 год)

При підвищенні дози реагенту від 2,5 до 5,0 мг/дм³ стабілізаційний ефект не змінюється та становить 16,67 %, подальше підвищення дози стабілізатору до 6,25 та 7,50 мг/дм³ дозволяє підвищити стабілізаційний ефект до 20,0 та 23,3 % відповідно.

Список посилань

1. E.G. Darton, M. Fazell, A statistical review of 150 membrane autopsies, in: Presented at the 62nd Annual International Water Conference, Pittsburgh, October. – 2001. – P. 1-7.
2. Karime M. RO membrane autopsy of zarzis brackish water desalination plant / M. Karime, S. A. T. Bouguecha, B. Hamrouni // Desalination. – 2008. – № 220 (1-3). – P. 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.02.040>
3. Darton T. Membrane autopsy helps to provide solutions to operational problems / T. Darton, U. Annunziata, F. D. V. Pisano, S. Gallego // Desalination. – 2004. – № 167 (1). – P. 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2004.06.133>
4. Darton E. G. Membrane chemical research: centuries apart / E. G. Darton // Desalination. – 2000. – № 132 (1-3). – P. 1-11. [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(00\)00141-7](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(00)00141-7)
5. Ghani S. Impacts of different antiscalant dosing rates and their thermal performance in Multi Stage Flash (MSF) distiller in Kuwait / S. Ghani, N. S. Al-Deffeeri // Desalination. – 2010. – № 250 (1). – P. 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2009.09.077>
6. Dahan H. A. E. Gypsum scale control by phosphate ester / H. A. E. Dahan, H. S. Hegazy // Desalination. – 2000. – № 127 (2). – P. 1-8. [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(99\)00196-4](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(99)00196-4)
7. Darton E. G. Membrane chemical research: centuries apart / E. G. Darton // Desalination. – 2000. – № 132 (1-3). – P. 1-11. [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(00\)00141-7](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(00)00141-7)
8. Greenlee L. F. The effect of antiscalant addition on calcium carbonate precipitation for a simplified synthetic brackish water reverse osmosis concentrate / L. F. Greenlee, F. Testa, D. F. Lawler, B. D. Freeman, P. Moulin // Water Research. – 2010. – № 44 (9). – P. 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.02.024>
9. Trus I. Development of Scaling Reagent for Waters of Different Mineralization / I. Trus, M. Gomelya, O. Levytska, T. Pylypenko // Ecological Engineering & Environmental Technology. – 2022. – № 23 (4). – P. 1-7. <https://doi.org/10.12912/27197050/150201>
10. Trus I. Development of Resource-Saving Technologies in the Use of Sedimentation Inhibitors for Reverse Osmosis Installations / I. Trus, M. Gomelya, M. Skiba, T. Pylypenko, T. Krysenko // Journal of Ecological Engineering. – 2022. – № 23 (1). – P. 1-20. <https://doi.org/10.12911/22998993/144075>

УДК 66.021

Ночніченко І.В., канд. техн. наук, доцент
Ягеллонський університет, м. Краків, Польща, igor.nochnichenko@uj.edu.pl

ЯВИЩА ПЕРЕНОСУ ПРИ МАЛО АМПЕРНОМУ ЕЛЕКТРОЛІЗІ ВОДИ

Враховуючи потенціал водню як відновлювального енергетичного джерела, ініціативи для розвитку водневої енергетики стають все більш значущими в контексті боротьби зі зміною клімату та покращення енергетичної безпеки [1-3].

Мало амперний електроліз (0.02-0.5 А) може бути використаний для виробництва водню без значного виробництва тепла та інших побічних продуктів, які можуть виникати при велико амперних (30-300 А) електролізних процесах.

Встановлено, що інтенсифікацію робочих процесів і підвищення ККД у електролітичних апаратах можливо реалізувати зміною та пошуком фізичних величин або оптимального набору закономірностей функцій коефіцієнтів хімічної гідромеханіки [4].

Розглянемо, перш за все, процес переносу реагуючих частинок з електродом. Цей процес відбувається переносом частинок (поляризацію молекули води) до електродів (наприклад при потенціалі імпульсу в десятки тисяч вольтів), що лімітує повну швидкість процесу. Слід зазначити, що в процесі не тільки рухаються іони, а будь-які інші частинки, які беруть участь в реакції на електроді, наприклад молекули розчиненого кисню.

Перенос іонів з розчину до поверхні електрода відбувається в результаті руху їх в доданому до осередку електричному полі (міграції), дифузії від місць з більшою концентрацією до місць з меншою концентрацією і конвективного переносу іонів разом з рухомим розчином рис.1.

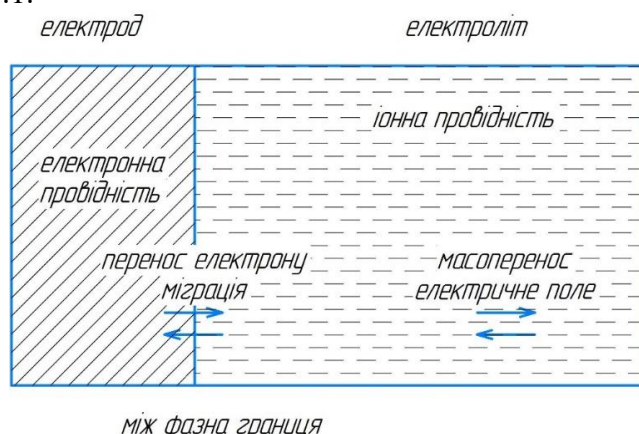


Рис.1 – Схема інформаційно-енергетичного переносу в водному розчині

На міжфазній межі розділу електрод - розчин протікають електродні процеси, в результаті яких між електродом і розчином встановлюється різниця потенціалів - електродний потенціал. Електродний потенціал E , що відповідає умовам рівноваги, пов'язаний зі зміною енергії Гіббса ΔG електрохімічної реакції, що протікає на електроді, так званої електродної реакції, співвідношенням:

$$E = \frac{\Delta G}{z \cdot F}$$

де z – число електронів, що беруть участь в електрохімічному рівновазі;

F – число Фарадея.

Отримане представлення формує базу для розробки алгоритму керування процесом поляризації молекули води, за рахунок застосування модулів які визначають раціональні параметри напруги та струму залежно від поточних змін у навколишньому середовищі та геометрії реактору.

Список посилань

1. Jakimenko L.M., Modylevskaja I.D., Tkachek Z.A. Jelektroliz vody izdatel'stvo Himija. Moskva. 1970. – 264 s.
2. Левич В. Г. Физико-химическая гидродинамика. / В. Г. Левич. – Изд. 2-е, дополненное и переработанное. – М.: ГИФМЛ, 1959. – 700 с
3. Korzh V.N. Obrabotka metallov vodorodno-kislorodnym plamenem: monografiya/ V.N. Korzh, Yu.S Popil'. // K. : Ekotekhnologiya, 2010.
4. Nochnichenko. I. Intensification of transfer phenomena in technological processes due to the use of cavitation impact / I. Nochnichenko, O. Jakhno, K. Lugovska // Journal of the Technical University of Gabrovo, #61 I. – Gabrovo, Bulgaria, – 2020. – pp. 60 - 64.

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

УДОСКОНАЛЕННЯ ФРИКЦІЙНОЇ ПЕРЕДАЧІ В ПРИВОДІ МАШИН ГАЛУЗІ

Фрикційна передача — один із різновидів механічної передачі, в якій рух від одного валу до іншого передається силами тертя, що виникають в зоні контакту робочих поверхонь обертових котків. Фрикційні передачі застосовуються при відсутності жорстких вимог до сталості передаточного відношення [1, 2].

Незважаючи на певні недоліки, в окремих випадках, використання в конструкціях машин та приладів, фрикційних передач є найраціональнішим конструкторським рішенням [3, 4].

У роботі [1, с. 32, рис. 2.1,6] представлено фрикційну передачу, що містить ведучий і ведений циліндричні клинчасті котки, встановлені відповідно на ведучому та веденому валах. Один із валів з клинчастим котком виконано рухомим, з можливістю притискання до іншого циліндричного клинчастого котка, що ускладнює конструкцію фрикційної передачі, та знижує надійність та довговічність її роботи.

Метою досліджень є розробка нової конструкції фрикційної передачі, в якій введенням нових елементів та їх зав'язків забезпечилось би підвищення довговічності її роботи.

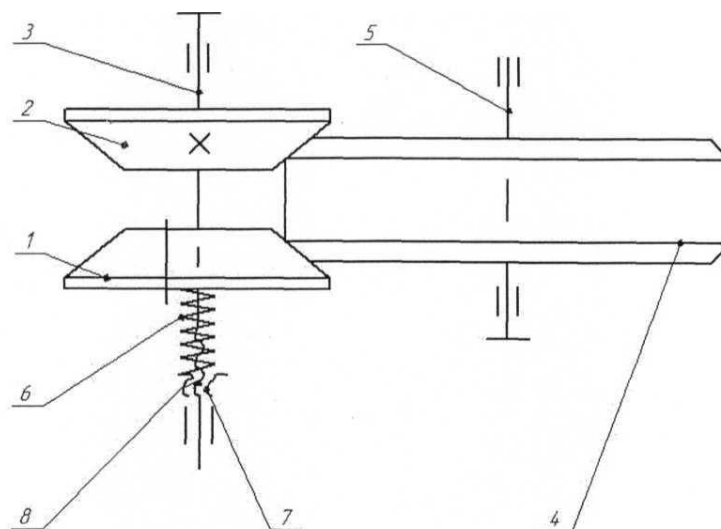
Авторами пропонується конструкція фрикційної передачі [5], що містить ведучий і ведений циліндричні клинчасті котки, встановлені відповідно на ведучому та веденому валах, причому ведучий клинчастий коток виконано з двох клинчастих дисків, встановлених на ведучому валу з можливістю притискання до веденого клинчастого котка, причому один клинчастий диск жорстко закріплено на ведучому валу, а другий клинчастий диск та ведений клинчастий коток встановлено з можливістю осьового переміщення вздовж відповідно ведучого та веденого валів.

Виконання ведучого клинчастого котка з двох клинчастих дисків, встановлених на ведучому валу з можливістю притискання до веденого клинчастого котка, причому один клинчастий диск жорстко закріплено на ведучому валу, а другий клинчастий диск та ведений клинчастий коток встановлено з можливістю осьового переміщення вздовж відповідно ведучого та веденого валів, спрощує конструкцію фрикційної передачі, що забезпечує підвищення довговічності роботи фрикційної передачі.

На рис. 1 представлено запропоновану конструкцію фрикційної передачі.

Фрикційна передача (рис. 1) містить ведучий клинчастий коток, виконаний у вигляді двох клинчастих дисків 1, 2, встановлених на ведучому валу 3, ведений клинчастий коток 4, встановлений на веденому валу 5, та циліндричну пружину стиску 6, встановлену на ведучому валу 3, один торець якої упирається в клинчастий диск 1, а другий торець упирається в гайку 7, нагвинчену на різьбу 8 ведучого валу 3.

При цьому клинчастий диск 2 жорстко закріплено на ведучому валу 3, а другий клинчастий диск 1 та ведений клинчастий коток 4 встановлено з можливістю осьового переміщення вздовж відповідно ведучого 3 та веденого 5 валів. Фрикційна передача працює таким чином. При вмиканні привода, в складі якого використовується фрикційна передача (на кресленні не показаний), ведучий вал 3 з встановленими на ньому клинчастими дисками 1, 2 починає обертатися. Під дією зусилля циліндричної пружини стиску 6 клинчастий диск 1 притискується до клинчастого котка 4, переміщуючи його вздовж веденого валу 5 та притискаючи до жорстко закріпленого на ведучому валу 3 клинчастого диска 2, створюючи при цьому необхідну для роботи фрикційної передачі силу тертя в зоні взаємодії клинчастих дисків 1, 2 з веденим клинчастим котком 4. Ведений клинчастий коток 4 починає обертатися, а разом з ним обертається і ведений вал 5, на якому він встановлений. Зусилля притиску клинчастого диска 1 до веденого клинчастого котка 4 та веденого клинчастого котка 4 до клинчастого диска 2, здійснюється за допомогою гайки 7 переміщенням її вздовж різьби 8, ведучого валу 3. При переміщенні гайки 7 вниз (згідно з кресленням) зусилля притиску клинчастих дисків 1, 2 до веденого клинчастого котка 4 зменшується, зменшуючи потужність передачі. При переміщенні гайки 7 вгору зусилля притиску клинчастих дисків 1, 2 до веденого клинчастого котка 4 збільшується, збільшуючи потужність передачі.



1, 2 – клинчасті диски, 3 – ведучий вал, 4 – ведений клинчастий коток, 5 – ведений вал,
6 – циліндрична пружина стиску, 7 – гайка, 8 – різьба

Рис. 1 – Фрикційна передача (запропонована конструкція)

Виконані дослідження дозволяють зробити наступні висновки:

- запропонована конструкція фрикційної передачі працездатна, надійна в роботі та дозволяє розширити асортимент фрикційних передач;
- запропонована конструкція фрикційної передачі може бути використана для проектування і розробки нових або удосконалення існуючих приводів машин галузі.

Список посилань

1. Піпа Б.Ф. Деталі машин : підручник для студ. вищих навч. закладів / Б. Ф. Піпа, О. М. Хомяк, А. І. Марченко. – К. : КНУТД, 2011. – 358 с.
2. Устюгов І.І. Деталі машин : навчальний посібник / І.І. Устюгов. – К. : Вища школа, 1984. – 399 с.
3. Піпа Б. Ф. Нові конструкції деталей, вузлів та механізмів машин / Б. Ф. Піпа, О. М. Хомяк, А. І. Марченко. – К. : КНУТД, 2006. – 322 с.
4. Хомяк О.М. Передачі : навчальний посібник / О.М. Хомяк, Б.Ф. Піпа. – К. : КНУТД, 2003. – 167 с.
5. Пат. 116948 Україна, МПК F16H 1/24 (2006.01). Фрикційна передача / Б. Ф. Піпа, С. А. Плешко, Ю. А. Ковальов, Г. І. Павленко ; власник Київський національний університет технологій та дизайну. – № u201613182 ; заявл. 23.12.2016 ; опублік. 12.06.2017, Бюл. № 11. – 2 с.

УДК 678.456.93.76

Савченко Б.М., докт. техн. наук, професор

Савчук Б.П., аспірант

Київський національний університет технологій та дизайну, savchuk.bp@knutd.edu.ua

МЕТОДИ ВТОРИННОЇ ПЕРЕРОБКИ ПОЛІМЕРНИХ ВІДХОДІВ

Протягом останнього століття людська діяльність суттєво впливає на навколишнє середовище. Багато вчених вважають, що зміни клімату пов'язані з коливаннями природних процесів, спричиненими техногенною діяльністю людини, зумовленою розвитком промисловості та сільського господарства. Стрімке зростання населення та обсягу відходів лише погіршує ситуацію [1]. Негативні наслідки цієї діяльності включають втрату біорізноманіття, що може призвести до розпаду екологічних груп та серйозних змін в екосистемах.

Пластик становить значну частину твердих відходів і знаходить широке застосування в сучасному житті. За період з 2016 по 2020 рік щорічний обсяг виробництва полімерних матеріалів перевищив 330 мільйонів метричних тон. Прогнозується, що до 2050 року світове виробництво пластику складе близько 1,1 мільярда тон. Незважаючи на це, лише 9% пластикових відходів переробляється щорічно, 19% спалюється, а решта відправляється на смітник або не утилізується взагалі [2]. Це призводить до забруднення водойм, оскільки пластикові відходи мають високу енергоефективність та вартість захоронення. Ефективне управління пластиковими відходами є ключем до вирішення проблем забруднення навколишнього середовища та досягнення сталого розвитку. Тому перехід від традиційної моделі "бери-роби-споживай-марнуй" до генеративної та відновлювальної моделі управління відходами є критично важливим [3].

Найбільш поширеними методами утилізації полімерних відходів залишаються захоронення та спалювання, але вони не лише дешевші, а й несуть великі ризики забруднення довкілля.

Ще одним шляхом розв'язання проблеми полімерних відходів є використання біополімерів, які піддаються біорозкладанню. Однак біополімери розкладаються лише в певних умовах і не завжди мають достатні властивості для заміни традиційних пластиків у багатьох сферах.

Єдиний спосіб вирішення цієї проблеми - це повторна переробка полімерних відходів з наступним їх повторним використанням. Це дозволить вирішити проблему утилізації, відновити природні ресурси та зберегти довкілля. Така модель розвитку відома як циркулярна економіка. Вона набагато ефективніша, соціально та екологічно стійка, оскільки дозволяє перетворювати відходи в оборотні матеріали, порівняно з традиційною лінійною економікою, яка передбачає виробництво, використання та викидання відходів.

Стратегії циклічної економіки мають потенціал створювати системи управління відходами, які максимізують економічну ефективність, зменшують споживання ресурсів і запобігають забрудненню довкілля. Ця стратегія також сприяє вирішенню проблеми зміни клімату, зменшуючи викиди вуглецю в промисловості, енергоспоживанні, будівництві та транспорті. Вона може покращити якість повітря та води, зменшити споживання енергії та природних ресурсів, а також ефективно утилізувати тверді та токсичні відходи.

Список посилань

1. Harvey, J. A., Tougeron, K., Gols, R., Heinen, R., Abarca, M., Abram, P. K., ... & Chown, S. L. (2023). Scientists' warning on climate change and insects. *Ecological monographs*, 93(1), e1553.
2. Cooper, D. R., & Gutowski, T. G. (2017). The environmental impacts of reuse: a review. *Journal of Industrial Ecology*, 21(1), 38-56.
3. Guerrero, M. (2013). Hogland, 2013 Guerrero L., Mass G., Hogland W. *Solid waste management, Waste Management*, 33(1), 220-232.

УДК 621.865.8: 687.053

Орловський Б. В., докт. техн. наук, професор

Київський національний університет технологій та дизайну, mlp-knutd@ukr.net

РОЗРОБКА ШВЕЙНОГО НАПІВАВТОМАТУ З МЕХАТРОННИМ КЕРУВАННЯМ ДЛЯ ПЕРЕМІЩЕННЯ СПЕЦРУКАВИЦЬ ПО КОНТУРУ

За стандартом ДСТУ 12.4.010 [1] виробляються спецрукавиці типу Г (з напалком, розташованим збоку по перегину рукавиці, призначеної як для правої, так і для лівої руки) на машинах неавтоматичної дії. Контури строчок при сточуванні лівої і правої спецрукавиці наведені на рис. 1.

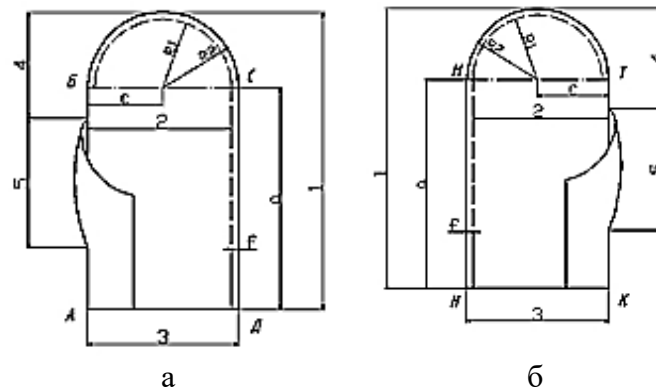
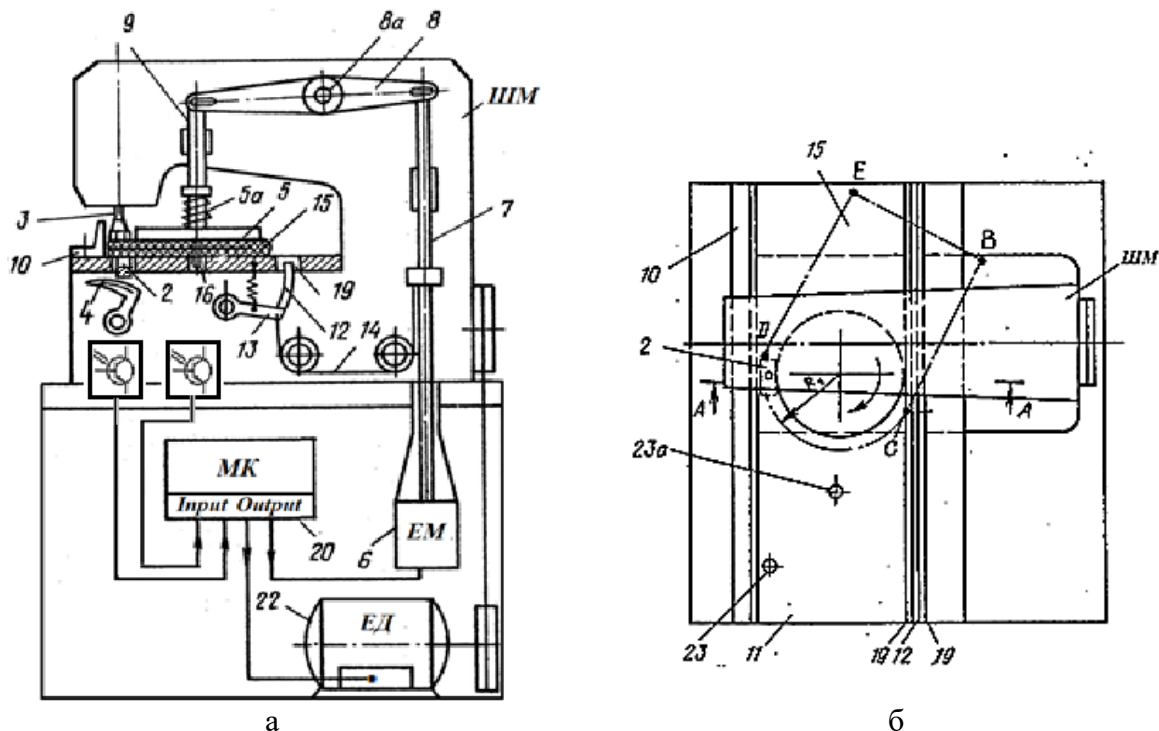


Рис. 1 – Контури строчок при сточуванні лівої (а) і правої (б) спецрукавиць: $l_{cd} = l_{nm}$ – довжина прямолінійних ділянок контура ниткового шва; $l_{cb} = l_{mt}$ – довжина ділянок контура ниткового шва по дузі радіусом $R1$.

Для автоматизації виконання швів на прямих та закруглених ділянках ниткового шва розроблений швейного напівавтомату з мехатронним керуванням [2], конструктивні особливості якого наведені на рис. 2.



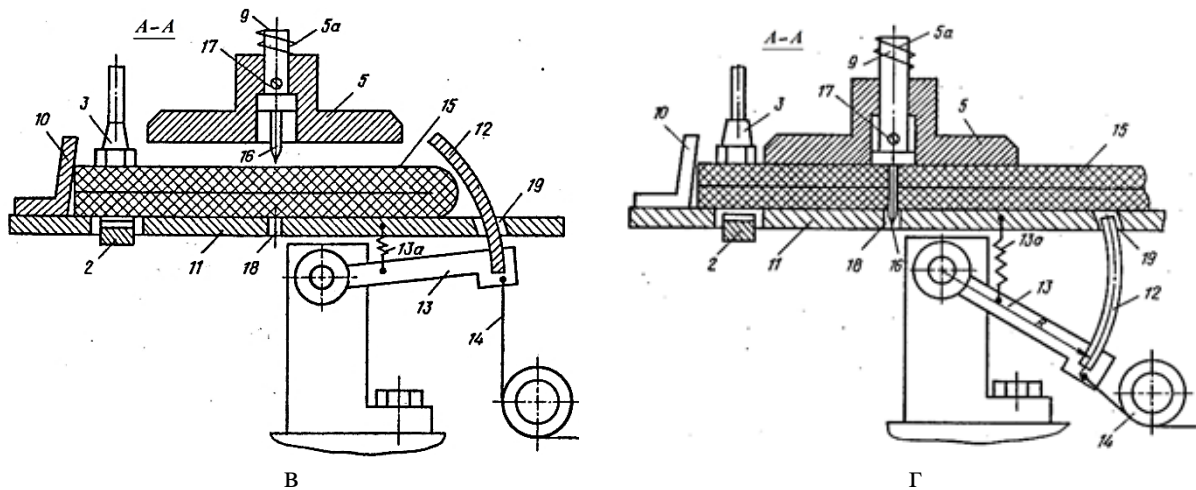


Рис. 2 – Конструктивні особливості швейного напівавтомату з мехатронним керуванням: а – загальний вигляд, вигляд спереду; б – загальний вигляд, вигляд зверху; в – переріз А-А (рис. б) при виконанні прямого шва; г – переріз А-А (рис. б) при виконанні шва по дузі кола; ШМ – шююча головка швейної машини; МК – мікроконтролер; ЕМ – електро/пневмо привод; ЕД – серво/кроковий електродвигун

Програмується наступний технологічний цикл роботи швейного напівавтомата: прямий шов – шов по дузі кола права рукавиця – прямий шов – шов по дузі кола ліва рукавиця. Такому програмованому технологічному циклу відповідає наступний електро механічний цикл роботи швейного напівавтомата: ЕМ1 ("1" включений) - притискний диск 5 ("0" вимкнений) для шва по дузі кола - напрямник 12 ("1" включений) для прямого шва - ЕМ1 ("1" вимкнений) - притискний диск 5 ("1" включений) - напрямник 12 ("1" вимкнений). Початок та кінець циклу шиття контролюється двома фото транзисторами.

Список посилань

1. ДСТУ 12.4.010 Рукавицы специальные. Технические условия
2. Орловський Б.В. Швейний напівавтомат. / Б.В. Орловський. – А. с. на винахід № 1 112 075, опубл. Бюл. № 33, 1984.

УДК 678.32.76.9

Савченко Б. М., докт. техн. наук, професор
Слепцов О. О., канд. техн. наук, асистент
Булгаков Є. С., аспірант

Київський національний університет технологій та дизайну, 1079@ukr.net

ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНОГО ОПТИЧНОГО АНАЛІЗУ ЗОБРАЖЕННЯ ДЛЯ ОЦІНКИ РОЗПОДІЛУ ДІАМЕТРІВ ВОЛОКОН НЕТКАНИХ МАТЕРІАЛІВ

Оптичний аналіз відіграє ключову роль в оцінці розподілу діаметрів волокон у нетканих матеріалах завдяки властивим йому перевагам перед традиційними ручними методами. Використовуючи такі методи, як фотомікроскопія та обробка отриманих зображень, оптичний аналіз сприяє точному та повному опису розподілу діаметрів волокон, забезпечуючи високу точність вимірювань діаметра [1].

Оптичний аналіз забезпечує значне підвищення ефективності праці за рахунок автоматизації процесу вимірювання, скорочення необхідних часу та зусиль, порівняно з ручними методами. Оптичний аналіз надає велику кількість даних, окрім простих вимірювань діаметра, включаючи статистичні параметри та візуальне представлення морфології волокон, що дозволяє більш ретельно аналізувати мікроструктуру матеріалу [2].

Універсальність методів оптичного аналізу дозволяє адаптувати їх для аналізу різних типів нетканних матеріалів з різним складом, структурою та морфологією волокон [3].

Одним із широко використовуваних програмних засобів для оптичного аналізу зображень є ImageJ. ImageJ, розроблений Національним інститутом охорони здоров'я, забезпечує універсальну платформу для обробки та аналізу зображень, що робить його особливо придатним для застосування в матеріалознавстві та мікроскопії. ImageJ пропонує низку функцій, включаючи алгоритми обробки зображень, інструменти вимірювання та плагіни, що дозволяє дослідникам пристосовувати робочі процеси аналізу до конкретних потреб дослідження [4].

У зв'язку з вищесказаним, нами було розроблено плагін для програмного забезпечення ImageJ, що працює за допомогою ряду складних алгоритмів обробки зображень, адаптованих до нюансів волоконних структур у цифрових зображеннях. Плагін використовує такі методи, як виявлення країв, порогове визначення та морфологічні операції, щоб точно ідентифікувати та розмежовувати окремі волокна серед складного фону та різної орієнтації волокон.

Початковий крок у робочому процесі плагіну включає попередню обробку зображення, де воно переводиться до чорно-білого 8-бітного формату .tiff. Далі застосовуються вбудовані в DiameterJ методи зменшення шуму та оптимізації якості зображення для покращення видимості волокна. Цей етап включає такі операції, як фільтри згладжування та підвищення контрастності для покращення загальної чіткості зображення. Далі плагін використовує алгоритми виявлення країв для визначення меж волокон на зображенні. Виявляючи різкі зміни інтенсивності пікселів, які зазвичай вказують на краї волокон. Цей крок ефективно окреслює контури окремих волокон, закладаючи основу для наступного вимірювання діаметра. Після виявлення країв плагін використовує методи сегментації, щоб ізолювати та відрізнити окремі волокна від фону. Цей крок включає порогові операції для бінаризації зображення та відокремлення волокон від неволоконистих елементів, а також морфологічні операції для уточнення та з'єднання виявлених країв у когерентні структури волокон (рис. 1).

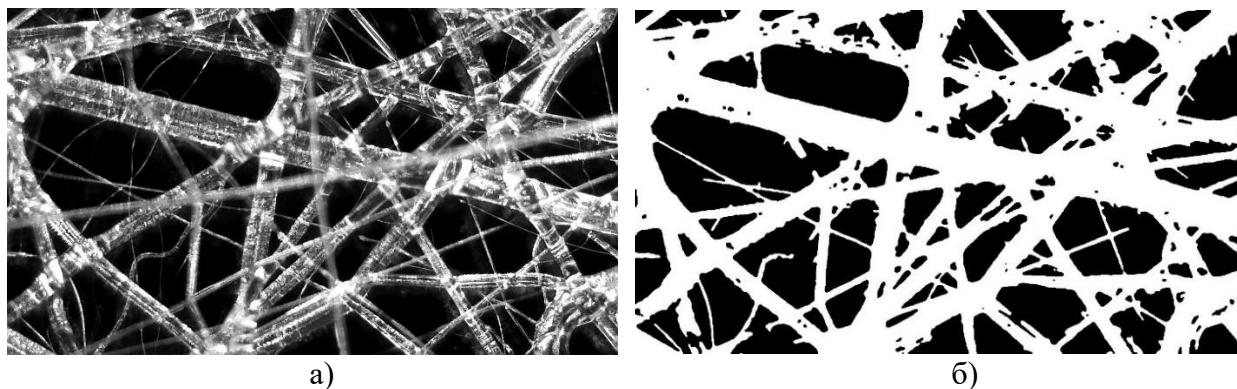


Рис. 1 – Зображення нетканого матеріалу з полілактиду: а) вихідне зображення; б) сегментоване зображення

Після сегментації волокон плагін починає вимірювати їхні діаметри. Це передбачає проходження алгоритму вздовж визначених контурів волокна та обчислення відстані між протилежними найближчими краями волокна, що дає точні вимірювання діаметра для кожного волокна на зображенні у пікселях.

Також плагін містить функції калібрування для перекладу вимірювань пікселів у фізичні одиниці, забезпечуючи точне та значуще кількісне визначення діаметра. Так, за допомогою калібрувальної лінійки було виміряно кількість пікселів на 1 мкм за різних кратностей збільшення електронного мікроскопу, отримані значення введені в відповідний вбудований

плагін ImageJ, що дозволило отримувати результати вимірювання одразу в фізичних величинах. Результати програмного оптичного аналізу наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати аналізу сегментованого зображення

Показник	Значення
Мода діаметру волокна, мкм	2,9557
Медіанний діаметр, мкм	10,8374
Мінімальний діаметр, мкм	0,9852
Максимальний діаметр, мкм	61,0837
Довжина волокон, мкм	4021,1820
Середня площа пори, мкм ²	1285,1230
Мінімальна площа пори, мкм ²	126,4287
Максимальна площа пори, мкм ²	7826,6880
Частка пористості	0,3635
Число пор, шт	44
Кількість перехрещень волокон, шт	163

Список посилань

1. Smith, J., et al. "Automated measurement of fiber diameter distribution in nonwoven materials using microscopy and image analysis." Journal of Microscopy, 2018 - pp. 345-359.
2. Patel, R., et al. "Image analysis of fiber diameter distribution in nonwoven materials: A review of methods and applications." Journal of Imaging Science and Technology, 2021 - pp. 78-92.
3. Wang, Y., et al. "Optical characterization of fiber morphology in nonwoven materials for filtration applications." Journal of Applied Polymer Science, 2019 - pp. 231-245.
4. Hotaling NA, Bharti K, Kriel H, Simon Jr. CG. DiameterJ: A validated open source nanofiber diameter measurement tool. Biomaterials 2015; 61:327–38

УДК 687.152:355.16

Ріпка Г.А., канд. техн. наук, доцент

Березненко С.М., докт. техн. наук, професор

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, bersenik@ukr.net

АНАЛІЗ ТЕПЛОЗАХИСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПАКЕТІВ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПРЕДМЕТІВ БОЙОВОГО ЕКІПРУВАННЯ ВІЙСЬКОВОСЛУЖБОВЦІВ

Збройні сили армій різних країн світу мають на постачанні обмундирування, створені в концепції «пошарового» одягу та забезпечують комфорт у різних температурних діапазонах та активності. Концепція «пошарового» одягу припускає на людині наявність трьох умовних шарів - базового, проміжного, і зовнішнього [1]. Фізично ці шари можуть нараховувати як кілька предметів одягу в межах одного шару, так і суміщення функцій одного-двох шарів в одному предметі одягу, в залежності від зовнішніх умов. Проте, лише правильна послідовність та підбір умовних шарів забезпечує комфорт, при співвідношенні форми тіла, розміром та формою виробу [2, 3].

Предмети бойового екіпування повинні відповідати ряду жорстких вимог, оскільки це сукупність предметів, що використовується військовослужбовцями як в ході бойових дій у військовий час, так і в цілях бойової підготовки в повсякденній діяльності.

Сьогодні військові із різних видів і родів військ мають цілу лінійку як уніфікованих, так і спеціалізованих зразків однострою, засобів захисту й усіляких дуже практичних речей, які спрощують життя військових [4]. Але і зараз Україна має гостру необхідність у нових та

власних розробках бойового екіпірування для військовослужбовців. І однією із основних задач на сьогоднішній день є утеплення зимового комплекту для військовослужбовців.

Норма забезпечення кількості предметів речового майна військовослужбовців Збройних Сил України зросла до 40 одиниць у бойовому єдиному комплекті (обмундируванням, взуттям, натільною і теплою білизною, теплими і постільними речами, спорядженням, спеціальним одягом, предметами індивідуального захисту), та до 29 – у бойовому спеціальному комплекті [5]. У нормі забезпечення з'явилося багато нових предметів (панам лїтня, шапка-феска та ін.)

Тема сучасного бойового екіпірування сьогодні є одним із пріоритетних напрямів подальшого розвитку вітчизняного війська. Проаналізувавши асортимент бойового єдиного комплекту, який використовується на теперішній час військовими Збройних Сил України, можна виокремити матеріали з яких виготовляють одяг спеціального призначення для військовослужбовців. Сучасне екіпірування бійця повинно створюватися на основі водозахисної і вогнестійкої тканини, що відлякує комах і є невидимою в інфрачервоному спектрі. До матеріалів, які застосовуються для виготовлення речового майна військовослужбовців належать: бавовняна або змішана камуфльована тканина, гладкопофарбоване трикотажне ворсове полотно типу «фліс», тканина поліефірна з поліуретановим покриттям (водовідштовхувальна), Тканина плащова, напіввовняна пряжа, бавовняна пряжа, натуральна шкіра та ін.

Тактико-технічні, фізичні, естетичні та інші властивості предметів екіпірування повинні мати певні особливості, серед них висока зносостійкість, міцність швів, стійкість до світла, водостійкість, вологовіддача теплозахисні властивості, гігроскопічність та ін.

Показники технологічності (конструкторсько-технологічні показники), характеризують властивості матеріалів, які впливають на моделювання, конструювання і технологію виготовлення одягу: пластичність, товщина, жорсткість, та ін. Ці показники визначають вибір конкретної моделі та її конструкцію, трудомісткість виготовлення виробу з конкретного матеріалу, впливають на розхід матеріалу, кількість відходів, припуски на обробку, конструкцію швів, вибір обладнання, швейних ниток та голок.

Обов'язковою умовою проектування теплозахисного одягу є застосування утеплюючої прокладки, в якості якої можуть бути використані утеплювачі: Thinsulate, Woolsoft, Softline, Hollowsoft та ін. Для забезпечення теплозахисних властивостей одягу для військовослужбовців необхідний обґрунтований вибір утеплюючого матеріалу.

Утеплювачі Thinsulate (США), Woolsoft, Softline (Україна) та Hollowsoft (Україна) – це об'ємні неткані синтетичні матеріали, які мають схожі властивості. Утеплювач «Thinsulate» є поліефірними мікрОВОЛОКНАМИ, «Hollowsoft» складається з порожнистих звивистих поліефірних волокон. Однак, «Hollowsoft» більш об'ємний, ніж «Thinsulate», відповідно виріб з нього буде більшим.

Важливою вимогою до утеплюючих матеріалів, є їх поверхнева щільність і товщина, що впливають на масу пакету одягу. При значній товщині та масі одягу погіршуються її ергономічні та експлуатаційні характеристики, що призводить до підвищеної стомлюваності бійця. Сумарний тепловий опір розглянутих утеплюючих матеріалів, представлено в таблиці.

Таблиця 1 – Сумарний тепловий опір утеплювачів

Найменування утеплювача	Повехнева щільність, г/м ²	Сумарний тепловий опір, м ² ·с/Вт
Thinsulate (США)	150	0,421
Woolsoft (Україна)	150	0,437
Softline (Україна)	100	0,250
Hollowsoft (Україна)	150	0,325

Як видно з таблиці значення сумарного теплового опору в утеплювачів Thinsulate і Hollowsoft практично рівні.

Отже, визначення принципів сумісності та підбору предметів бойового екіпірування дає можливість розподілу на сумісні та несумісні предмети екіпірування, що дозволить оцінювати їх фізичні та тактико-технічні властивості безпосередньо у пакетах. Беручи до уваги вищенаведені результати, слід зазначити, що матеріал Softline має невисокий тепловий опір, тому в зимовому костюмі військовослужбовців слід використовувати Hollowsoft і Thinsulate. Внаслідок обчислень отримано необхідне значення теплового опору зимового комплексу одягу, що дорівнює $R_{\text{сум}} = 0,495 \text{ Вт/м}^2$.

Список посилань

1. Система шарів одягу (на прикладі ECWCS). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://m.strikeshop.com.ua/2022/12/01/sistema-shariv-odyagu-na-prikladi-ecwcs/>.
2. Kurganska M.M., Berezenko S.M., Pavlova M.S., Vasylenko V.M. Effects of physical properties of clothes on parameters of the microclimate layer. Вісник КНУТД. № 3 (110). 2017. С. 77-82.
3. Novak D.S., Moshenskyi A.O., Berezenko S.M., Serhiienko L.H., Guida O.G. Functional system for temperature and relative air humidity software monitoring in interlayer clothing space. Science and Innovation, 2024, 20(2), P. 60–68.
4. Як поліпшується одяг і “споряга” ЗСУ. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mil.gov.ua/ministry/zmi-pro-nas/2019/03/03/yak-polipshuetsya-odyag-i-sporiaga%E2%80%9D-zsu/>.
5. Наказ «Про затвердження Змін до Норм забезпечення речовим майном військовослужбовців Збройних Сил України та Державної спеціальної служби транспорту в мирний час та особливий період та Змін до Інструкції про організацію речового забезпечення військовослужбовців Збройних Сил України в мирний час та особливий період» від 12.11.2020 № 413.

УДК 536.24:004.94

Грищенко Р.В., канд. техн. наук, асистент

Андрієнко М.О., аспірант

Національний університет харчових технологій, м. Київ, max.andrienkoo@gmail.com

ОБЧИСЛЮВАЛЬНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ ПОТУЖНОСТІ ТЕПЛООБМІНУ З ВИКОРИСТАННЯМ ПАКЕТУ ПРИКЛАДНИХ ПРОГРАМ ANSYS

Пакет прикладних програм ANSYS надає користувачеві велику кількість інформаційного матеріалу - графічне представлення розподілу полів температур, швидкостей та інше, що підвищує ефективність проектування енергоефективного обладнання, а також надають рекомендації щодо вибору критеріїв оцінки якості [1,2].

На сучасному етапі наукових досліджень обчислювальний експеримент є одним з важливих напрямів при вивченні задач аеродинаміки, гідрогазодинаміки, тепломасообміну та багатьох інших. Інформація, отримана за допомогою чисельних розрахунків, дозволяє не тільки правильно осмислити і зрозуміти фізичні ефекти, що спостерігаються, наприклад, на експериментальних установках, а й у деяких випадках замінити фізичний експеримент комп'ютерним, як найбільш ефективним. Враховуючи подальший прогрес в області розвитку обчислювальної техніки, можна очікувати, що в найближчому майбутньому зросте роль комп'ютерного моделювання.

Метою дослідження є ліцензійний пакет програм системно кінцевого елементарного (МКЕ) аналізу ANSYS 15.0, придбаний кафедрою, для моделювання процесу тепловіддачі, а також розподілу полів швидкості на різних дослідних ділянках за допомогою пакету прикладних програм ANSYS.

На прикладі двовимірної моделі труби досліджено доцільність використання турбулізаторів різних типів з точки зору потужності теплообміну. Об'єкт дослідження -

труба довжиною 1 м та діаметром 0,2м в якій верхня стінка є гладкою, а на нижній присутні турбулізатори. В кожній з п'яти задач досліджуються впливи різних факторів на ефективність тепловіддачі: крок ребер, їх форма, швидкість руху рідини.

На рис. 1 та 2 зображено розподіл профілю швидкості і температури одного з розглянутих випадків з турбулізатором округлого типу, за таких розрахункових параметрів: крок між ребрами $t = 0,2$ м, швидкість води на вході $u = 1,3$ м/с, режим руху турбулентний.



Рис.1 – Розподіл профілю швидкості



Рис. 2 – Розподіл профілю температури

Збільшення площі теплообміну нижньої стінки за рахунок ребер впливає на кількість переданої теплоти. Внаслідок збільшення кроку ребер відповідно до залежності $t/D = 1$ та за рахунок конструктивних змін, потік проникає в зони застою між ребрами та збурює їх, таким чином потік перемішується та поступово прогривається.

Список посилань

1. Басов К. А. Ansys в примерах и задачах / Под общ. Ред. Д. Г. Красковского. -М: Компьютер Пресс, 2002. - 224 с.: ил. ISBN 5-89959-092-0
2. Каплун А. Б. Ansys в руках инженера: практическое руководство / Каплун А. Б., Морозов Е. М., Олферьева М. А.; - М.: Едиториал УРСС, 2003. - 272 с.

УДК 637.3

Шинкарик М.М., канд. техн. наук, доцент

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

Паперняк Р.В., аспірант

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,
maria.shynkaryk@gmail.com

КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНКИ ЯКОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА СИРУ КИСЛОМОЛОЧНОГО НЕПЕРЕРВНИМ СПОСОБОМ

Донедавна виробництво сиру кисломолочного (далі продукту) проводилось періодичним способом і характеризувалось малою ступеню механізації технологічного процесу та низькими показниками санітарії [1, 2]. Крім цього, оскільки сквашування згустку проводилось у відкритих сирних ваннах, то до перелічених недоліків можна було також віднести і недостатнє охолодження продукту. Використання ліній неперервного виробництва на основі закритих апаратів (Tewel bis та інш.) для сквашування згустку та проведення технологічних операцій у закритому потоці дозволило значно покращити санітарні показники технологічних ліній.

Машино-апаратурна схема виробництва включає: ємність для сквашування молока (сировиготовлювач) (рис. 1), отримання згустку і підігріву до заданої температури (у залежності від масової частки жиру в продукті); насос для перекачування утвореного середовища (продукт, сироватка); охолодження в потоці на трубчастому охолоджувачі; відділення вологи на барабанному зневоднювачі та пресуючому транспортері; охолодження на шнековому охолоджувачі. При завершенні процесу у сировиготовлювачі відбирають до 50% сироватки, решта – відділяється на барабанному зневоднювачі та пресуючому транспортері.

Оцінку якості технологічного процесу проводили з точки зору сталого розвитку.

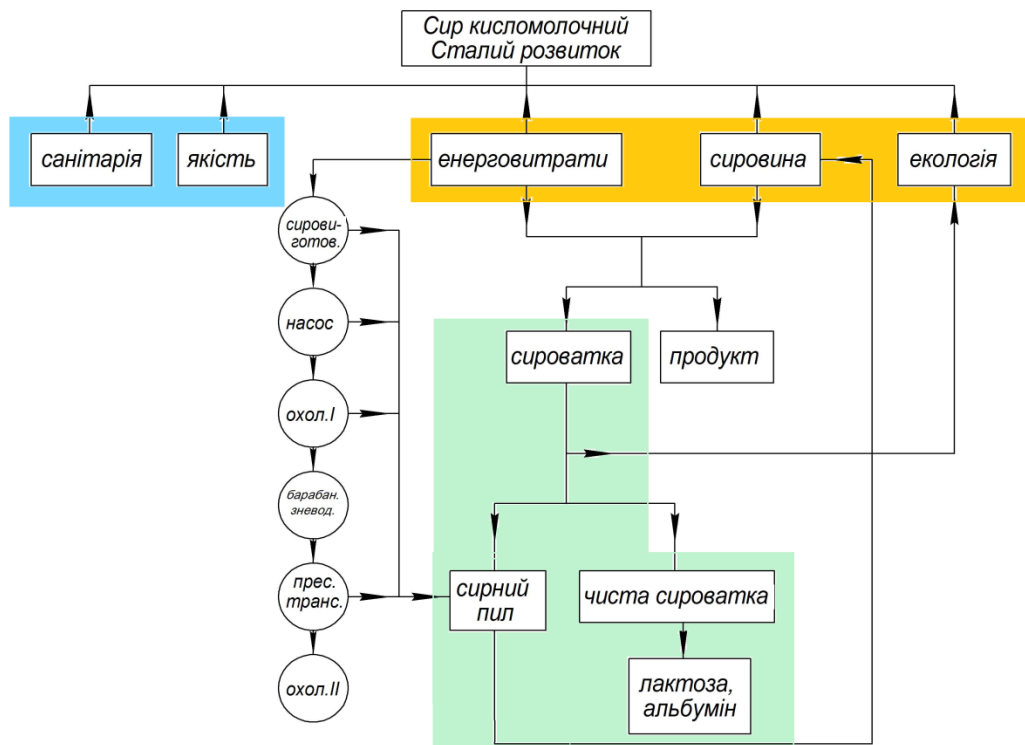


Рис. 1 – Блок схема взаємозв'язку показників сталого розвитку

Основними показниками у комплексному підході до оцінки технологічного процесу на лініях неперервного виробництва продукту були вибрані такі: якість готового продукту, санітарія, виробництво продукту з одиниці сировини, затрати енергоресурсів, вплив виробництва на навколишнє середовище.

Показники якості продукту і санітарії відносяться до сьогодення і забезпечуються якістю сировини і дотриманням вимог технологічного процесу і не мають впливу на довкілля. Щодо останніх трьох, то вони взаємозв'язані і їх можна віднести до інтенсивних параметрів сталого розвитку.

Сироватка, утворена при виробництві основного продукту, створює значне екологічне навантаження на довкілля, але є цінною сировиною оскільки містить значну кількість лактози і білку [3-4], який знаходиться у вигляді дисперсної фази казеїну (сирний пил) і альбуміну. В той же час сироватку можна повністю переробляти за відомими технологіями [2, 5-6], які використовуються при виробництві твердих сирів і економічно обґрунтовані при великих об'ємах виробництва.

Підвищення степені механізації технологічного процесу призводить до збільшення маси сирного пилу в результаті дії перемішуючих і транспортуючих засобів, тому важливим і першим етапом переробки сироватки є її очищення від сирного пилу [7, 8]. Відділений білок є повноцінною сировиною і може в подальшому використовуватись при виробництві плавлених сирів та інших продуктів. Тому навіть при невеликих об'ємах виробництва доцільно виділити білкову дисперсну фазу, яка утворюється в результаті механічної дії устаткування на продукт.

Список посилань

1. Технологія сиру: підручник / Сухенко Ю. Г., Поліщук Г. Є., Раманаускас Р. Й., Шингарева Т. І.; під заг. ред. Ю.Г. Сухенка.- 2-ге вид, переоб. і допов. – К. : Фірма «ІНКОС», 2018. – 412 с.
2. Сучасні технології молочних продуктів: підручник/ О.А. Савченко, О.В. Грек, О.О. Красуля. – К.; ЦП «Компринт», 2017.– 218 с.
3. Інноваційні технологічні аспекти перероблення молока на білкові концентрати та сироваткові напої / Савченко О.А., Грек О.В., Пшенична Т.В. – Монографія – К.: ЦП «Компринт», 2020. – 183 с.

4. Zhao, Z. Serum composition of milk subjected to re-equilibration by dialysis at different temperatures, after pH adjustments / Z. Zhao, M. Corredig // Journal of Dairy Science. – 2016. – Volume 99, Issue 4. – P. 2588-2593

5. Змієвський Ю.Г. Удосконалення процесу електродіалізу молочної сироватки / Ю.Г. Змієвський, В.Г. Мирончук, Д.Д. Кучерук // Наукові праці Одеської нац. акад. харчових технологій. – 2008. – Вип. 32. – С.238-241.

6. Українець А.І. Процес нанофільтрації молочної сироватки / А.І. Українець, В.Г. Мирончук, Ю.Г. Змієвський // Обладнання та технології харчових виробництв: зб. наук. праць. – Донецьк, – 2007. – Вип. 17. – Т.1. – С. 138-142.

7. Фільтр для очистки молочної сироватки від сирного пилу / Шинкарик М.М., Кравець О.І., Шинкарик М.В.; заявник і власник Тернопільський нац. тех. ун. ім. І.Пулюя. заявл. 14.08.12 ; опубл. 25.02.13, Бюл. № 5.

8. Shynkaryk M. Mathematical modelling of the separation of suspension process on the filter with self-purifier filter element / M. Shynkaryk, O. Kravets / Ukrainian Food Journal. – 2016. № 1. – P. 135-143.

УДК 631.147:633.11(477.51)

Хребтань О.Б., канд. техн. наук, доцент
Селінний М.М., канд. екон. наук, доцент

Національний університет «Чернігівська політехніка», olenaborisovnahrebtan@gmail.com

ОРГАНІЧНЕ ВИРОБНИЦТВО ПШЕНИЦІ СПЕЛЬТИ У ФЕРМЕРСЬКИХ ГОСПОДАРСТВАХ ЧЕРНІГІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

У світовому та вітчизняному сільськогосподарському виробництві і переробній промисловості намітився чіткий напрям на виробництво екологічно чистої та органічної продукції. Відхід від інтенсивного виробництва, продиктований вимогами сьогодення – необхідністю наповнити споживчий ринок безпечною, корисною органічною продукцією задля оздоровлення людей та прищеплення культури споживання здорової харчової продукції. За статистичними даними, значна кількість захворювань викликана споживанням харчових продуктів, вироблених з сировини, вирощеної за інтенсивними технологіями – з застосуванням хімічних мінеральних добрив, пестицидів, гербіцидів та ін. В органічному виробництві найважливішою умовою є заборона застосування інтенсивної агрохімії у виробництві органічного рослинництва, збереження ґрунту і водних ресурсів сільськогосподарських земель.

Виробництво органічної продукції в Україні регламентується Законом «Про основні принципи та вимоги до органічного виробництва, обігу та маркування органічної продукції» та Постановою КМУ «Про затвердження Порядку (детальних правил) органічного виробництва та обігу органічної продукції», що гармонізовані з законодавством Євросоюзу щодо органічного сільськогосподарського виробництва [1, 2].

Рослинництво є одним з найважливіших напрямів органічного виробництва, адже саме рослинництво забезпечує: споживчий ринок овочами і фруктами; органічне тваринництво кормами; збагачує ґрунт в органічному виробництві.

В Чернігівській області, після активних бойових дій з лютого 2022 року, відновили свою діяльність 5 господарств, що займаються органічним рослинництвом:

1. Фермерське господарство «Агро-Люкс» (Новгород-Сіверський район, с. Тарасівка).
2. Фермерське господарство «Макишинський сад» (Городнянський район, с. Макишино).
3. ПрАТ «ЕТНОПРОДУКТ» (Чернігівський район, с. Травневе).
4. Фермерське сільське господарство «Золотий Пармен» (Новгород-Сіверський район, с.м.т. Короп).
5. ТОВ «Ловінь-Агро» (Чернігівський район).

У всіх перелічених господарствах вирощують органічну зернову продукцію і, зокрема, пшеницю спельту. Деякі з органічних господарств Чернігівщини отримали сертифікат від

«Органік Стандарт» - єдиного в Україні органу із сертифікації органічного виробництва, визнаного в Європі. [3]

Сучасні сорти пшениці не містять достатньої, для організму людини, кількості поживних речовин, в той час, як здавна відомі в Україні сорти пшениці – спельта, полба, хорасан мають в своєму складі велику кількість мікроелементів, харчових волокон, амінокислот і вітамінів.

Пшениця спельта (*Triticum spelta* L.) – це давній вид сучасного виду м'якої пшениці, до суттєвих переваг якої, відносяться:

- висока морозостійкість;
- стійкість до найпоширеніших хвороб зернових культур;
- наявність в зерні спельти значної кількості протеїну, мікро- і макроелементів;

хлібобулочні вироби з борошна спельти рекомендовані для введення в раціон людей, хворих на целіакію (не перенесення глютену – білку зернових культур). Порівняно з традиційними видами пшениці, у спельти – мінімальний вміст глютену. [4]

Також, науковцями було встановлено, що в пшениці спельти на 50% більше вітамінів, ніж у класичній м'якій пшениці. За результатами проведених відомими науковцями (Господаренком Г.М., Любичем В.В., Твердохлібом О.В. та ін.) досліджень, було встановлено: в борошні з пшениці спельти в 2,6-5,7 рази більше мікроелементів порівняно з традиційними сортами м'якої пшениці; хлібобулочні вироби з борошна спельти, під час оцінювання показників їх якості, отримали найвищі бали. [5, 6]

Органічні фермерські господарства Чернігівщини вирощують, в середньому, 2 тис. тон спельти на рік. Це, звичайно, набагато менше, ніж вирощують м'якої пшениці інтенсивні господарства, але в органічному виробництві значно знижується виснажування ґрунту, зернова продукція, за таких умов, екологічно чиста, має високу поживну цінність.

Спельта, що вирощується фермерськими господарствами Чернігівщини, переробляється на цільнозернове борошно і крупу. Фермерські господарства потребують впровадження переробних комплексів з виробництва харчової продукції, яку вони можуть виробляти із цільнозернового спельтового борошна: хлібобулочні, кондитерські і макаронні вироби, крупи, готові каші, сухі сніданки та ін.

Сьогодні, небагато органічних господарств Чернігівщини можуть дозволити собі будівництво виробничих підприємств з переробки органічної пшениці спельти у харчові продукти. Це потребує Державної підтримки, значних інвестицій в галузь, що безумовно, виправдано, адже, в результаті – це вкладання в майбутнє, забезпечення здоров'я нації. Харчову продукцію із органічного борошна спельти, без перебільшення, можна назвати екологічно чистою їжею, яка буде корисною і безпечною в раціоні харчування споживачів різних вікових груп, а особливо – дітей.

Список посилань

1. Закон України «Про основні принципи та вимоги до органічного виробництва, обігу та маркування органічної продукції» № 2496-VIII, в редакції № 2246-IX від 12.05.2022 р.
2. Постанова КМУ «Про затвердження Порядку (детальних правил) органічного виробництва та обігу органічної продукції» № 970 від 23.10.2019 р., в редакції № 749 від 01.07.2022 р.
3. <https://apk.cg.gov.ua/index.php?id=19927&tp=1&pg>
4. Дробот В.І. Порівняльна характеристика хімічного складу та технологічних властивостей суцільно змеленого пшеничного борошна та борошна спельти. / В.І. Дробот, А.Б. Семенова, Л.А. Михонік // Хранение и переработка зерна. – 2014. – № 4. – С. 37-39.
5. Любич В.В. Якість хліба з різного борошна пшениці спельти залежно від сорту. / Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків: зб.наук. праць /Ін-т біоенергет. Культур і цукрових буряків, Нац. акад. аграр. Наук України. Київ, 2021. Вип. 29. С 78-88. DOI: <https://doi.org/10.47414/np.29.2021.244429>
6. Спосіб оцінки якості хліба зі спельти: пат. 110269 Україна МПК А21D 8/00 / Господаренко Г. М., Любич В. В., Полянецька І. О., Возіян В. В.; заявник і власник УНУС. – № u 2015 12030; заявл. 04.12.2015; чинний з 10.10.2016, Бюл. № 19.

УДК 637.13, 637.14, 637.146

Петруша О.О., канд. техн. наук, доцент
Арсеньєва Л.Ю., докт. техн. наук, професор
Логінова А.О., асистент

Національний університет харчових технологій, м. Київ, anna.ol.logi@gmail.com

ФОРМУВАННЯ ПОРІВНЯЛЬНОЇ ШКАЛИ КОЛЬОРУ ПРЯЖЕНОГО МОЛОКА ТА РЯЖАНКИ

Споживання молочної продукції щороку зростає, а її асортимент дуже різноманітний: молоко пастеризоване, ультрапастеризоване чи стерилізоване, кефір, сир кисломолочний, тверді та плавлені сири. Усі продукти користуються попитом в більшій чи меншій мірі та мають свою категорію споживачів. Для вітчизняних споживачів пряжене молоко, ряжанка та згущене молоко є привабливою продукцією за їх особливий пряжений колір, смак і запах. Але нині не існує єдиного стандартизованого кольору, який був би притаманний для пряженого молока чи ряжанки. Навіть у ДСТУ 4565:2006 «Ряжанка та варенець. Технічні умови» колір характеризується як: «рівномірний за всією масою: від кремового до темно-кремового відтінку (для ряжанки), від молочно-білого до світло-кремового (для варенця)», а в ДСТУ 2661:2010 «Молоко коров'яче питне. Загальні технічні умови» – «від світло-кремового до темно-кремового відтінку».

Процес пряження молока триває від 3 до 5 год за різними рекомендаціями (визначається технологічною інструкцією оператора ринку), і кінцевий час пряження встановлюється візуально головним технологом на власний розсуд. При цьому контроль за відповідністю такого кольору буде проводити в кращому випадку – змінний технолог, в іншому – оператор процесу. Тому, часто в магазині колір пряженого молока чи ряжанки того самого виробника в один і той самий період буде відрізнятися. Тому для того, щоб полегшити виробникам виробництво пряженого молока і відповідно і виробництво ряжанки пропонуємо використовувати відому і стандартизовану систему відповідності кольорів «Pantone».

На рис.1 у системі відповідності кольорів «Pantone» представлено колір пряженого молока і ряжанки, які схожі між собою.

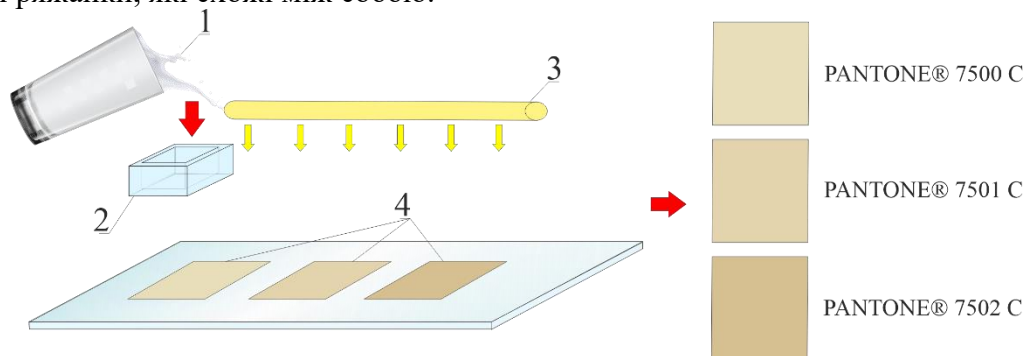


Рис. 1 – Схема порівняння кольору зразку пряженого молока або ряжанки із палітрою «Pantone»: 1 – зразок продукту, 2 – скляна кювета, 3 – джерело світла, 4 – палітри порівняння

Переведення кольору пряженого молока і ряжанки у систему відповідності кольорів «Pantone» допоможе виробникам отримувати продукти з однаковим кольором, що позитивно вплине на відтворюваність характеристик продукції, оскільки споживачі будуть знати, що у будь-якого виробника вони зможуть купити однаковий продукт. Технологам це допоможе контролювати процес пряження, і вони відійдуть від контролювання процесу пряження «на око».

УДК 330.123.72

Панчук А.М., студент

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, ztk@nung.edu.ua

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ТОРЕФІКАЦІЇ БІОМАСИ

Збільшення обсягів використання відновлюваних джерел енергії є одним із найважливіших напрямів енергетичної політики України, спрямованої на заощадження традиційних паливно-енергетичних ресурсів і поліпшення стану навколишнього природного середовища [1].

Біомаса є універсальним джерелом енергії, яке може використовуватися як для виробництва електричної та теплової енергії, так і для отримання біопалива на транспортні потреби. Разом з тим для біомаси характерними є її низька енергетична щільність, нестабільність гранулометричного складу, велика різниця значень вмісту вологи та низька насипна щільність. Вказані технічні характеристики складають зберігання біомаси її зберігання, транспортування та подальше ефективне застосування.

Одним з найефективніших методів первинної обробки біомаси є процес торефікації. Торефікація – це енергоефективний процес перетворення біомаси в речовину, збагачену вуглецем, шляхом її нагрівання до температури 300°C. Отримана торефікована біомаса не потребує високих вимог для зберігання і транспортування, не піддається біологічній деградації, що робить її конкурентоздатним проміжним продуктом для подальшої переробки в різноманітні біопалива [1].

Для визначення умов виконання процесу торефікації, як правило, використовуються експериментальні та емпіричні дані. У той же час методи проб і помилок для виявлення оптимальних умов проведення процесу вимагають значних витрат часу та засобів.

Дослідження проводились для біомаси, отриманої з бука. Бук є досить поширеною рослиною в Карпатському регіоні і в основному використовується для виробництва меблів та інших деревних виробів. За цього утворюються висококалорійні відходи тирси та тріски, які в більшості випадків використовуються нераціонально. Застосування таких відходів для енергетичних цілей може бути досить перспективним рішенням.

Для оптимізації процесу торефікації використовувався метод математичного планування експерименту. Для реалізації завдання було розроблено план експериментів на основі дворівневої структури. Під час проведення досліджень визначали втрату маси вихідного продукту в залежності від двох факторів: температури торефікації Z_1 - 250°C ... 300°C та часу торефікації Z_2 - 30 ... 60 хвилин. Інтервал змін температури торефікації складав 25°C, а часу торефікації – 15 хвилин. Оптимальність методу заключалася в тому, що по вибраній альтернативній цілі – втраті маси визначалися технологічні параметри: температура та час торефікації.

Після проведення експериментів проводилось оброблення даних за допомогою критеріїв Кохрена, Стюдента та Фішера. Математична модель в натуральних величинах представлена залежністю 1.

$$m = 0,42T + 0,3t - 103,5 \quad (1)$$

де: m – втрата маси;

T – температура торефікації;

t – час торефікації.

Список посилань

1. Panchuk, M. &Kryshtopa,S.&Panchuk, A. et al. Perspectives for torrefaction technology development and using in Ukraine. *Inter J Ener Clean Env.*2019. Vol. 20. P. 113–134.

УДК 677.687

Молодан А.М., здобувач освіти
Лазарів Є.М., здобувач освіти
Мамченко Я.О., аспірант, асистент
Рубанка А.І., канд. техн. наук, доцент

Київський національний університет технологій та дизайну, rubanka.ai@knu.edu.ua

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ МОДЕЛЕЙ ВІРТУАЛЬНОГО ОДЯГУ В ПРОГРАМІ CLO3D

Сьогодні ми можемо спостерігати стрімкий розвиток світової модної індустрії. Вона стає більш прогресивною та технологічною, в ній все більше застосовуються глобальна цифровізація та автоматизація. Цифрові технології вже не просто перспективний напрямок або інноваційне введення у сфері моди, вони стали інтегрованою частиною сучасної реальності. 3D-графіка є однією з найбільш використовуваних засобів у створенні реклами чи повноцінного товару в fashion-індустрії. Дизайнери та бренди створюють 3D-прототипи нових колекцій перед їх безпосереднім запуском у виготовлення, 3D-копії своїх продуктів для реклами та віртуальних показів, а fashion-інфлюєнсери, котрі хочуть здивувати аудиторію або виокремитись серед конкурентів купують цифровий одяг для оригінальних фото та відео в соціальних мережах та віртуальному просторі. Виходячи з цього можемо спостерігати підвищення попиту на спеціалістів із навичкою 3D-візуалізації [1, 2].

Однією з сучасних впізнаваних програм для проектування 3D-одягу та аксесуарів є Clo3D. Це програмне забезпечення для моделювання та розробки одягу у віртуальному середовищі, яке дозволяє створювати 3D-моделі одягу, використовуючи широкий спектр інструментів і функцій [3].

Clo3D користується популярністю серед багатьох світових компаній та брендів, таких як: Adidas, New Balance, Hugo Boss, Diesel, Levi's та інші. А також Clo3D має серед своїх клієнтів перелік навчальних закладів, котрі пропонують вивчення даної програми.

Програма Clo3D допомагає дизайнерам, модельєрам, конструкторам швидше створювати, перевіряти та оцінювати нові моделі одягу без витрат матеріалів. Функціонал програми дозволяє відтворити всі етапи розробки одягу.

Основними функціями Clo3D є: створення базових конструкцій та їх моделювання (готові базові конструкції, які розроблені у САПР, також можна завантажити у форматі AAMADXF), віртуальне «зшивання» та примірка виробу на аватар, додавання текстур та різних матеріалів, фізична симуляція виробів, візуалізація готового продукту (рендер, поворот на 360° (turntable), анімація). Також можна виокремити такі особливості: широкий спектр інструментів, інтеграція з САПР, створення аватара з відповідними розмірними ознаками, можливість відстеження «поведінки» одягу, створення реалістичних фото та відео матеріалів.

Процес розробки віртуального одягу в програмі Clo3d може складатися з таких етапів: налаштування розміру аватара, створення моделі, імітація матеріалів та текстур, додавання деталей та фурнітури, візуалізація. Як і в реальному житті, програма пропонує первинну примірку в дефолтній (макетній) тканині (рис. 1, а), що потім замінюється основною з фізичними властивостями, максимально наближеними до справжніх (рис. 1, б). Також є можливість працювати з клейовими матеріалами, які дозволяють точніше наблизити віртуальний виріб до фізичних властивостей реального (рис. 1, в).

Великий асортимент тканин дозволяє підібрати потрібний матеріал або створити його, спираючись на потрібні характеристики та властивості. Проте мінусом є те, що віртуальні матеріали неможливо відчувати тактильно, що може викликати складнощі у початківців, котрі звикли «відчувати» тканини. Значною перевагою є можливість пошуку фактур та принтів без будь-яких затрат, а також підбір кольорових гамм тканин та фурнітури, для

того, щоб перевірити як модель буде виглядати в тому чи іншому кольорі або кольоровому поєднанні (рис. 2).

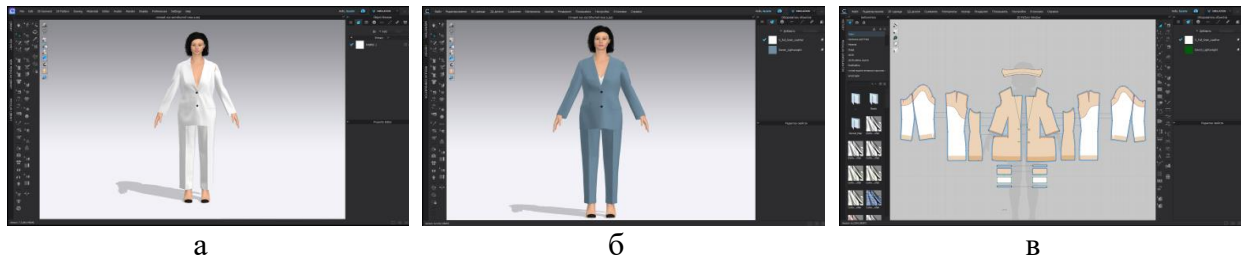


Рис. 1 – Робоче вікно програми Clo3D: а – примірка в дефолтній тканині, б – готовий виріб з основної тканини, в – робота з клейовими матеріалами

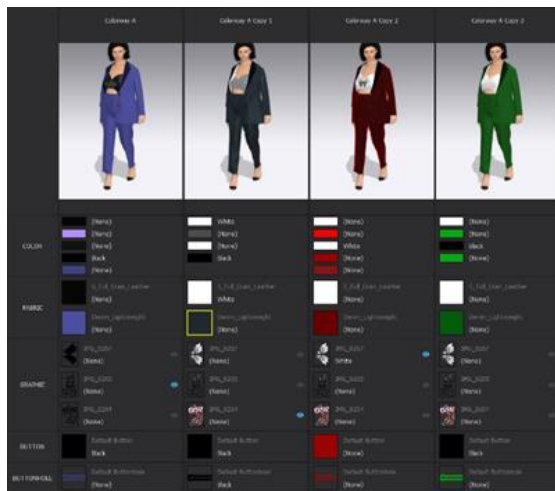


Рис. 2 – Розділ «Coloreditor»

Варто зауважити, що Clo3d використовують не тільки для презентації, а також як ефективний метод перевірки лекал та заміну примірки макету виробу, для попереднього виявлення можливих дефектів. Програма дозволяє скоротити витрати часу та матеріалів на розробку нової моделі, підвищити ефективність та гнучкість процесів, експериментувати з дизайном без додаткових ресурсів, досягти реалістичності представлення виробів, відкрити нові маркетингові можливості.

Незважаючи на численні переваги програми, існують і деякі недоліки, які варто врахувати, а саме: 1) використання програми вимагає певного часу для вивчення її функціональності та особливостей; 2) Clo3D є ресурсоємним, тому потребує потужного програмного забезпечення

комп'ютера, 3) бібліотека віртуальних матеріалів є вичерпною, тому може виникнути потреба пошуку в інших джерелах, чи самостійне їх створення; 4) для отримання якісного результату потрібно мати знання з конструювання та моделювання одягу, матеріалознавства, вміти працювати у різних графічних редакторах; 5) віртуальний одяг не може ідентично повторити всі бажані реальні властивості.

Таким чином, віртуальний 3D-дизайн одягу стає все більш популярним, а програма Clo3D є потужним інструментом для створення реалістичних моделей з великою кількістю функціональних можливостей, корисним інструментом для фахівців у галузі дизайну та виробництва одягу. З його допомогою легко втілити ідеї та створити виріб, який буде відповідати високим стандартам. Clo3D може використовуватися для будь-якого асортименту, від білизни до верхнього одягу.

Список посилань

1. Нова ера 3D-технологій у fashion-індустрії. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://sbf-media.group/g7ignzort1-nova-era-3d-tehnologi-u-fashion-ndustr/>
2. Можливості сучасних програм для візуалізації одягу / К. Пашкевич, М. Колосніченко, О. Хівріна, Н. Дячук // Актуальні проблеми сучасного дизайну : збірник матеріалів III Міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, 22 квітня 2021 року. – В 2-х т. – Т. 1. – Київ : КНУТД, 2021. – С. 298-301.
3. Clo3D. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.clo3d.com/en/company/about-clo>

УДК 678.43.62.1

Сова Н.В., докт. техн. наук, професор.

Розвора Л.В., аспірант

Київський національний університет технологій та дизайну, djanc@ukr.net

ПОЛІМЕРНІ КОМПОЗИТНІ МАТЕРІАЛИ З ВИСОКИМ СТУПЕНЕМ НАПОВНЕННЯ

Композитні матеріали складаються з полімерної матриці та наповнювача, котрі відрізняються за хімічною будовою та властивостями. Введення наповнювачів у полімерну матрицю є надзвичайно важливим напрямком модифікації властивостей матеріалів, переважна більшість полімерних матеріалів використовується у вигляді композитів. За способом реалізації можливе введення наповнювачів у полімерні матеріали шляхом застосування концентратів та створення компаундів та концентратів. Компаунд це готовий до переробки гранульований композит, котрий використовується у чистому вигляді. Концентрат – це композити за допомогою котрого наповнювач вводиться в рецептуру сировини та використовується як гранульований доданок.

Композити з високим ступенем наповнення – понад 60 % мас. знаходять застосування у якості концентратів при введенні наповнювачів, а також як компаунди.

Високонаповнені композити зазвичай володіють погіршеними механічними властивостями порівняно з вихідними полімерами, завдяки наявності розвиненої поверхні контакту полімеру з наповнювачем, а також завдяки складності змочування полімерною матрицею розвиненої поверхні наповнювача.

Ключовим фактором, що впливає на властивості таких композитів є забезпечення адгезії та змочування часток наповнювача. В технологічній практиці використовують різні технології покращення змочування, зокрема – застосування полімерних матриць з низькою в'язкістю розплаву, застосування внутрішніх та зовнішніх змащувачів, застосування низькомолекулярних або олігомерних сполук.

Адгезія між полімерною матрицею та наповнювачем визначається їх хімічною природою. Існують технологічні способи керованого впливу на адгезію – технології фізичної та хімічної компатибілізації, котрі можуть стосуватися як полімерної матриці так і наповнювача. Наповнювач може піддаватися поверхневій обробці за фізичним або хімічним механізмом. В полімерну матрицю можливо введення речовин, що покращують змочування, адгезію та мають хімічні функціональні групи [1].

Застосування технологій компатибілізації композитних матеріалів дозволяє значно покращити їх фізичні властивості та знизити витрати енергії на їх змішування. Крім того застосування високого вмісту наповнювача в складі полімерних матеріалів дозволяє знизити вміст синтетичної сировини та зробити вироби більш екологічними.

Метою дослідження є створення концентратів наповнювачів на основі природнього мінерального карбонату кальцію для введення в поліетилен під час виробництва тонких плівок для пакувальної галузі. Концентрат з високим вмістом наповнювача – 82 – 85% на основі лінійного поліетилену низької густини виготовлено з застосуванням фізичних та хімічних методів компатибілізації та їх поєднання. Досліджується вплив модифікуючих доданків на реологічні характеристики розплаву та фізико механічні властивості наповнених полімерних плівок, що були виготовлені з використанням концентратів наповнювача.

Список посилань

1. Hsissou, Rachid, et al. "Polymer composite materials: A comprehensive review." Composite structures 262 (2021): 113640.

УДК 536.413.3:539.422.5:539.25

Набережна О.О. канд. техн. наук

Волошина К.Р., студентка

Бондарєв П.О. аспірант

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське o.naberezhnaya@gmail.com

ВПЛИВ РОЗМІРУ ВКЛЮЧЕНЬ НА ТЕРМОСТІЙКІСТЬ ГРАФІТОПЛАСТІВ НА ОСНОВІ ФЕНІЛОНУ

Термопласти, певною мірою, вже досягли своєї межі міцності, термостійкості та зносостійкості, а розвиток техніки ставить завдання подальшого поліпшення властивостей матеріалів у поєднанні з працездатністю в агресивних середовищах та зменшенням маси самого виробу [1]. Завдання підвищення експлуатаційних характеристик виробів вирішують за допомогою композиційних полімерних матеріалів (ПКМ). Одним з них є графітопласти – ПКМ на основі вуглеграфітових наповнювачів та полімерних в'язучих. Вуглеграфітові наповнювачі характеризуються високими хімічною стійкістю та теплостійкістю, невеликими щільністю ($1,2-2,25 \text{ г/см}^3$) та пористістю ($20...30\%$) [1, 2].

При використанні термопластичних сполучних з низьким ступенем наповнення одержують матеріали з підвищеною стійкістю до ударних навантажень та низьким температурним коефіцієнтом лінійного розширення [до $(3...10) \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$], зниженим коефіцієнтом теплопровідності [до $0,7...1,0 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$]. Графітопласти такого типу можна застосовувати для виготовлення конструкційних деталей складної форми [3]. Однак підвищення експлуатаційних характеристик досягається також при армування вуглецевими волокнами.

Тому, в даній роботі досліджувався вплив розміру частинок графіту та довжини вуглецевого волокна на термічний коефіцієнт лінійного розширення композитів на основі фенілону.

Таблиця 1 - Температурний коефіцієнт лінійного розширення фенілону, гібридних композитів на його основі, з розміром волокна та частинок графіту

Склад ПКМ, ваг. %			Розміри волокна урал, мкм		Розміри включень графіту, мкм		Темп.коэф. лінійного розширення
фенілон	урал	графіт	d	l	L	a	$\cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
70	20	10	4-5	14-60	10-50	130-540	23,56
65	20	15	4-5	16-60	10-60	120-600	15,55
60	20	20	4-6	24-66	15-70	210-750	10,56

*ТКЛР вихідного фенілону $36,7 \cdot 10^{-6} \text{ мм}$, усереднений для температурного інтервалу 473-523 К.

Аналіз результатів показав (табл.1), що введення як вуглецевого волокна, так і включень графіту в полімерну матрицю призводить до зниження досліджуваного показника в 1,6 і 3,3 рази відповідно. Досягнення такого результату відбувається за рахунок зміни надмолекулярної структури полімеру трансформації глобулярної в фібрилярну структуру

Список посилань

- 1.Набережна О.О. Розробка та дослідження властивостей самоармованих органопластиків на основі термостійких ароматичних поліамідів // дисертація - 2017. - 205 с.
2. V.A. Stolyarova, F.I. Shegel', YU.M. Mamatov Vliyaniye agresivnoy sredy na svoystva antifriktsionnykh materialov / Plasticheskiye massy. - 1980. - № 1. - S. 20-22.
3. Piven' A.N., Grechanaya N.A., Chernobyl'skiy I.I. Teplofizicheskiye svoystva polimernykh materialov: Spravochnik. -K: Vishcha shkola, 1976. -S. 14-16.

УДК 621.436:665.75

Іваненко О.І., докт. техн. наук, професор

Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського»,
olenka.vasaynovich@gmail.com

Трипольський А.І., канд. хім. наук

Інститут фізичної хімії ім. Л.В. Писаржевського НАН України, atripolski@gmail.com

Фатєєв Д.С., студент

Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського»,

ВИКОРИСТАННЯ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ В ПРОЦЕСІ ОДЕРЖАННЯ МОТОРНОГО ПАЛИВА

Пошук альтернативних джерел енергії та способи її одержання є одним із основних напрямків розвитку науки, оскільки традиційні джерела енергії, на яких побудована сучасна промисловість, є вичерпними та здійснюють шкідливий вплив на навколишнє середовище.

Що стосується технології, широкого поширення в нафтохімії набув процес Фішера-Тропша, що використовують для отримання синтетичного бензину із бурого вугілля (CTL), біомаси (BTL), природного газу (GTL). Для перероблення органічних відходів в синтез-газ ($\text{H}_2\text{:CO}$) використовуються такі методи як газифікація або піроліз, анаеробне бродіння, ферментація, екстракція та спалювання [1].

При механічній екстракції отримують біодизель із енергетичних рослинних культур, наприклад ріпак, льон, соя, арахіс, в результаті процесу переестерифікації метилового спирту із рослинними маслами. Газифікація біомаси відбувається при температурі 800–1000 °C та полягає у перетворенні органічних лігніно-целюлозних залишків у синтез газ (суміш H_2 та CO), метан CH_4 , вуглекислий газ, азот, золу та домішки. Гідротермальне зрідження біомаси відбувається при температурі 280-370 °C та тиску 4-22 МПа, вода змінює свою густину, діелектричну проникність, полярність, що сприяє підвищенню розчинності в ній органічних сполук. Це в свою чергу призводить до перетворення біосировини у синтетичне паливо [2].

Модернізований процес BTL відбувається за наступними стадіями: подрібнення, сушіння, попереднє очищення біомаси, анаеробне бродіння для утворення біометану, парова конверсія біометану до синтез газу із паралельним очищенням та збагаченням, процес Фішера-Тропша, гідрокрекінг для перетворення парафінів у рідкі вуглеводні. Принципову схему процесу перетворення біомаси у синтетичний бензин наведено на рисунку 1.

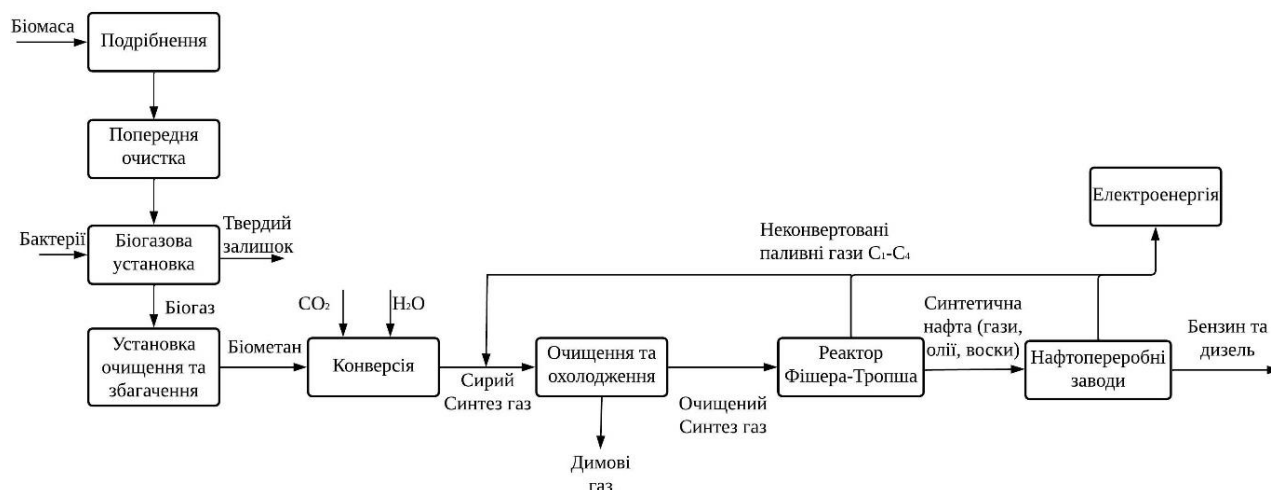
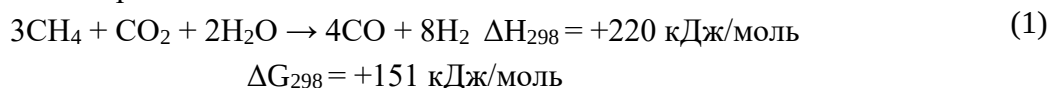


Рис.1 - Блок-схема отримання моторного палива за технологією BTL

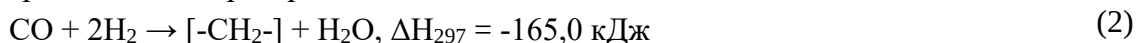
В традиційній технологічній схемі для отримання синтез-газу використовується газифікатор, але використання цього апарату має суттєві недоліки, зокрема невизначений вміст карбону у біомасі, що є результатом її різноманітного хімічного складу. На сьогодні існує можливість уникнути даного недоліку, шляхом використання біогазової установки, яка дозволяє використовувати біомасу різного хімічного складу без суттєвого впливу на результат. Це реалізується в результаті анаеробного бродіння відходів біомаси у біогаз, що містить 60 % метану та 40 % вуглекислого газу та домішки наприклад сірководень. Необхідною умовою є анаеробне середовище та наявність гідролізуючих, дигістуючих, травних, ацетогенних та гомоацетогенних, сульфоредакуючих та метаногенних бактерій.

Анаеробне бродіння включає в себе чотири основні стадії - гідроліз, ацидогенез, ацетогенез, метаногенез. На стадії гідролізу гідролітичні бактерії, які виділяють ферменти, розчиняють білки, жири, вуглеводи на більш прості вуглеводи, тобто амінокислоти, моно- та олігомери, жирні кислоти, що доступні мікроорганізмам. На другій стадії за допомогою кислото-утворюючих бактерій відбувається розщеплення продуктів гідролізу із утворенням мурашиної, оцтової, масляної, пропіонової кислоти, низькомолекулярних спиртів та побічних продуктів, переважно газів – водень, сірководень, аміак та інші. На третій стадії летючі жирні кислоти та спирти розкладаються за допомогою ацидогенних мікроорганізмів на водень та оцтову кислоту. Стадія метаногенезу передбачає перетворення суміші, H_2 , форміатів та ацетатів в метан, вуглекислий газ та домішки в автоклавних умовах. Також після біогазових установок утворюється твердий залишок, який можна використовувати як органічні добрива [3].

Після анаеробного бродіння утворений біогаз очищають від домішок сірчаної кислоти, вуглекислого газу, аміаку, після чого подають на установки, що забезпечують поєднання вуглекислотної та парової конверсії, що має назву бі-реформінг [4]. В результаті конверсії біометану утворюється синтез-газ, що має співвідношення H_2/CO відповідно 2/1. Цей процес здійснюється за температури 800-900 °C на нікелевому, рутенієвому каталізаторі, при тиску 2-4 МПа за реакцією:



Даний процес є досить ефективним, оскільки біогаз містить значну кількість вуглекислого газу, який також можна перетворюється у синтез-газ, запобігаючи окисленню каталізатору у процесі Фішера-Тропша. Синтез газ використовуються отримання моторних палив за реакцією Фішера-Тропша, що має такий загальний вигляд:



Для гідрування монооксиду вуглецю із відходів біомаси доцільно використовувати залізовмістні каталізатори при температурі 250-350 °C та тиску 2-4 МПа, оскільки вони мають високий вихід олефінів (від 80 до 90 %) та економічну доцільність. В результаті реакції утворюються такі вуглеводні як бензин C_5-C_{11} , дизель $C_{11}-C_{14}$ керосин, $C_{10}-C_{14}$, мастила $C_{18}-C_{30}$ та воски C_{30} і більше. Також як побічні продукти утворюються нижчі алкани від метану до бутану, які можуть використовуватися для генерації енергії або для конверсії у синтез-газ [5].

На останньому етапі суміш рідкої нафти, дистиляту та воску очищають і подають на нафтопереробні заводи, для отримання дизельного або бензинового палива. Даний процес реалізується за допомогою процесів гідроізомеризації, гідрокрекінгу восків для досягнення необхідного октанового числа.

Отже влаштування біогазової установки в процесі отримання екологічно-чистого бензинового та дизельного палива високої якості є виправданим, оскільки це дає змогу використовувати майже всі види органічних відходів та вуглекислий газ як побічний продукт в процесі паро-вуглекислої конверсії.

Список посилань

1. Martinelli, M. An overview of Fischer–Tropsch Synthesis: XtL processes, catalysts and reactors / M. Martinelli, M. K. Gnanamani, S. LeViness, G. Jacobs, W.D. Shafer, // Appl. Catal. A, Gen. – 2020. – № 608. – P. 1-14.
2. Adams, P. Biomass Conversion Technologies / P. Adams, T. Bridgwater, A. Lea-Langton, A. Ross and I. Watson // Greenhouse Gas Balances of Bioenergy Systems, Academic Press. – Cambridge. – 2018. – P. 107-139.
3. Kasinath, A. Biomass in biogas production: Pretreatment and codigestion / A. Kasinath, S. Fudala-Ksiazek, M. Szopinska, H. Bylinski, W. Artichowicz, A. Remiszewska-Skwarek, and A. Luczkiewicz // Renew. Sustain. Energy Rev. – 2021. – № 150. – P. 1–20.
4. Kumar, N. Catalytic bi-reforming of methane: from greenhouse gases to syngas / N. Kumar, M. Shojaee and J. Spivey // Current Opinion in Chemical Engineering. – 2015. – № 9. – P. 8-15.
5. Teimouri, Z. Kinetics and Selectivity Study of Fischer Tropsch Synthesis to C₅+ Hydrocarbons / Z. Teimouri, N. Abatzoglou, A. K. Dalai // A Review. Catalysts. – 2021. – №11, (3). – P. 1–33.

UDC 677.055

Mykola Rubanka, Candidate of Sciences in Engineering, associate professor

Kyiv National University of Technologies and Design, nikolayrubanka@ukr.net

Oleh Polishchuk, Doctor of Sciences in Engineering, professor

Khmelnyskyi National University, opolishchuk71@gmail.com

Svitlana Demishonkova, Candidate of Sciences in Engineering, associate professor

Kyiv National University of Technologies and Design, mashuk2007@ukr.net

KEYLESS CONNECTION OF LIGHT INDUSTRY MACHINE PARTS TO SHAFTS

It is known that the main drawback of existing designs for connecting machine parts to shafts is the presence of keyways or splines on the working surface of the shaft and the part, which are necessary for installing a key or splines. These keyways weaken the shaft and the part, leading to reduced reliability and durability of the connection's operation [1-3]. Another drawback is the inability or difficulty in adjusting the position of the part relative to the shaft (both axial and angular), which is necessary for the setup and operation of light industry machines, particularly knitting machines [4-6].

Considering the feasibility of enhancing the efficiency and durability of light industry machines by improving the designs of their connections with shafts, the problem of developing new connection designs and selecting their working parameters remains relevant for modern light machine building [7, 8].

The authors propose a new design for connecting a part to a shaft [9], which includes a shaft with a working surface and a part with a hub that has an internal surface. The part is mounted on the shaft, additionally equipped with a split tapered bushing installed between the working surface of the shaft and the inner surface of the hub and a disc connected to the hub and installed on the shaft from the side of the larger diameter of the split tapered bushing. The inner surface of the hub is conical, matching the taper of the split tapered bushing and the disc is mounted on the shaft.

Equipping the connection of the part to the shaft with a split tapered bushing, installed between the working surface of the shaft and the inner surface of the hub and a disc connected to the hub and installed on the shaft from the side of the larger diameter of the split tapered bushing with the inner surface of the hub being conical and matching the taper of the split tapered bushing and the disc being mounted on the shaft, allows for adjusting the axial position of the part relative to the shaft. This ensures increased durability of the part-to-shaft connection.

Figure 1 shows the proposed keyless connection design of a part to a shaft.

The connection includes a shaft 1 with a working surface 2, a part 3 with a hub 4 having an inner surface 5, mounted on the shaft 1, a split tapered bushing 6 installed between the working surface 2 of the shaft 1 and the inner surface 5 of the hub 4, and a disc 7 connected to the hub 4

using bolts 8. The inner surface 5 of the hub 4 is conical, matching the taper of the split tapered bushing 6, and the disc 7 is mounted on the shaft 1 from the side of the larger diameter of the split tapered bushing 6, allowing interaction with it.

The connection is made and operates as follows: with the shaft 1 stationary, the split tapered bushing 6 is placed on its working surface 2. The part 3 is then placed on the split tapered bushing 6, and the disc 7 is placed on the shaft 1 from the side of the larger diameter of the split tapered bushing 6 and loosely attached to the hub 4 using bolts 8. The position of the part 3 is then adjusted relative to the shaft 1 and the bolts 8 are tightened. The disc 7, pressing against the end of the split tapered bushing 6, moves it relative to the part 3, achieving the necessary connection of the split tapered bushing 6 with the working surface 2 of the shaft 1 and the inner surface 5 of the hub 4 (connecting the part 3 to the shaft 1).

It is worth noting that the proposed connection of the part to the shaft allows for both angular and axial adjustment of their positions and is operable for both non-reversing and reversing modes of operation.

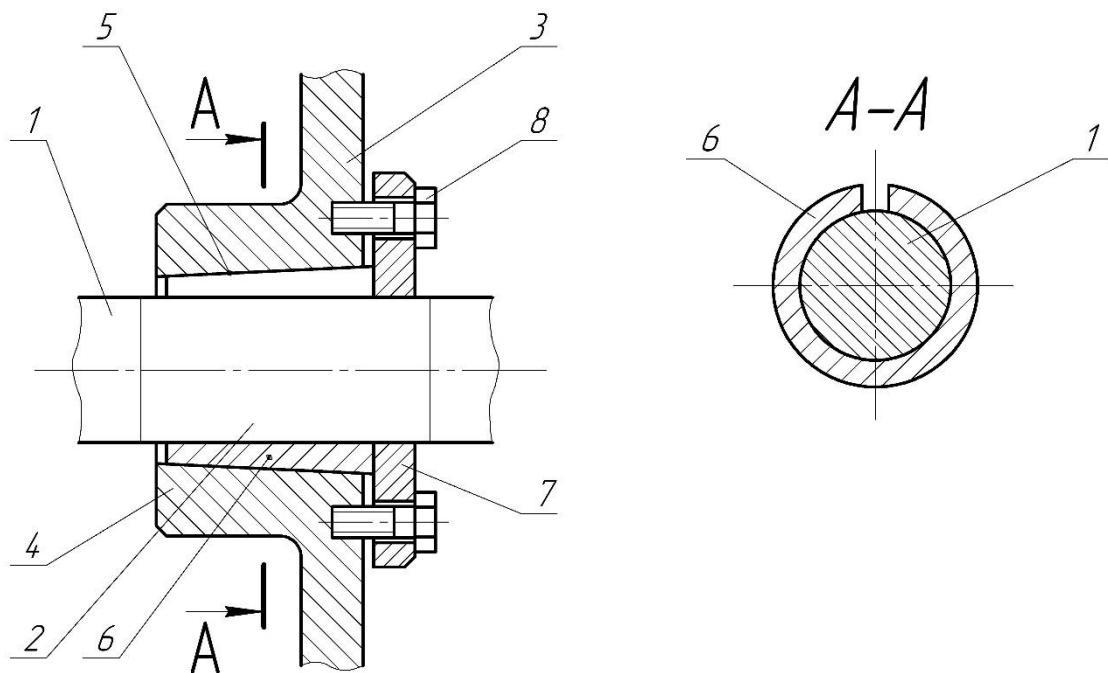


Fig. 1 – Keyless connection of a part to a shaft (proposed design)

References

1. Zenkin M.A. & Pipa B.F. (2003). *Metody pidvyshchennia nadiinosti ta dovhovichnosti detalei ta vuzliv mashyn lehkoi promyslovosti* [Methods of increasing the reliability and durability of parts and assemblies of light industry machines]. Kyiv: KNUTD [in Ukrainian].
2. Pipa B.F., Khomiak O.M. & Marchenko A.I. (2011). *Detali mashyn* [Machine elements]. Kyiv: KNUTD [in Ukrainian].
3. Pipa B.F., Khomiak O.M. & Marchenko A.I. (2006). *Novi konstruktsii detalei, vuzliv ta mekhanizmiv mashyn* [New designs of machine parts, components and mechanisms]. Kyiv: KNUTD [in Ukrainian].
4. Khomiak O.M. & Loveikina S.O. (2002). *Ziednannia detalei mashyn* [Connection of machine parts]. Kyiv: KNUTD [in Ukrainian].
5. Pipa B.F. (2008). *Dynamika mekhanizmiv viazannia kruhloviazalnykh mashyn* [Dynamics of knitting mechanisms of circular knitting machines]. Kyiv: KNUTD [in Ukrainian].
6. Pipa B.F., Khomiak O.M. & Pavlenko H.I. (2005). *Dynamika kruhlov'iazalnykh mashyn* [Dynamics of circular knitting machines]. Kyiv: KNUTD [in Ukrainian].
7. Pipa B.F., Marchenko A.I. (2011). *Bezshponkove ziednannia detalei mekhanizmiv mashyn lehkoi promyslovosti z valamy* [Keyless connection of parts of mechanisms of light industry machines with shafts]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu - Bulletin of the Kyiv National University*

of Technology and Design, 2 (58), 100-103 [in Ukrainian].

8. Pipa B.F., Chaban V.V. (2011). Bezshponkove z'iednannia detalei peredach z valamy [Keyless connection of gear parts with shafts]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Seriya: «Tekhnichni nauky» - Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences*, 3, 28-30 [in Ukrainian].

9. Pipa B.F., Rubanka M.M., Pavlenko H.I. (2011). Z'iednannia detali z valom [Connection of the part with the shaft]. Ukrainian patent, no.65622.

УДК 674.02.055

Новаківський О.В., студент

Дзюблик О.В., студент

Кіндзера Д.П., канд. техн. наук, доцент

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ ЩОДО СУШІННЯ ЗАЛІЗООКИСНИХ ПІГМЕНТІВ

Для одержання пігментованих епоксидних і епоксифірних емалей та ґрунтовок широкого застосування набули залізоокисні пігменти – тонкодисперсні порошки, які рівномірно розподіляючись у дисперсійному середовищі, утворюють забарвлені сполуки. Номенклатура залізоокисних пігментів, представлена на українському ринку, складається, в основному, з наступних груп: жовті, червоні та чорні. За оцінками експертів, частка вітчизняних залізоокисних пігментів на українському ринку становить не більше 30% [1]. Українські виробники стикаються з проблемою недосконалості існуючих технологій виробництва синтетичних залізоокисних пігментів, тому вони виробляються з більш низькими споживчими характеристиками і мають нижчу конкурентоспроможність на світовому ринку.

Протягом останніх років, вимоги щодо технологічності та колірності залізоокисних пігментів зросли, а цінова політика безпосереднім чином впливає на вибір споживача. Слід зазначити, що, сушіння, як кінцева та надзвичайно важлива технологічна стадія виробництва пігментів, повинно забезпечити отримання цільового продукту в однорідному порошкоподібному стані. Для стабілізації кольору пігменту, процес сушіння повинен реалізовуватись у строго визначених температурних межах.

Для сушіння пігментів у промислових умовах застосовують вальцево-стрічкові барабани, вакуумні, турбінно-поличкові сушарки, в яких процес є тривалим та енергоємним. Окрім цього, втрати пігменту на стадії висушування становлять від 2% до 8%. Все це негативним чином впливає на собівартість готової продукції. Тому, питання щодо сучасного апаратурного оформлення технологічних ліній виробництва синтетичних залізоокисних пігментів є актуальним завданням, вирішення якого сприятиме покращенню товарних характеристик готової продукції та зниженню її собівартості.

Враховуючи вищезазначене, для реалізації процесу сушіння залізоокисних пігментів пропонується застосовувати метод фільтраційного сушіння, суть якого полягає в профільтруванні теплового агенту крізь пористу структуру матеріалу, розміщеного на перфорованій стрічці обладнання, в напрямку «матеріал–перфорована перегородка». Розвинена поверхня тепло- і масообміну та високі швидкості руху теплового агенту у каналах стаціонарного шару дрібнодисперсного матеріалу забезпечують високі коефіцієнти тепло- і масовіддачі і, відповідно, – високу інтенсивність фільтраційного сушіння [2]. Науково-обґрунтовані режимні фактори кінетики процесу дають змогу значно скоротити тривалість сушіння та зменшити енергетичні затрати на його реалізацію [3]. Запропонований метод сушіння дає змогу забезпечити однорідність дрібнодисперсного продукту за вологістю та дисперсністю.

Промисловістю випускається кілька відтінків жовтого залізоокисного пігменту α -FeO(OH). Середня величина частинок дисперсного матеріалу складає 0,2—0,6 мкм [4]. Темніші відтінки жовтого пігменту забезпечуються нижчими значеннями дисперсності продукту. Пігмент має високу фарбувальну здатність, характеризується доброю світло- та атмосферостійкістю.

В процесі експериментальних досліджень гідродинаміки фільтраційного сушіння жовтого залізоокисного пігменту α -FeOOH [4] встановлено, що гідравлічний опір рухові теплового агенту (за фіктивної швидкості фільтрування теплового агенту 2 м/с і висоти шару $H=60 \cdot 10^{-3}$ м) не перевищує 8200 Па, що, в цілому, вказує на доцільність застосування вищезазначеного енергозберігаючого методу сушіння.

Результати досліджень впливу висоти шару жовтого залізоокисного пігменту у діапазоні зміни від 30 до 60 мм на час сушіння (за однакової температури та перепаду тисків) представлені у вигляді графічних залежностей на рис. 1, з яких видно, що зростання висоти шару приводить до збільшення тривалості сушіння, що пояснюється зростанням кількості вологи, що міститься в шарі та збільшенням шляху переміщення фронту масообміну до перфорованої перегородки.

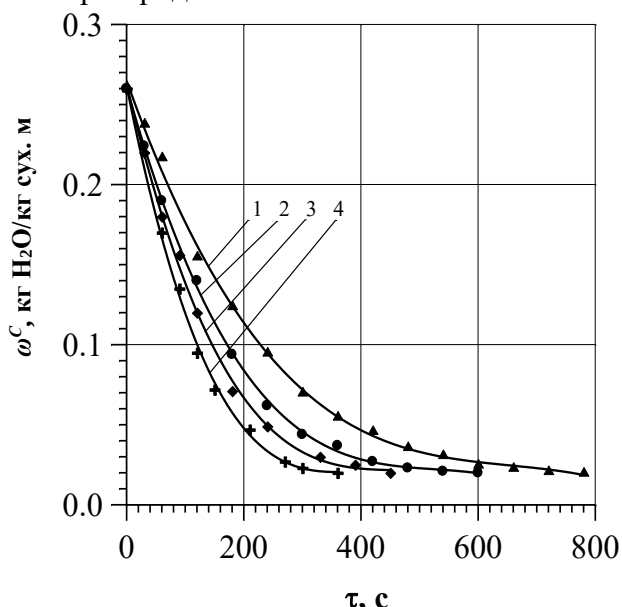


Рис. 1 – Кінетичні криві сушіння жовтого залізоокисного пігменту за різних висот шару матеріалу: 1 – $H=60$ мм, 2 – $H=50$ мм, 3 – $H=40$ мм, 4 – $H=30$ мм ($t=100^{\circ}\text{C}$, $\Delta P=35000$ Па)

Висновки. Одержані кінетичні закономірності фільтраційного процесу сушіння жовтого залізоокисного пігменту за різних висот шару матеріалу дадуть змогу науково обґрунтовано вибрати оптимальні параметри реалізації процесу та слугуватимуть підґрунтям для його математичного опису.

Список посилань

1. Vasylenko, I. A., & Pivovarov, O.A. (2016). 217. Zalizoosydni pihmenty. Syntez, modyfikuvannya, vykorystannya u riznykh haluzyakh nauky i tekhniki: Monohrafiya / Vasylenko I.A., Pivovarov O.A. – Dnipropetrovs'k: Aktsent PP, 217 p.
2. Kindzera, D., Hosovskyi, R., Atamanyuk, V., & Symak, D. (2021). Heat Transfer Process During Filtration Drying of Grinded Sunflower Biomass. *Chemistry & Chemical Technology*, 15(1), 118–124. <https://doi.org/10.23939/chcht15.01.118>
3. Kindzera, D. P., Kochubey, V. V., Atamanyuk, V. M., Tsyura, N. YA., & Helesh, A. B. (2023). Doslidzhennya vplyvu rezhymnykh faktoriv na kinytyku protsesu dehidratatsiyi zaliza (II) sul'fat heptahidratu fil'tratsiynym metodom. *Chemistry, Technology and Application of Substances*, 6(1), 110–117. <https://doi.org/10.23939/ctas2023.01.110>

4. Xu, M., Pan, G., Guo, Y., Yang, S., & Fang, Z. (2021). Surface modification and structure analysis of coated iron oxide yellow pigments to improve dispersion in organic solvents. *Surface and Interface Analysis*, 53(11), 933-945. <https://doi.org/10.1002/sia.6995>

УДК 637.5.03

Вербицький С.Б., канд. техн. наук

Пацера Н.М., заст. зав. відділу

Старчевой С.О., пров. інженер

Інститут продовольчих ресурсів НААН, м. Київ, tk140@hotmail.com

РАЦІОНАЛЬНІ МЕТОДИ МАСУВАННЯ М'ЯСНОЇ СИРОВИНИ ЗАДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАЛЕЖНОЇ ЯКОСТІ ЦІЛЬНОМ'ЯЗОВИХ ПРОДУКТІВ

М'ясні продукти є важливим джерелом білка, необхідного для функціонування людського організму. Попри численні спроби повністю чи частково замінити продукти тваринного походження, насамперед м'ясні, у раціоні сучасних споживачів, м'ясні вироби традиційно відповідають гастрономічним уподобанням переважної більшості вітчизняних споживачів, формуючи сталий попит на цю продукцію. Зокрема, зазначене у повній мірі стосується делікатесних цільном'язових м'ясних продуктів – сирокочених і варено-кочених. Отже, важливим є забезпечення їхньої бездоганної якості, включно з її харчовою безпечністю, наукове обґрунтування способів удосконалення процесу гідромеханічного оброблення м'язової сировини на засадах ресурсозбереження, технологічної ефективності тощо.

Гідромеханічне оброблення є важливою технологічною операцією у процесі виготовлення цільном'язових продуктів з м'ясної сировини тваринного походження. Зазначене оброблення забезпечує мацерацію сировини та її інтенсивне насичення посолювальним розчином, суттєво прискорюючи виробничий процес [1] та дозволяючи ефективно механізувати та / або автоматизувати його. Є різні апаратурно-технологічні схеми гідромеханічного оброблення м'ясної сировини, зокрема широко практикують її голкове ін'єктування ручними ін'єкторами з однією або кількома ін'єкційними голками, багатоголковими ін'єкторами розсолу електромеханічної та пневматичної дії, спреї-ін'єкторами [2], а також мацерацію сировини у барабанних масажерах (тумблерах).

Проін'єктовану м'ясну сировину далі піддають механічній обробці в барабанах, внаслідок якої м'язові тканини набувають еластичності, і м'ясо поглинає розсіл у кількості до 10 – 12 % щодо вихідної маси сировини. Механічне оброблення порушує цілісність клітинних мембран м'яса, і, відповідно, полегшується проникнення розсолу внаслідок руйнування оболонки із сполучної тканини навколо м'язових волокон, які набухають під дією посолювальних речовин. Також збільшується вихід готового продукту, який набуває м'якої та ніжної консистенції. При обертанні барабана шматки м'яса труться один об одного, а також об стінки, піднімаються вгору і падають усередині робочої ємності. Масажування м'ясної сировини здійснюють як у безперервному, так і в інтервальному режимі, тобто чергуючи обертання барабана з його вистоем, в процесі якого м'язова тканина м'яса релаксує – натомість при обертанні барабана розсіл інтенсивно поглинається тканинами м'яса. Застосовують різні режими масування м'ясної сировини: для яловичини: 20 – 40 хв. робота, 20 – 40 хв. вистій, загальний час обробки до 16 год., для свинини 15 – 30 хв. робота, 30 – 45 хв. вистій, загальний час обробки до 12 год [3]. Польські фахівці рекомендують масажувати яловичину протягом 12 год. при швидкості 20 об/хв. або 8 год. при швидкості 5 об/хв., заповнюючи барабан на 70% ємності і комбінуючи 30 хв. роботи з 30 хв. вистою [4], а свинину – забезпечуючи загальну кількість ударів 2400 при заповненні 70% ємності барабана, що обертається зі швидкістю 6 об./хв. [5].

Багаторічна практика з розроблення та впровадження масажерів вченими та фахівцями Інституту продовольчих ресурсів НААН дала змогу визначити оптимальні параметри обробки в лопатевих барабанах діаметром від 1000 мм до 1200 мм: загальна кількість ударів 600 – 800 (свинина) та 3000 – 3500 (яловичина), коефіцієнт заповнення 0,5. Для яловичини рекомендується такий режим: 20 хв. робота – 25 хв. вистій, швидкість обертання барабана від 8 до 10 об/хв., для свинини: 15 хв. робота – 20 хв. вистій, швидкість обертання барабана від 4 до 6 об/хв. Отримані результати дозволили створити модельний ряд вакуумних масажерів Я5-ФМГ (рис. 1).

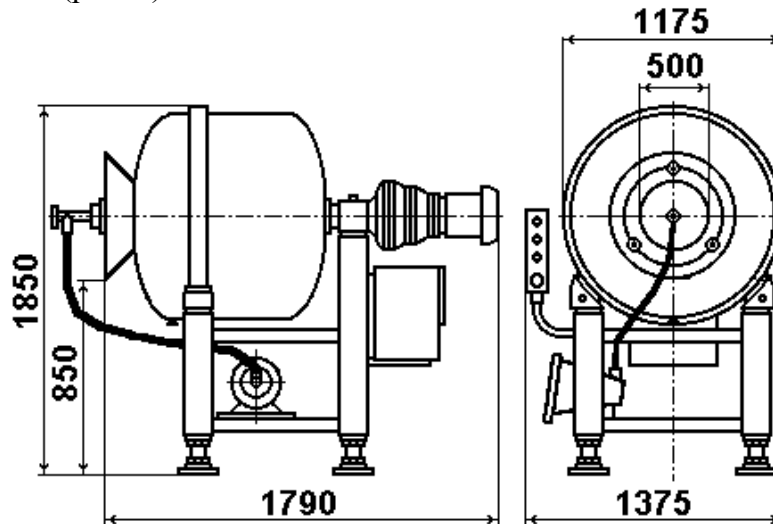


Рис. 1 – Схема вакуумного масажера Я5-ФМГ-500 (геометрична місткість барабана 500 кг; номінальне завантаження 250 кг; встановлена потужність 1,3 кВт)

Зазвичай при гідромеханічному обробленні м'ясу сировину послідовно піддають ін'єктуванню з подальшим масуванням, однак у ряді технологічно обґрунтованих випадків застосовують лише один із зазначених методів обробки. Наприклад, при використанні в'язких багатокомпонентних розсолів, що забивають голки ін'єкторів, може бути застосовано оброблення у масажері без попереднього ін'єктування [6].

Отже, застосовувані методи гідромеханічного оброблення м'ясної сировини, зокрема її масування, а також наявне машинно-апаратне оформлення зазначеного процесу, дозволяють виробляти м'ясні цільном'язові продукти належної якості, вповні задовольняючи попит споживачів на зазначені делікатесні вироби.

Список посилань

1. Kalschne, D. L. Advances in meat processing technologies: Modern approaches to meet consumer demand / D. L. Kalschne, M. P., Corso, C. Canan. – Bentham Science Publishers, 2020.
2. Verbytskyi, S. Effect of technological parameters of the needle injecting upon the quality of the processing of raw meats / S. Verbytskyi // Food Resources. – 2022. – № 18. – P. 7-18.
3. Verbytskyi, S. B. Some technological features of hydro-mechanical processing of beef / S. B. Verbytskyi // Proceedings of the International scientific-practical conference dedicated to the 90th anniversary of Professor Rybak Tymofij Ivanovych's birth and the 60th anniversary of the Engineering Mechanics and Agricultural Machines Department, 29-30 September 2022, Ternopil. – 2022. – P. 89-90.
4. Lachowicz, K. Effects of massaging time and drum speed on texture and structure of two beef muscles / K. Lachowicz, L. Gajowiecki, A. Żych, J. Żochowska, M. Sobczak, M. Kotowicz // Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, Food Science and Technology. – 2003. – Volume 6, Issue 2.
5. Dolata, W. Technological effect of plastification on changes in the macrostructure of meat / W. Dolata, M. Krzywdzińska-Bartkowiak, J. Wajdzik // Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, Food Science and Technology. – 2005. – Volume 8, Issue 3.
6. Manuel Pinto Neto. Tombamento ou injeção: qual a melhor opção? // Revista Nacional da Carne. – Agosto 2004. – Edição № 330.

УДК 678.057.74

Проданчук О.О., аспірант

Національний університет «Львівська політехніка», oleh.o.prodanchuk@lpnu.ua

ЗАСТОСУВАННЯ РОБОТИЗОВАНОГО КОМПЛЕКСУ ПРИ ЛИТТІ ПІД ТИСКОМ ВИРОБІВ МЕДИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Вироби медичного призначення є надзвичайно важливим аспектом існування людства. Продукція даного характеру не тільки дозволяє більш якісно проводити лікування хвороб, а й допомагає реалізовувати діагностування та виявлення захворювань, проводити реабілітацію пацієнтів. Значна частина даних виробів виготовляється методом лиття пластику під тиском. До такої продукції належать корпуси медичного обладнання, інструменти, пластикове пакування та багато іншого.

До основних параметрів лиття пластикової продукції як медичного так і будь-якого іншого призначення належать швидкість виготовлення, якість виробу, забезпечення належних технологічних характеристик (міцність, гнучкість, еластичність).

Застосування роботизованого комплексу при литті під тиском здатне чинити позитивний вплив як на швидкість виготовлення пластикової продукції, так і на забезпечення необхідних умов саме виробів медичної сфери.

До прикладу візьмемо виріб типу «Чашка Петрі». Даний виріб раніше виготовлявся зі скла, але з розвитком технологій його лиття з пластику показало себе значно економічно вигіднішим, швидшим та якісно більш доцільним. Даний виріб складається з двох частин, основи та кришки. Для комплектності виготовлення зазвичай кришка та основа виготовляються на одній прес-формі. Застосування роботизованого комплексу у даному випадку означає:

- Встановлення робота-маніпулятора;
- Встановлення конвеєрної лінії;
- Встановлення пристрою позиціонування та пакування виробів.

У даному випадку застосування роботизованого комплексу матиме наступні переваги:

1. Збільшення швидкості процесу виготовлення;
2. Зниження негативного впливу людського фактору;
3. Збільшення швидкості складання та пакування готових виробів;
4. Збільшення точності обліку готової продукції;
5. Стерильність виробництва.



Рис. 1 Процес виготовлення виробу «Чашка Петрі».

Застосування роботизованих комплексів є правильним шляхом розвитку сучасного виробництва, яке дозволяє суттєво збільшити ефективність та є економічно вигідним.

Список посилань

1. Martin Ford "The Rise of Robots: Technology and the Threat of Mass Unemployment": 2015 - 352p.
2. Bruno Siciliano and Lorenzo Sciavicco "Robotics: Modelling, Planning and Control": 2016 - 650 p.

УДК 691.075.5

Бондаренко О.П., канд. техн. наук, доцент

Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ,

bondolya3@gmail.com

Цапко Ю.В., док. техн. наук, професор

Цапко О.Ю., PhD, старший дослідник

Український державний науково-дослідний інститут «ресурс», м. Київ, juriyts@ukr.net

ВПЛИВ ІНТУМЕСЦЕНТНОГО ПОКРИТТЯ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАХИСТУ ТКАНИНИ ВІД ДІЇ ПОЛУМ'Я ПАЛЬНИКА

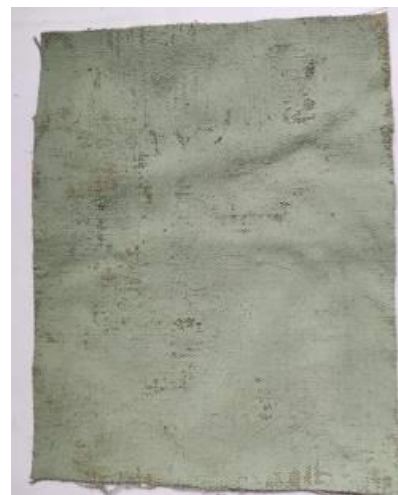
Проблема застосування виробів з тканин для будівельних конструкцій із зберігання та транспортування вибухових речовин полягає в забезпеченні їх стійкості до дії вогню і довговічності при експлуатації, але необхідно врахувати зміну їх вогнезахистних властивостей.

Процес займання та поширення горіння при цьому носить прогресуючий характер, оскільки дані матеріали легкозаймисті і швидко поширюють полум'я, а методів ліквідації пожежі вкрай недостатньо. Тому об'єктом досліджень була парусинова тканина, що була вогнезахищена інтумесцентним покриттям.

Для дослідження використовували зразки парусинової тканини які обробляли модифікованим спучуючим покриттям «Firewall-Wood» виробництва України (рис. 1) у кількості 260 ± 5 г/м² [1, 2].



а)



б)

Рис. 1 – Модельний зразок тканини: а – до оброблення, б – після оброблення

Для визначення вогнестійкості тканини були проведені дослідження щодо передачі температури при дії полум'я пальника, що імітує джерело високої температури, на вогнезахищену тканину. Результати досліджень з передачі температури, проведеними у лабораторних умовах, наведено на рис. 2, 3.

Дослідження показали, що зразок необробленої тканини не витримав температурний вплив (крива 1), при дії пальника відбувалось займання тканини, яке продовжувалося понад

110 с. При дії полум'я на зразок вогнезахищеної тканини (крива 2), температура на оберненій поверхні не перевищила 150 °С, займання тканини не відбулося. Зафіксовано спучення захисного покриття на поверхні тканини, що сягало 7÷8 мм.

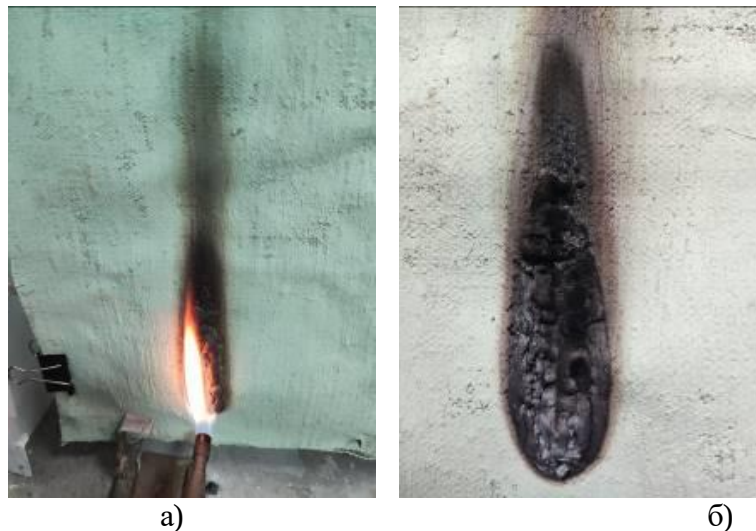


Рис. 2 – Результати випробувань по визначення температури на поверхні тканини: а – інтенсивне спучення покриття, б – шар піно коксу після горіння.

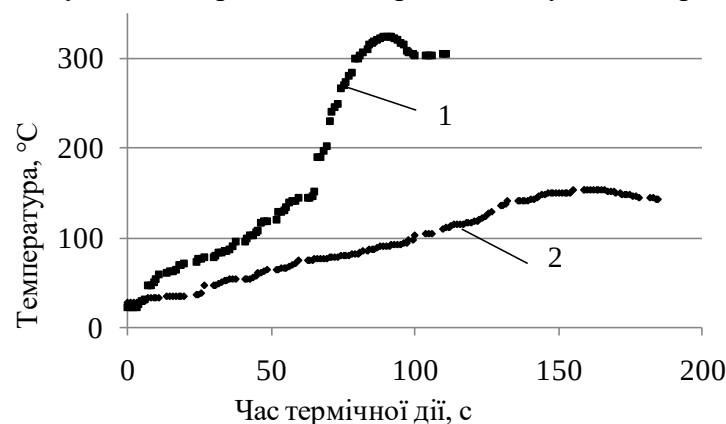


Рис. 3 – Динаміка наростання температури на оборотній поверхні тканини: 1 – необроблена, 2 – вогнезахищена

Таким чином, з наростанням температури пальника густина теплового потоку на необроблену тканину збільшується до значення понад 60 кВт/м², що достатнє для її займання. Натомість, густина теплового потоку через інтумесцентне покриття на початку термічної дії становила понад 20 кВт/м², а потім наступив процес утворення тепло ізолювального шару піно коксу і значення густина теплового потоку не перевищила 8,2 кВт/м², що недостатньо для її займання.

Список посилань

1. Tsapko Yu., Bondarenko O., Tsapko A., Sarapin Y. (2022). Application of Coating for Fire Protection of Textile Structures. Materials and Technologies of Industrial Application. Key Engineering Materials. 927, 115-121. <https://www.scientific.net/KEM.927.115>
2. Tsapko Yu., Tsapko A., Bondarenko O., Chudovska V., Sotnikova I., Sotnikov D. (2021). Thermophysical characteristics of the formed layer of pinocox in fire protection of fabric by composition based on modified phosphorus-ammonied / Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 3/10 (111). 34-41. ISSN 1729-3774. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.233479

УДК 678.01:535.68

Ляшок І.О., канд. техн. наук, доцент
Іщенко О.В., докт. техн. наук, доцент
Федорчук Д.Ю., магістр
Хоменко О.Ф., магістр

Київський національний університет технологій та дизайну, e.ishchenko5@gmail.com

МОДИФІКАЦІЯ ПОЛІПРОПІЛЕНУ ЕКОЛОГІЧНИМ МІНЕРАЛЬНИМ НАПОВНЮВАЧЕМ

Модифікація поліпропілену шляхом введення в нього мінеральних наповнювачів, крейди та інших добавок, дає можливість змінювати характеристики базового матеріалу та надають композиції на основі поліпропілену високу міцність і жорсткість; відмінну еластичність; стійкість до впливу атмосферних факторів; негорючість та інші переваги.

В Україні устриці вирощуються на березі Чорного моря на кордоні Миколаївської та Одеської областей, безпосередньо в природному Національному парку. Система, розроблена українською командою, дозволяє виростити устриці за 16 місяців. Після використання м'яса устриць мушлі викидаються, що забруднює навколишнє середовище.

Актуальність теми обумовлена розширенням асортименту композицій для виготовлення поліпропіленових матеріалів та вирішенням екологічної проблеми забруднення мушлями устриць навколишнього середовища.

В роботі вперше, в якості модифікатора застосовано подрібнені мушлі молюсків. З метою вирішення проблеми забруднення навколишнього середовища відходами устричних ферм запропоновано введення порошку з мушель устриць у поліпропілен для виготовлення плівок.

Мушля складається з трьох шарів:

- Періостракум – зовнішній тонкий шар, що складається виключно з білка – конхіоліну. Фактично, він представлений двома щільно прилеглими один до одного шарами.
- Остракум – середній шар мушлі, складається з кристалічних призм карбонату кальцію (CaCO_3) в обгортці з конхіоліну. Структура його може бути досить різноманітною.
- Гіпостракум або перламутровий шар – внутрішній шар мушлі, складається з пластин CaCO_3 , також обгорнутих конхіоліном.

Мінеральний компонент мушель устриці (що входить до складу остракума і гіпостракума) представлений виключно кальцитом [1].

У результаті отримали дрібнодисперсний порошок білого кольору, що складається переважно з карбонату кальцію (CaCO_3), так як під дією високої температури органічна складова раковин згоріла.

Карбонат кальцію – мінерал, що широко застосовується у промисловості. Використання цієї добавки значно полегшує виробництво і забезпечує рівномірне змішування, одночасно дозволяє досягти однорідності всієї полімерної композиції.

Для вирішення екологічної проблеми виготовили порошковий наповнювач, який утворився після обробки мушель устриць у муфельній печі при 750°C протягом 1,5 години

В роботі визначено температуру плавлення зразків, показник текучості розплаву та щільність полімерів градієнтним методом. Оцінено ступінь кристалічності зразків за показником густини, міцність та відносне подовження при розриві.

Встановлено, що внесення добавки в композицію, сприяє підвищенню показника відносного подовження при розриві вдвічі (рис.1), тобто матеріал стає більш еластичним зі збільшенням вмісту порошку з мушель устриць в ньому.

Встановлено, що зростання кількості порошку з мушель устриць призводить до зростання температури плавлення композиції від 160°C для чистого поліпропілену до 178°C для композиції з 15% домішки.

Щільність полімерних композицій із зростанням вмісту порошку з мушель устриць зростає з 0,894 кг/см³ для чистого поліпропілену до 0,9054 кг/см³ для композиції із вмістом добавки 10 %.

Показник течії розплаву полімерної композиції зростає з 1,72 г/10хв для чистого поліпропілену до 11,4 г/10хв для композиції з вмістом домішки 15%. Завдяки чому можна полегшити процес переробки поліпропілену у плівки методом екструзії.

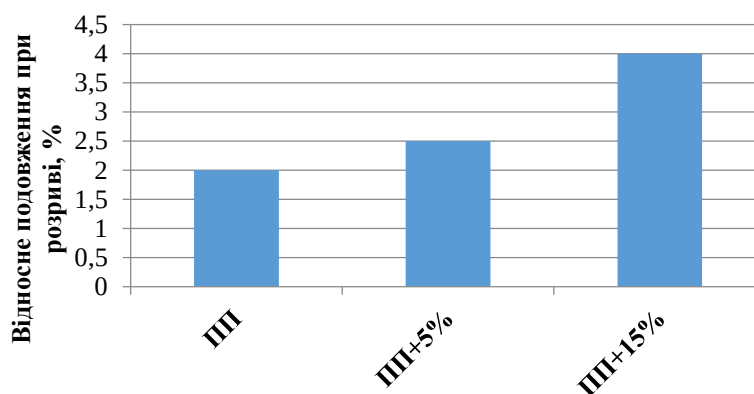


Рис. 1 – Залежність відносного подовження при розриві від вмісту в композиції поліпропілену з додаванням порошку з мушель устриць

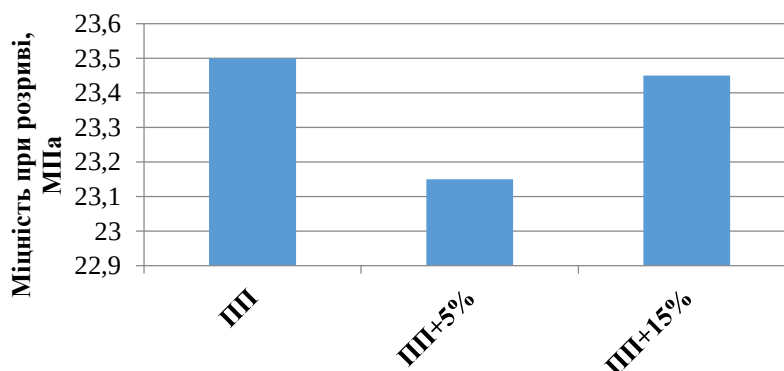


Рис. 2 – Залежність міцності при розриві від вмісту в композиції поліпропілену з додаванням порошку з мушель устриць

Фізико-механічних властивостей на міцність при розриві та відносне видовження додавання порошку з раковин устриць знижує міцність композиції поліпропілену при збільшенні відносного подовження при розриві. Встановлено, що додавання порошку з мушель устриць до ПП композиції для виготовлення плівки підвищує температуру плавлення, щільність одержаної плівки та показник текучості розплаву. Відносне подовження виробу збільшується із зростанням вмісту порошку з мушель устриць.

Список посилань

1. Пушкін С.П., Рабош І.О. Обґрунтування екологічно безпечних параметрів виробництва поліпропіленової плівки. Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Серія: Гірництво № 29 (2015): 90-96 с.

ДЛЯ НОТАТОК

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

XIV Міжнародна науково-практична конференція «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем»

23 – 24 травня 2024 року, м. Чернігів

Том 1

Відповідальний за випуск

А.М. Єрошенко

Редактор

С.П. Сапон

Комп'ютерна верстка і макетування: О.С. Сапон

Прийнято 24.05.2024. Здано до друку 24.05.2024 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.