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



Матеріали XII міжнародної науково-практичної конференції

«КОМПЛЕКСНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ»

Том 1

26 - 27 травня 2022 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 № 4 від 30.05.2022)

К63 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» [та ін.] ; відп. за вип.: Єрошенко Андрій Михайлович [та ін.]. – Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2022. – Т. 1. – 256 с.

ISBN 978-617-7932-15-3

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

к.т.н., доц. Єрошенко Андрій Михайлович, (Секція №1)
к.т.н., доц. Космач Олександр Павлович, (Секція №2)
к.т.н., доц. Сапон Сергій Петрович, (Секція № 3)
к.т.н., доц. Хребтань Олена Борисівна, (Секція № 4)
к.т.н., доц. Прибитько Ірина Олександрівна, (Секція №5)
к.т.н., доц. Корзаченко Микола Миколайович, (Секція №6)
к.т.н., доц. Терещук Олексій Іванович, (Секція № 6)
к.т.н., доц. Приступа Анатолій Леонідович, (Секція №7)
к.т.н., доц. Базилевич Володимир Маркович, (Секція № 8)
к.пед.н., доц. Коленіченко Тетяна Іванівна (Секція №9)

Відповідальний координатор конференції:

к.т.н., доц. Сапон Сергій Петрович, 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 978-617-7932-15-3
© Національний університет «Чернігівська політехніка»

МІЖНАРОДНИЙ ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

доктор Шефер Клаус (Oerlikon Barmag, Німеччина)
Дітмар Йенке (BBEngineering GmbH, Німеччина)
Штильгер Мартін (ThyssenKrupp, Німеччина)
д.-р. наук, проф. Бадіда Мирослав, (Технічний університет Кошице, Словаччина)
д.-р. наук, проф. Вархола Міхал, (Президент Академічного співтовариства М. Балудянського, Словаччина)
к.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, (Технічний університет Кошице, Словаччина)
д.т.н., проф. Нікітенко М.І. (Білоруський національний технічний університет, Білорусь)
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 Сандала, 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 Національного університету «Чернігівська політехніка»)
д.т.н., проф. Ступа В.І. (м. Чернігів, ТОВ «БАХ Інжиніринг»)
д.т.н., проф. Антонюк В.С. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)
д.т.н., с.н.с. Башинський В.Г. (м. Чернігів, ДНДІ випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки)
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., 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. Дмитрієв В.А. (м. Чернігів, ДНДІ випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки)
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)
д.т.н., проф. Дубенець В.Г. (м. Чернігів, НУ «Чернігівська політехніка»)
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)
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., 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)
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. 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 торгівельно-економічний університет)
д.т.н., проф. Кузнєцов Ю.М. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)
д.т.н., проф. Лебедєв В. О. (м. Київ, Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона)
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.т.н., проф. Огінський Й.К. (м. Запоріжжя, Запорізький національний університет)
д.т.н., проф. Орловський Б.В. (м. Київ, Київський національний університет технологій та дизайну)
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. Пінчевська О.О. (м. Київ, Національний університет біоресурсів і природокористування України)
д.т.н., проф. Пилипенко О.І. (м. Чернігів, ДНДІ випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки)
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, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)
д.т.н., проф. Рудь В.Д. (м. Луцьк, Луцький національний технічний університет)
д.т.н., проф. Савенко В.І. (м. Київ, Київський національний університет будівництва і архітектури)
д.т.н., проф. Савченко О.В. (м. Чернігів, НУ «Чернігівська політехніка»)
д.т.н., проф. Саленко О.Ф., (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)
д.т.н., проф. Сахно Є.Ю. (м. Чернігів, Національний університет «Чернігівська політехніка»)
д.т.н., проф. Семенов С.Г. (м. Харків, Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця)
д.т.н., проф. Середа Б.П. (м. Кам'янське, Дніпровський державний технічний університет)
д.т.н., проф. Сиза О.І. (м. Чернігів, Національний університет «Чернігівський колегіум ім. Т.Г.Шевченка»)
д.т.н., проф. Смирнов І.В. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)
д.т.н., проф. Струтинський В.Б. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)
д.т.н., проф. Ступницький В.В. (м. Львів, Національний університет «Львівська політехніка»)
д.т.н., проф. Тітов В.А. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)
д.т.н., проф. Тіхенко В.М. (м. Одеса, Одеський національний політехнічний університет)
д.пед.н., проф. Ткач Ю.М. (м. Чернігів, НУ «Чернігівська політехніка»)
д.т.н., проф. Тонконогий В.М. (м. Одеса, Одеський національний політехнічний університет)

д.т.н., проф. Фальченко Ю.В. (м. Київ, Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона)
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. Чернігів, ДНДІ випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки)
д.т.н., доц. Чуприна В.М. (м. Чернігів, ДНДІ випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки)
д.т.н., проф. Чухліб В.Л. (м. Харків, НТУ «Харківський політехнічний інститут»)
д.т.н., проф. Цибуля С.Д. (м. Чернігів, НУ «Чернігівська політехніка»)
д.т.н., проф. Шахбазов Я.О. (м. Львів, Українська академія друкарства)
д.т.н., проф. Шевченко О.В. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)
д.т.н., проф. Шинкаренко В.Ф. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)
д.т.н., проф. Широков В.В. (м. Львів, Українська академія друкарства)
д.т.н., проф. Юдін О.К. (м. Київ, Київський національний університет ім. Тараса Шевченка)
д.т.н., проф. Яхно О.М. (м. Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)

Організатори конференції висловлюють щиру 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 ПЛЕНАРНОГО ЗАСІДАННЯ

Biba N.V. QForm UK: an ultimate metal forming simulation software for the industry, education and research 17
MICAS Simulations Ltd., Oxford, United Kingdom

Шинкаренко В.Ф. Системність принципів гібридизації в структурній організації і еволюції технічних систем 19
Національний технічний університет України «КПІ ім. І. Сікорського», м. Київ

Петраков Ю.В., Сікайло М.О. Сталість процесу фрезерування кінцевими фрезами 21
Національний технічний університет України «КПІ ім. І. Сікорського», м. Київ

Верба І.І. Відновлення машинобудування – основа незалежності країни 23
Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», м. Київ

ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ СЕКЦІЙНИХ ЗАСІДАНЬ

СЕКЦІЯ 1.
ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ТА СИСТЕМИ МАШИНОБУДІВНОГО ВИРОБНИЦТВА

Khavin G., Hou Zhiwen, Law of abrasive instrument wear when cutting polymer composites 24
National Technical University «KhPI», Kharkiv

Radzevich S. P. The main periods of evolution of the conjugate action law: in parallel-axes gearing 25
EATON Corp., USA

Karyachenko N.[1], Ropay V.[2] Derivation of the resolving system of equations for flat bending of a rod with variable bending stiffness 27
[1] Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro
[2] Dnipro State Technical University, Dnipro

Kornienko Y. M., Haidai S.S., Yevziutin P.Y., Sameliuk O.V. Evaluation of hydrodynamics quality in the use of gas distribution devices for non-uniform fluidization 28
National technical university of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv polytechnic institute», Kyiv

Tryshyn P., Honchar N., Stepanova A. Ways to improve the operating characteristics of radar systems 30
National University «Zaporizhzhia Polytechnic», Zaporizhzhia

Кузнєцов Ю.М. Еволюція і моделювання шпиндельних вузлів модульного компонування 31
Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», м. Київ

Яким Р. С.[1], Петрина Д. Ю.[2] Зв'язок між глибиною цементації та процентним вмістом вуглецю тришарошкових бурових доліт 32
[1] Дрогобицький державний педагогічний університет ім. І. Франка, м. Дрогобич
[2] Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Ів.Франківськ

Охріменко О.А.[1], Клочко О.А.[2], Шуплєцов Д.К.[1], Скрипник Т.М.[3] Застосування EDM технологій при виробництві зуборізних довбачів 35
[1] Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», м. Київ
[2] Національний технічний університет «ХПІ», м. Харків
[3] ДП АБПЛАНАЛП Україна, м. Київ

Клименко С. А., Манохін А. С., Клименко С. Ан., Копєйкіна М. Ю., Чумак А.О. Моделювання стану зони стружкоутворення при торцевому фрезеруванні загартованої сталі 37
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, м. Київ

Калафатова Л.П. Обгрунтування впливу поверхнево-активних технологічних середовищ на енергоємність процесів механічної обробки крихких неметалевих матеріалів 39
Донецький національний технічний університет, м. Покровськ

Лупкін Б.В., Антонюк В.С., Корольков Ю.Я. Забезпечення якості технологічного процесу свердління композиційних матеріалів 41
Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», м. Київ

Веселовська Н.Р., Гнатюк О.Ф. Застосування гідроімпульсних приводів у виробництві вібраційних та віброударних вантажо-розвантажувальних пристроїв 42
Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця

Марков О.Є., Хващинський А.С., Мусорін А.В., Маркова М.О., Лисенко А.А. Дослідження способу кування злитків з використанням операції профілювання 44
Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ

Ковалевський С.В., Ковалевська О.С., Пелипенко О.О. Магніторезонансна обробка металевих немагнітних зразків матеріалів 46
Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ

Ковалевський С.В., Ковалевська О.С., Лупа Ю.В. Магніторезонансна обробка зразків полімерних неметалевих матеріалів 48
Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ

Грибков Е.П.[1], Івчик Р.С., Сун Сяо Фен Моделювання технологій правки листів 50
[1]Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ
[2]ПрАТ «Новокраматорський машинобудівний завод», м. Краматорськ,
[3]ТОВ «Китайська машинобудівна інжинірингова корпорація», Китай

Грицай І.Є. Тертя та теплові потоки на ділянках контакту як чинники зношування червячних фрез 52
Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів

Дмитрієв Д.О., Питайло О.Ю. Випробування абразивних сумішей при поліруванні покрить автотранспорту із застосуванням мехатронного модуля 53
Херсонський національний технічний університет, м. Херсон

Широков В.В., Шахбазов Я.О., Широков О.В. Оцінка впливу водню на зносотривкість металевих поверхонь 55
Українська академія друкарства, м. Львів

Олійник С.Ю. Застосування магнітореологічних еластомерів для зниження вібрації тонкостінних великогабаритних оболонок на операціях механічної обробки 58
Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ

Тулупов В.І., Онищук С.Г. Дослідження технології поверхневого зміцнення робочих поверхонь деталей машин 60
Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ

Дядя С.І., Козлова О.Б., Карамушка Д.Р., Кушнір Є.В. Вплив видів коливань на формування поверхні при кінцевому фрезеруванні 61
Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя

Пастернак В.В. Проектування дільниці з розробкою технологічного процесу механічної обробки деталі корпус КЗК 6.02.004 63
Луцький національний технічний університет, м. Луцьк

Молчанов В. Ф. Аналіз основних напрямів забезпечення точності в автоматизованому виробництві 64
Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

Басов Б.С., Кушніров П.В. Підвищення жорсткості технологічної оснастки для оброблення площин заготовок 66
Сумський державний університет, м. Суми

Цибуленко В.О., Ковальов М. В., Сонець О.В., Воронцов Б.С. Огляд гібридного адитивного виробництва, поєднанного Laser Powder Bed Fusioni з високошвидкістним фрезеруванням 67
Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», м. Київ

Ловейкін В.С.[1], Міщук Д.О.[2], Міщук Є.О.[2] Оптимізація енергоефективного режиму руху дволанового маніпулятор по параболічній траєкторії 68
[1]Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ
[2]Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ

Кошель С.О.[1], Кошель Г.В.[2] Дослідження структури складних механізмів 70
[1] Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ
[2] Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна», м. Київ

Кошель С.О.[1], Кошель Г.В.[2] Дослідження кінематики складних механізмів 71
[1] Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ
[2] Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна», м. Київ

Погребняк Р.П. Пошук надлишкових зв'язків у схемі кулісного механізму захвата 72
Національна металургійна академія України, м. Дніпро

Четербух О.Ю., Шахбазов Я. О., Широков В. В., Паламар О.О. Порівняльна характеристика кінематичних параметрів натискної плити плоско-штанцювального преса 73
Українська академія друкарства, м. Львів

Пасов Г.В., Венжега В.І., Кологойда А.В. Кар'єрні самоскиди та їх особливості 75
Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів

Венжега В.І.[1], Пасов Г.В.[1], Рудик А.В.[2] Дослідження шорсткості при фрезеруванні опорних шийок та кулачків розподільчого вала на модернізованому верстаті ВЗ208Ф4 77
[1] Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів
[2] ДНДІ випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Чернігів

Качанова М.В., Нешта А.О., Дегтярьов І.М., Самардак М.П. Особливості складання насосів вертикального типу в дрібносерійному виробництві 78
Сумський державний університет, м. Суми

Бабенко А.Є., Боронко О.О., Трубачев С.І., Лавренко Я.І. Огляд технічних теорій внутрішнього тертя 79
Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», м. Київ

Нечаєв В.П., Рязанцев А.О. Встановлення режимів плазмово-механічної обробки з урахуванням накопиченого тепла в заготовці 81
Криворізький національний університет, м. Кривий ріг

Авраменко С.Є., Дегтярьов І.М. Перспективи застосування циклоїдальних редукторів в технологічному оснащенні виробництв 83
Сумський державний університет, м. Суми

Авраменко С.Є., Дегтярьов І.М. Порівняльний аналіз хвильових передач та перспективи їх застосування у затискних верстатних пристроях з електричним приводом 84
Сумський державний університет, м. Суми

Кропівний О.О., Кириченко А.М., Гречка А.І. Теоретичне визначення просторової жорсткості верстата з механізмом паралельної структури «Біпод» 85
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький

Філатов Ю.Д.[1], Сідорко В.І.[1], Ковальов С.В.[2], Ковальов В.А.[2], Юрчишин О.Я.[2] Полірування оптико-електронних елементів з полімерних оптичних матеріалів 87
[1] Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, м. Київ,
[2] Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», м. Київ

Зданевич С.В. Параметрична кінцево-елементна модель та імітаційне дослідження навантаження елементів несучої конструкції причіпного широкозахватного посівного комплексу 89
Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро

Заєць С.С. Система підвищення надійності обробки на фрезерних верстатах з ЧПК 90
Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», м. Київ

Гладський М.М., Барандич К.С., Фролов В.К., Юренко С.Ю. Втомна міцність конструктивної сталі за умови концентрації напружень 92
Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», м. Київ

Приходько В.П. Оцінка точності технологічних розмірів з урахуванням особливостей їх формування 93
Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», м. Київ

Приходько В.П. Особливості та можливості базування заготовок з використанням контактних вимірювальних систем 94
Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», м. Київ

Стецько А.Є. Комплексний метод формування нанокомпозитних зміцнених зносостійких шарів на щвидкозношувальних деталях машин хімічним осадженням і дифузійним насиченням 96
Українська академія друкарства, м. Львів

Валецький Б.П. Моделювання мехатронного модуля переміщення 97
Луцький національний технічний університет, м.Луцьк

Миронова Т.М.[1], Чухліб В.Л.[2], Ашкелянець А.В.[2] Вплив схеми деформування на розподіл деформації при гарячому куванні дактильованного чавуну 98
[1] Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро,
[2] Національний технічний університет «ХПІ», м. Харків

Мигловець І. М., Широкий Ю.В. Теоретичне дослідження впливу енергії кристалізації на формування наноструктур при іоно-плазмовій обробці міді**,** 99
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», м. Харків

Стрельчук Р. М. Моделювання шорсткості поверхні при електроерозійному шліфуванні зі зміною полярністю електродів 100
Національний технічний університет «ХПІ», м. Харків

Панченко Ю.С. Визначення параметрів для отримання наноструктур на інструментальній сталі У12 за рахунок дії іонізованого випромінювання 101
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», м. Харків

Бабенко М.О., Вірич М.В. Ефективність використання САПР AutoCAD Inventor при проектуванні роботизованих технологічних комплексів 103
ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», м. Покровськ

Шепеленко І.В., Гуцул В.І., Магопець М.С. Особливості розрахунку напружено-деформованого стану антифрикційних покриттів 104
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький

Кушнірчук А.С. Адитивні технології в ливарному виробництві 105
Хмельницький національний університет, м. Хмельницький

Денисюк В.Ю. Метрологічне забезпечення точності обробки торців кілець роликопідшипників засобами активного контролю 106
Луцький національний технічний університет, м.Луцьк

Залета О.М. Проблеми узгодження роботи функціональних модулів технологічних машин 108
Луцький національний технічний університет, м.Луцьк

Заїка О.М., РудьВ.Д., СамчукЛ.М. Виготовлення полімерних деталей 3D друком 110
Луцький національний технічний університет, м.Луцьк

Приходько О.В., Малигін М.О., Корсун В.А. Розробка технології виготовлення литого базового вузла станин важких верстатів 112
Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ

Динник О.Д., Приходько О.М., Грищенко Б.А. Дослідження впливу основних характеристик абразивного інструменту на якість обробленої поверхні 114
Відокремлений структурний підрозділ «Класичний фаховий коледж» Сумського державного університету, м. Конотоп

Повстяной О.Ю., Імбірович Н.Ю. Дослідження корозійної тривкості пористих проникних матеріалів зі захисними покриттями**,** 116
Луцький національний технічний університет, м. Луцьк

Четвержук Т.І., Полінкевич Р.М., Зубовецька Н.Т., Редько Р.Г. Особливості конструювання горизонтальних станин металорізальних верстатів**,** 117
Луцький національний технічний університет, м.Луцьк

Чухно С.І., Чернишов О.В. Пристрій для охолодження виробу розпиленою мастильно-охолоджувальною рідиною при внутрішньому шліфуванні 119
Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

Морозова І.В. Застосування авіаційного топлива з покращеними характеристиками для забезпечення ефективності експлуатації авіаційного двигуна 120
Національний авіаційний університет, м. Київ

Банзак О.В., Банзак Г.В. Модель безвідмовності об'єкту, що не відновлюється машинобудівного обладнання 121
Державний університет інтелектуальних технологій та зв'язку, м. Одеса

Третяк В. В.[1], Цивінда Н. І.[2], Зуєв І. О.[2], Міхненко О.С.[3], Верстюк О.М.[3] Математична модель методу синтеза без аналогів і можливості її реалізації в сучасних сапр системах 123
[1] Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», м. Харків
[2] Криворізький національний університет, м. Кривий ріг
[3] ТОВ «Інформаційні технології САПР, м. Київ

Романенко В.В., Головко Л.Ф., Блощицин М.С., Савченко О.А. Застосування спеціальних утримуючих елементів при виготовленні біметалевих матеріалів 125
Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», м. Київ

Даниленко О. В. Здійснення діагностики обладнання у навчальному процесі 126
Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», м. Київ

Дубицький М.Є., Майборода В.С. Залишкові напруження 1-го роду після магнітно-абразивного оброблення плоских поверхонь індукторами на постійних магнітах 127
Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», м. Київ

Матошин О.В., Стельмах Н.В. Актуальність використання композиційних матеріалів 129
Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», м. Київ

Євдокимов О.Д., Колесник В.О. Проблематика токарної обробки суперсплаву Inconel 718 130
Сумський державний університет, м. Суми

Лисенко Б.Г., Колесник В.О., Забара М.О. Вплив режимів різання на якість поверхні при свердлінні отворів у пакетах «вуглепластик/титановий сплав» 131
Сумський державний університет, м. Суми

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 133
Сумський державний університет, м. Суми

Дубініна О.Т. Метод магнітно-імпульсного зміцнення металу як альтернатива термічній обробці великогаборитних деталей 134
Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», м. Київ

Кіяновський М. В., Цивінда Н. І. Оцінка ресурсу машин, що втрачають працездатність за моделлю «Накопичення пошкоджень» 136
Криворізький національний університет, м. Кривий ріг

Струтинський В.Б., Юрчишин О.Я., Парненко В.С., Кравець В.О. Обґрунтування ефективності застосування гвинтового числення при дослідженні статичних, кінематичних та динамічних характеристик маніпуляторів мобільних роботів 138
Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», м. Київ

Струтинський В.Б., Юрчишин О.Я., Родін Р.П, Кравець О.М. Окремі аспекти теорії проектування маніпуляторів наземних роботизованих комплексів 140
Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», м. Київ

Дмитренко Н.Р., Євтухов А.В. Про переваги використання композитних матеріалів у конструкціях верстатів та верстатних пристроїв 141
Сумський державний університет, м. Суми

Колос В.О.[1], Іванов В.О.[1], Павленко І.В.[1], Ботко Ф.[2], Гатала М.[2] Математична модель вибору схеми базування деталей типу кронштейни 142
[1] Сумський державний університет, м. Суми
[2] Технічний університет м. Кошице, Словаччина

Онисько О.Р., Одосій З.М., Пастух А.А. Аналіз формування замкової нарізі за допомогою гребінок 144
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Ів.Франківськ

Копей В. Б. Синтез PLM-систем різьбових з'єднань за допомогою методів машинного навчання 146
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Ів.Франківськ

Копей В. Б., Ярема М. А. Досвід вивчення робототехніки з використанням платформи Arduino і мови програмування Python 147
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Ів.Франківськ

Мозговий О.В. Вплив вуглецевих наномодифікаторів на розсіювання механічної енергії полімерними вуглепластиками 148
Вінницький державний педагогічний університет ім. М. Коцюбинського, м. Вінниця

Сьомічев А.В., Суворов В.В. Алгоритм визначення енергосилових параметрів кривошипно-повзунного механізму 150
Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро

Проскурін О. Г., Рашківський В. П. Розробка адаптивної рухомої противаги одноківшевого екскаватора 152
Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ

Руденко Н.В., Руденко В.О. Прогнозування якісних характеристик деталей авіаційної техніки, що підвергнуті лазерній обробці 154
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», м. Харків

Акимов О.О., Бояров В.Т., Жданюк М.М., Міщенко Н.В. Використання частотного аналізу для оцінювання надійності кулькових опор 155
ДНДІ випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Чернігів

Кобзар І. В.[1], Третяк О. В.[2] Аналіз напруженого стану елементів конструкції турбогенераторів потужністтю 325 МВт 157
[1]АТ «Українські енергетичні машини», м. Харків
[2] Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», м. Харків

Васильєв Є.А.[1], Попов С.В.[2] Розширення галузі використання способу визначення твердості металів методом ударного впливу 158
[1] Національний університет «Полтавська політехніка ім.Ю.Кондратюка», м. Полтава
[2] Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава

Цивінда Н.І., Зюган У.І., Зуєв І. О. Підвищення надійності роботи обладнання оптимізацією витрат ремонтних ресурсів 159
Криворізький національний університет, м. Кривий ріг

СЕКЦІЯ 2.
ТЕХНОЛОГІЇ ДЕРЕВООБРОБКИ І МЕБЛЕВОГО ВИРОБНИЦТВА

Shchupakivskyy R., Andrashek J. The short-term beech wood creep test by means of dynamic mechanical analysis (DMA) 162
Ukrainian National Forestry University, Lviv

Ломага В. В., Цапко Ю. В. Умови застосування вогнезахищеної деревини на обєктах різного призначення 166
Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ

Дацків Г. М., Кшивецький Б. Я. Щодо результатів пришвидшених експериментальних досліджень міцності склеювання термічно модифікованої деревини клеями на основі ПВА 168
Національний лісотехнічний університет України, м. Львів

Буйських Н. В.[1], Бондаренко Н. М.[2] Щодо питань термінології лісопродукції 169
[1] Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ
[2]Дніпровський національний університет ім. О. Гончара, м. Дніпро

Козак Р.О., Копанський М.М., Ортинська Г.Є. Властивості стружкових плит з вмістом стружки зі стебел кукурудзи 171
Національний лісотехнічний університет України, м. Львів

Чернецький О.М., Кусняк І.І., Бехта Н.С. Вплив товщини вторинної поліетиленової плівки на фізичні властивості букової фанери 173
Національний лісотехнічний університет України, м. Львів

Цапко Ю.В., Горбачова О.Ю., Мазурчук С.М. Щодо закономірностей захисту полімерною оболонкою деревини від біоруйнування 175
Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ

Ортинська Г.Є., Козак Р.О., Копанський М.М. Можливість застосування біоклеїв на основі соєвих протеїнів у виробництві фанери 177
Національний лісотехнічний університет України, м. Львів

Урбанюк Є.А. Особливості застосування іонного азотування для зміцнення дискових пилок 179
Хмельницький національний університет, м. Хмельницький

Шевченко С.А., Погорілий В.К. Методика моделювання руху деревних частинок у перехідній зоні очищувача повітря з активними робочими органами 181
Державний біотехнологічний університет, м. Харків

Шевченко С.А. Використання веб-версії AutoCAD при визначенні властивостей деревини 182
Державний біотехнологічний університет, м. Харків

Бринь О.І. Дослідження можливості виготовлення стружкових плит з використанням відходів текстильного виробництва 183
Національний лісотехнічний університет України, м. Львів

Луста Ю.Р. Комплексний підхід у забезпеченні технологічної стійкості на ухилі лісозаготівельного комбайна 185
Національний лісотехнічний університет України, м. Львів

Щупак А.Л. Основні втрати енергії в системі «лісотранспортна машина-ґрунтова поверхня руху» 187
Національний лісотехнічний університет України, м. Львів

Мороз О.Р., Маєвський В.О., Копинець З.П., Миськів Є.М. Порівняння якісних характеристик пиломатеріалів, визначених за різними стандартами 188
Національний лісотехнічний університет України, м. Львів

Удовицька М.В.[1], Маєвський В.О.[2], Удовицький О.М.[2] Прогнозування деформування поперечного перетину пиломатеріалів для клеєних щитових конструкцій 189
[1] Технологічний коледж державного вищого навчального закладу "Національний лісотехнічний університет України", м. Львів
[2] Національний лісотехнічний університет України, м. Львів

Маєвський В.О., Копинець З.П., Ференц О.Б., Кушпіт А.С., Мороз Р.О. Вплив розмірних характеристик пиломатеріалів на об'ємний вихід чорнових заготовок 191
Національний лісотехнічний університет України, м. Львів

Мачуга О. С. Якість та енергоефективність технологічних процесів оброблення деревини 192
Національний лісотехнічний університет України, м. Львів

Копанський М.М., Козак Р.О. Використання опалого листя для виготовлення волокнистих плит середньої твердості 194
Національний лісотехнічний університет України, м. Львів

СЕКЦІЯ 3.
РОБОЧІ ПРОЦЕСИ ТА СИСТЕМИ ПРОМИСЛОВОЇ ГІДРАВЛІКИ ТА ПНЕВМАТИКИ

Джафаров Т.В., Ратушний О. В. Підвищення напірності ступеня відцентрового насоса шляхом створення від'ємної закрутки на вході у робоче колесо 196
Сумський державний університет, м. Суми

Ратушний О. В., Куліков О. А. Числове дослідження кута атаки лопатевого диску контрроторного ступеня 197
Сумський державний університет, м. Суми

Апаракін А.Р., Підгаєцький М.М. Шляхи підвищення рівня герметичності цапф вала-сектора кулько-гвинтового гідропідсилювача руля 199
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький

Ляпощенко О.О., Старинський О.Є., Мандрика О.О. Числове моделювання електрогідродинаміки при сепарації водонафтових емульсій 200
Сумський державний університет, м. Суми

Аврунін Г.А.[1], Пімонов І.Г.[1], Щербак О.В.[1], Мороз І.І.[1], Пилипенко Є.С.[2] Аналіз застосування сучасних гідропристроїв в об'ємних гідроприводах мобільних підйомників з робочими платформами 202
[1] Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків
[2] Національний технічний університет «ХПІ», м. Харків

Сахно Є. Ю. Модернізація гідростатичного підшипника роторного вузла 203
Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів

Петренко С. С., Панченко В. О. Проєктування напрямного апарата багатоступеневого відцентрового насоса 205
Сумський державний університет, м. Суми

СЕКЦІЯ 4.
ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ТА СИСТЕМИ ХІМІЧНОЇ, ЛЕГКОЇ, ПЕРЕРОБНОЇ ТА ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Іщенко О.В., Плаван В.П., Ляшок І.О., Галаган В.В. Технологія одержання екологічних матеріалів 207
Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ

Орловський Б.В., Місяць М.В. Параметричний аналіз і синтез вибору захватів маніпуляторів деталей крою з текстилю 209
Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ

Орловський Б.В. Аналіз і синтез циклових мехатронних систем з програмованим логічним контролером 212
Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ

Huliienko S.V., Muzyka S.M. Mathematical simulation of the reverse osmosis: current state and perspective of development 214
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv

Демченко В.Л. Формування нанокомпозитів методом катодного напилення наночастинок срібла на поверхню полілактиду 216
Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України, м. Київ

Сила І.М., Бойченко О.І., Корольов О.О. Рекомендації щодо модернізації майстерні електричного спеціального обладнання (МЕС) шляхом впровадження в її склад ефективних засобів діагностики 217
ДНДІ випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Чернігів

Бакалов В.Г., Кузьменко В.А., Яриш І.Ю. Математична модель процесу витягування плоскої полімерної плівки після плоскощілинної головки і на приймально-охолоджуючому валку 219
ДНДІ випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Чернігів

Лапицька Н. В.[1], Борисюк К. Г.[2], Мозгова К. А.[1] Виробництво збагаченого сливового пюре для харчування військових 220
[1]Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т. Г. Шевченка, м. Чернігів
[2]ДНДІ випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Чернігів

Дворжак В. М. Механізм зміни глибини кулірування в'язальної машини 222
Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ

Савченко О.М.[1], Сиза О.І.[1], Городиська О.В.[1], Гейко В.В.[2], Гута С.С.[2] Інгібітори корозії для захисту поверхні обладнання військової техніки 223
[1] Національний університет «Чернігівський колегіум» ім. Т. Г. Шевченка, м. Чернігів
[2]ДНДІ випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Чернігів

Плосконос В.Г., Порохов Д.В. Пошук можливостей створення пакувальних матеріалів без вмісту екологічно шкідливих добавок 225
Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», м. Київ

Чорна О.Р., Байцар Р. І. Застосування системи НАССР при виготовленні хлібобулочних виробів 226
Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів

Березненко С.М., Садретдінова Н.В. Оцінка енерго-інформаційного впливу текстильних матеріалів на організм людини з обмеженими можливостями 228
Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ

Савчук А.П., Плаван В.П., Сова Н.В., Савченко Б.М. Фізична модифікація в технологічних процессах переробки полівінілхлориду 230
Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ

Хлібишин Ю.Я., Почапська І.Я. Використання яблучної сировини у виробництві алкогольних напоїв 232
Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів

Остапенко Н.В., Рубанка А.І., Олійник Г.М., Гречуха О.О. Тактичні рюкзаки для військовослужбовців: конструктивні особливості та матеріали 233
Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ

Березін Л.М., Рубанка М.М. Фактори впливу на надійність промислових роботів 235
Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ

Березін Л.М., Рубанка М.М. Підвищення довговічності в'язальної голки шкарпеткового автомата 237
Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ

Шидакова-Каменюка О.Г., Болховітіна О.І., Логінова Д. Використання збагачувальної рослинної сировини в технології пісочного печива 239
Державний біотехнологічний університет, м. Харків

Кологойда А.В., Пасов Г.В. Огляд тенденцій проектування обладнання та підприємств харчової промисловості з використанням засобів САПР 240
Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів

Замай Ж.В., Сорокіна Д.С. Ферментовані напої на рослинному молоці 241
Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів

Ющенко Н.Ф., Денисова Н.М. Використання електромагнітних випромінювань для обробки харчових продуктів 242
Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів

Праховнік Н. А., Землянська О. Варламов А. Ю., Волков В.А. Безпека праці в кондитерському цеху компанії «АВК» 243
Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», м. Київ

Олійник С.Г., Степанькова Г.В., Недвіга С.В., Анпілогова Л.П. Щодо використання борошна з чуфи (*cyperus esculentus l.*) у технології хліба 245
Державний біотехнологічний університет, м. Харків

Хребтань О.Б., Волкова Р.М. Застосування ресторанних технологій під час війни 246
Національний університет «Чернігівська політехніка», м. Чернігів

Ковтун А. І., Землянська О. В., Праховнік Н. А., Італьянцев О. І. Охорона праці при виробництві синтез-газу 248
Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», м. Київ

Самохвалова О.В., Касабова К.Р., Бабаєв С.О. Сучасні тенденції у технології виробництва та зберігання лукуму 250
Державний біотехнологічний університет, м. Харків

Болховітіна О.І., Шидакова-Каменюка О.Г., Чугаєвська О.Г. Хлібобулочні вироби зниженої вологості підвищеної харчової цінності 251
Державний біотехнологічний університет, м. Харків

Кисилевська А.Ю., Бабов К.Д., Безверхнюк Т.М., Арабаджи М.В. Гармонізація національних та європейських вимог до параметрів безпечності фасованих мінеральних вод 252
Державна установа «Український науково-дослідний інститут медичної реабілітації та курортології Міністерства охорони здоров'я України», м. Одеса

ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ ПЛЕНАРНОГО ЗАСІДАННЯ

UDC 621.7

Biba N.V., PhD
MICAS Simulations Ltd., Oxford, United Kingdom, nick@qform3d.com

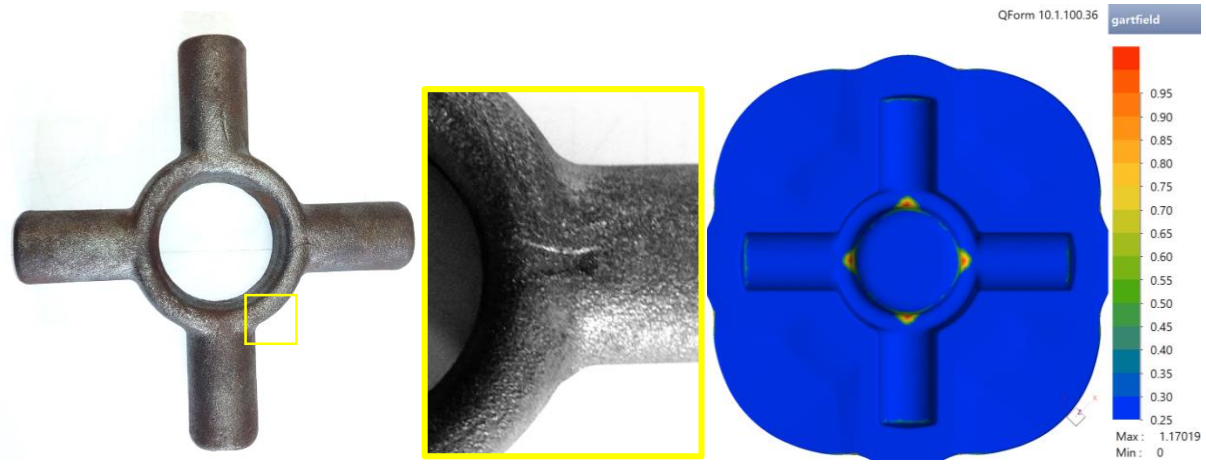
QFORM UK: AN ULTIMATE METAL FORMING SIMULATION SOFTWARE FOR THE INDUSTRY, EDUCATION AND RESEARCH

With more than 30 years of research and development in the field of finite element simulation of metal forming processes, our program "QForm UK" is one of the leaders in the world market of commercial engineering software. It is used by hundreds of companies and universities in all industrially developed counties worldwide. The latest version QForm UK 10.2 has improved interface and mathematical algorithms to simulate a wide range of metal forming technologies such as forging, rolling, extrusion and stamping in a hot and cold state. The program also provides the heat treatment and microstructure evolution simulation for steels, titanium, aluminium and nickel-based alloys. The program possesses advanced simulation features such as the dual mesh method, fully thermally and mechanically coupled tasks, damage prediction criteria for workpiece and tools, and low-cycle tool fatigue prediction. The fastest network and client-server workflow with multi-core and multi-task options give users the ability to design the best components in a virtual environment without costly shop trials.

We also developed a specialised CAD program for automated optimal preform design called QForm Direct (powered by SpaceClaim^{TM}) based on equipotential surfaces to generate the preform shape [1]. This program is integrated with the QForm UK program to verify and optimise the proposed preform shape by modelling the metal deformation in the actual forging process. Below is the case where we developed the best preform shape for hot forging a cross-like part. The original technology used a round billet with a diameter of 65 mm and a height of 118 mm made of steel 20MnCr56 (1.7147 DIN) heated to 1200^0 C. The equipment was a 25 MN mechanical press. The first operation was upsetting the billet to a height of 60 mm. Then the billet was forged in preforming dies that were designed according to traditional guidelines, having increased drafts and radii. Then finally, it was forged in the finish dies (Fig 1.). When using the original preform design, a lap occurs in the finish forging that is seen in the actual part (Fig. 1 a,b) and clearly detected by simulation (Fig. 1c).

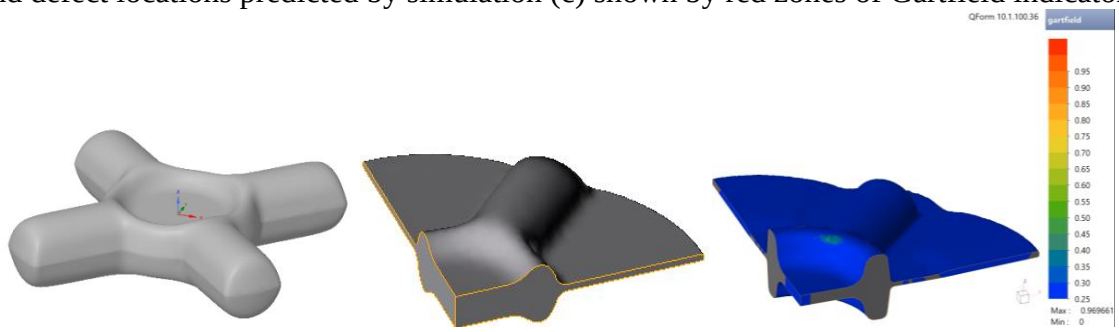
A new optimal shape of the preform was developed using QForm Direct software. The equipotential surfaces used for its creation are shown in Fig. 2a. The forging sequence using this preform shape was simulated, and it didn't show any defect in the finished part (Fig. 2. b, c). After such verification using simulation, the preform dies were modified to the QForm Direct design and placed into production, while finish dies were left without any alteration. Trial forgings have shown the perfect quality of the finished part without any defect, as shown in Fig. 3. Moreover, modification of the preform allowed reducing the billet volume, saving the material by 6.7% and significantly reducing the die wear.

Several leading Ukrainian industrial companies use QForm UK. Some of them are NKMZ and EMSS (Kramatorsk) for heavy forged parts, Interpipe (Dnipro) for tube rolling, MotorSich (Zaporizzhia). The program is used by NMetaU, KPI, KhPI, Donbas Machine-building Acadamy and several other educational institutions for student teaching and research. The implementation of new simulation methods in the technology development increases productivity and improves the quality of products, saving energy and material in the manufacturing, which is vital for the fastest recovery of the Ukrainian industry and education after the War.



a) b) c)

Fig. 1 – Actual finished forged part: a lap on a general view (a) and magnified defect zone (b) and defect locations predicted by simulation (c) shown by red zones of Gartfield indicator.



a) b) c)

Fig. 2 – The preform shape is based on equipotential surfaces (a), simulation of preforming (b) and finish impressions (c) using the proposed preform. No defects in finish forging are detected, as shown by the distribution of the Gartfield indicator.



a) b)

Fig. 3 – Photo of the actual preform (a) and finished (b) forged parts using proposed preform shape (no material flow defects observed).

Literature

1. N. Biba, Automated preform design for hot closed-die forging, Metal Matters, CBM, UK 2022, Edition 62, pp. 11-12.

УДК 621.313

Шинкаренко В.Ф., докт. техн. наук, професор
Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», ntuukafem@ukr.net

СИСТЕМНІСТЬ ПРИНЦИПІВ ГІБРИДИЗАЦІЇ В СТРУКТУРНІЙ ОРГАНІЗАЦІЇ І ЕВОЛЮЦІЇ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Доповідь присвячена аналізу системності явища гібридизації - одного з найбільш продуктивних механізмів структуроутворення в еволюції генетично організованих систем як природного, так і антропогенного походження. Сьогодні важко знайти галузь знань, де б не використовувалося поняття гібридів: від гібридних атомних орбіталей до гібридних галактик, від гібридних організмів в біології до гібридних словосполучень в лінгвістиці, від гібридних обчислювальних систем до гібридних хмарних технологій, від гібридних форм мистецтва в сучасній культурі до гібридних війн… Широке поширення гібридів пояснюється притаманним лише їм унікальним властивостям, зокрема, здатністю до багаторівневої гібридизації з компонентами різної генетичної природи і можливістю отримання нового емерджентного ефекту, ознаки якого відсутні у первинних батьківських формах. Важливим результатом структурно-системних досліджень з різних галузей знань стало усвідомлення того, що вся неймовірна різноманітність систем природного і антропогенного походження реалізується з обмеженої кількості первинних форм, які упорядковуються періодичною структурою природної класифікації. Відкриттям періодичної структури генетичної класифікації (ГК) первинних джерел електромагнітного поля вперше було підтверджено необхідність поширення зазначеного аксіоматичного висновку на технічні системи [1]. Структура груп і періодів природної класифікації є формою подання принципів збереження і законів природи, а її елементно-інформаційний базис виконує функцію породжувальних цілісних структур по відношенню до прогресуючої різноманітності об’єктів – нащадків більш високих рівнів складності. Результати аналізу інваріантних властивостей ГК засвідчують системність і взаємозв’язок принципів спадковості, які також підтверджуються результатами трансдисциплінарних досліджень.

Логічним підтвердженням системності принципів генетичного структуроутворення стало відкриття закону гібридизації електромагнітних структур. В даному дослідженні здійснено узагальнення механізмів прояву і форм подання закону гібридизації, який визначає співвідношення і кількісний склад класів моно-, ди-, і полігібридних класів електромеханічних об’єктів, які в свою чергу, визначають методологію їх моделювання і синтезу, таксономію і технологію структурного передбачення гібридних електромеханічних об’єктів на внутрішньовидовому, міжвидовому, внутрішньородовому та міжродовому рівнях їх структурної організації.

Генетична природа гібридних структур визначається інваріантними властивостями первинних джерел електромагнітного поля (електромагнітних хромосом), ізоморфних поняттю біологічних хромосом. Теоретичну основу структуроутворення гібридних ЕМ-структур становить принцип схрещування складових генетичної інформації універсальних генетичних кодів електромагнітних хромосом [2]. Показано наявність детермінованого взаємозв’язку хромосомних схрещувань з структурою універсальних генетичних кодів електромагнітних хромосом і відповідною видовою різноманітністю гібридних класів електромеханічних об’єктів. Математичну основу схрещувань визначають правила комбінаторики з врахуванням виду і кількості складових генетичної інформації, що підлягають схрещуванню. Аналізуються межі коректного використання закону гібридизації електромагнітних структур. Розглянуто особливості символьної, вербальної, матричної та графічної форм його подання. Вперше визначено кількісний склад генетично допустимих законом гібридних Видів – нащадків в межах визначених законом гібридних класів ЕМ-

структур. Показано взаємозв'язок принципів схрещування з іншими системними операторами генетичного структуроутворення: реплікації, інверсії, кросинговеру і мутації.

Достовірність генетичних принципів і моделей гібридного структуроутворення та їх відповідність реальним процесам технічної еволюції об'єктів електромеханіки, підтверджено результатами постановки еволюційних експериментів [3]. Методами генетичного аналізу ідентифіковано і підтверджено наявність в технічній еволюції структурних представників всіх семи, визначених законом гібридних класів електромеханічних об'єктів, які засвідчують, що технічна еволюція об'єктів електромеханіки здійснюється у строгій відповідності з генетичними принципами структурно-інформаційної гібридизації. Експерименти показують, що структурна еволюція гібридних електромеханічних об'єктів знаходиться ще на початковому рівні, де задіяні структурні представники лише 5% Видів з числа допустимих законом.

В доповіді акцентується увага на ключовій ролі людини-дослідника, яка відповідає за вибір генетичних структур, задіяні матеріальні і часові ресурси для їх адаптації, а також і виконує функцію творця і ретранслятора генетичної інформації в ряду поколінь створюваних об'єктів техніки.

Специфіка аналізу і синтезу складних гібридних систем визначається багаторівневою організацією процесу гібридизації складних систем, який має місце на хромосомному (моно-, ди-, і полігібридні електромагнітні хромосоми), об'єктному (гібридні багатофазні обмотки, мехатронні модулі, гібридні електричні машини,…), системному (електрогенератор – вітротурбіна, мотор – колеса, електрошпинделі, …) і транссистемному (кіборгізація комах, тварин, людей,…) рівнях. Гібридні структури високих рівнів складності визначаються принципами суміщення підсистем різної генетичної і фізичної природи. Гібридні системи такого рівня відсутні в природі, але рівень і розвиток сучасних технологій (структурної і синтетичної генетики, нейротехнологій, штучного інтелекту, цифрових технологій, мікроелектромеханіки і мікроелектроніки та ін.), відкривають можливість їх фізичної реалізації. За прогнозами філософів і експертів-футурологів, такі системи з великою вірогідністю будуть визначати постбіологічну еру людства в недалекому майбутньому [3-5]. Наголошується на необхідності вирішення проблем міждисциплінарного, методологічного, гуманітарного, технічного і етичного характеру на шляху створення гібридних систем транссистемного рівня.

Результати дослідження мають важливе значення для подальшого розвитку теорії генетичної організації і коеволюції природних і антропогенних систем, технології їх генетичного передбачення, удосконалення методології горизонтального обміну знань і міждисциплінарного синтезу складних систем з підсистемами різної генетичної природи.

Список посилань.

1. Шинкаренко В.Ф. Основи теорії еволюції електромеханічних систем / В.Ф. Шинкаренко. – К.: Наукова думка, 2002. – 288с.

2. Шинкаренко В.Ф. Генетические принципы структурообразования гибридных электромеханических систем. / Шинкаренко В.Ф., Гайдаенко Ю.В. // Вісник КДУ імені Михайла Остроградського. – Випуск 3/2010 (62). – Частина 2. – С. 47 – 50.

3. Shynkarenko V.F. Evolutionary Experiments in Genetic Electromechanics. / Shynkarenko V.F., Shvedchikova I.A., Kotlyarova V.V. // 13 th Anniversary International scientific Conference «Unitech'13», 22 – 23 November 2013. – Gabrovo, Bulgaria. – Vol. III, 2013. – p.p. 289 – 294.

4. Haraway, Donna (1990). «A Cyborg Manifesto: Science, Technology, and Socialist-Feminism in the Late Twentieth Century». Simians, Cyborgs and Women: The Reinvention of Nature. Routledge, 1990. – p.p. 149–181.

5. Рей Курцвейл. Эволюция разума / Рей Курцвейл. – «Эксмо», 2018. – 352 с.

6. Гринин Л.Е. Приведет ли кибернетическая революция к киборгизации людей? / Гринин Л.Е., Гринин А.Л. // Философия и общество». – вып. №3. – 2016. – С. 17 – 47.

УДК 621.941

Петраков Ю.В., докт. техн. наук, професор,
Сікайло М.О., аспірант
Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського»,
ypetrakov.86@gmail.com

СТАЛІСТЬ ПРОЦЕСУ ФРЕЗЕРУВАННЯ КІНЦЕВИМИ ФРЕЗАМИ

Будь-який процес різання супроводжується виникненням коливань, які приводять до погіршення шорсткості оброблюваної поверхні, передчасному зношуванню інструменту, навіть провокують його злам [1]. Дослідники динамічних явищ при різанні відзначають три основні причини виникнення коливань: нелінійні процеси різання і тертя, нелінійні зв'язки жорсткості технологічної обробної системи (ТОС) і оброблення за слідом [2]. Прогнозування вібрацій в ТОС при різанні є надзвичайно важливою задачею, яка може вирішуватись за математичною моделлю ТОС. Математична модель має ураховувати замкненість процесу різання в пружній технологічній системі та оброблення за слідом. Адекватність математичної моделі має забезпечуватись експериментально визначеними динамічними параметрами ТОС [3].

Головним збудженням є сила різання, яка при фрезеруванні кінцевими фрезами може бути визначена емпіричною залежністю:

$$F = C_p a^k B, \qquad (1)$$

де a – товщина, B – ширина різання, C_p, k – емпіричні коефіцієнт і показник ступеня.
Відомо, що сила різання визначається двома складовими режиму різання: подачею f_t на зуб фрези і глибиною H різання. Така залежність є нелінійною і з достатньою точністю може бути лінеаризована, як функція від режиму різання:

$$F = k_f f_t + k_H H, \qquad (2)$$

де $k_f = \left(\frac{\partial F}{\partial f_t}\right)_0$, $k_H = \left(\frac{\partial F}{\partial H}\right)_0$ – коефіцієнти лінеаризації.

Ураховуючи замкненість процесу різання та оброблення за слідом, процес фрезерування може бути представлений у вигляді структурної схеми за на рис.2.

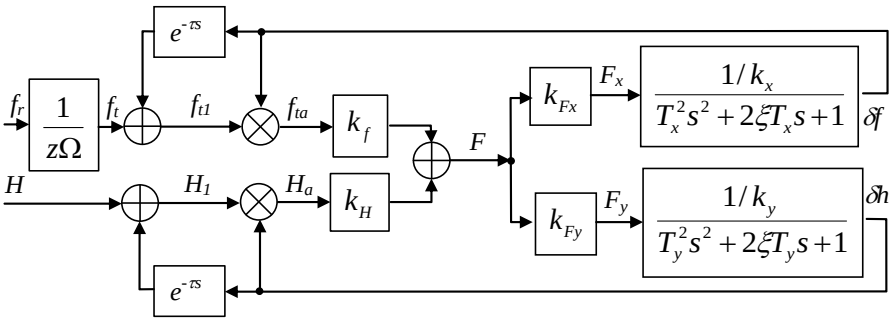


Рис. 1 – Структурна схема

На структурній схемі пружна технологічна система представлена як одномасова з двома ступенями вільності з жорсткостями k_x і k_y, періодами власних коливань T_x і T_y та коефіцієнтом демпфірування ξ. Оброблення за слідом представлено двома ланками запізнюючого аргументу $e^{-\tau s}$, де τ – час зрізування припуску між двома сусідніми зубами фрези. Тут і далі s – оператор Лапласа.

За такою схемою можна отримати математичну модель процесу, яка визначатиме як перебіг у часі, так і його частотні характеристики. Зі структурної схеми видно, що процес може характеризуватися чотирма передатними функціями:

$$W_1(s)=\frac{\delta f(s)}{f_r(s)},\ W_2(s)=\frac{\delta f(s)}{H(s)},W_3(s)=\frac{\delta h(s)}{f_r(s)},\ W_4(s)=\frac{\delta h(s)}{H(s)}. \quad (3)$$

Для прогнозування сталості системи можна скористатися будь якою передатною функцією і провести моделювання у часовому чи частотному просторі. Для моделювання була розроблена прикладна програма, інтерфейс якої показаний на рис.2. Виконувалось моделювання передатної функції

$$W(s)=\frac{\delta h(s)}{h(s)}=\frac{T_{02}^2s^2+T_{12}s+k_2}{T_{03}^4s^4+T_{13}^3s^3+T_{23}^2s^2+T_{33}s+1}, \quad (4)$$

де постійні часу визначались за вихідними даними зі структурної схеми за рівняннями руху системи. Оскільки рівняння руху є неінійними, четвертого порядку з включенням функції запізнюючого аргументу, інтегрування виконувалось чисельними методами за стандартною процедурою Рунге-Кутта 4-го порядку.

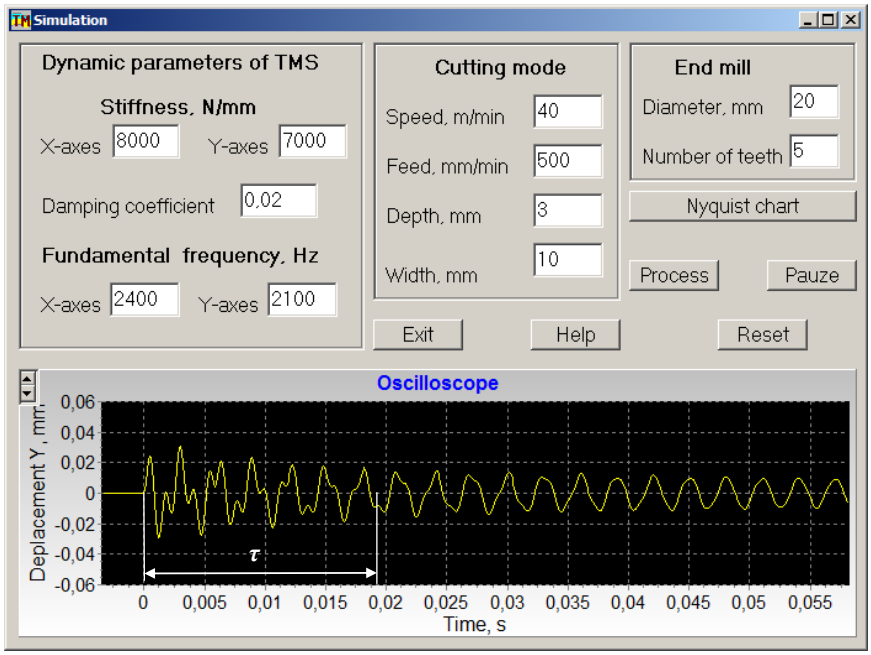


Рис. 2 – Інтерфейс програми моделювання

Для визначення деяких параметрів ТОС і процесу різання були використані процедури, засновані на натурних експериментах, що описані в роботі [4]. В графічному полі віртуального осцилографу можна спостерігати хід процесу у часі: залежність пружного переміщення в напрямку вісі Y (глибина *H* різання) від часу. Можна констатувати відновлення коливань системи після часу, що дорівнює запізненню при обробленні за слідом.

Таким чином, створений інструмент прогнозування сталості ТОС при фрезеруванні кінцевими фрезами, який дозволить правильно обирати режим різання при підготовці управляючої програми для верстату з ЧПК.

Список посилань

1. Altintas Y. Manufacturing automation: metal cutting mechanics, machine tool vibrations, and CNC design // Cambridge University Press, New York, NY 10013-2473, USA 2012, 366p.

2. Caixu YUE, Haining GAO, Xianli LIU, and all A review of chatter vibration research in milling // Chinese Journal of Aeronautics, 2019, 32(2): pp.215–242.

3. Petrakov Y.V. Chatter suppression technologies for metal cutting // Mechanics and Advanced Technologies #2 (86), 2019, pp.51-60.

4. Petrakov Y., Danylchenko M., Petryshyn A. Prediction of chatter stability in turning // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies #5/1 (101) 2019, pp.58-64.

УДК 621.941

Верба І.І., канд. техн. наук, доцент
Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», verba.dan@gmail.com

ВІДНОВЛЕННЯ МАШИНОБУДУВАННЯ – ОСНОВА НЕЗАЛЕЖНОСТІ КРАЇНИ

Війна ще не закінчилась, але перший стрес минув і ми розуміємо, що якось треба жити далі, та не просто жити, а піднімати з руїн Україну. Ми чуємо звідусіль, що відбудуємо рідну Україну й вона стане ще кращою, ніж була, і жити у ній будуть щасливі люди. Хтось заперечує чи сумнівається? Звісно, що ні. Але ж це слова, за якими стоїть сила-силенна роботи. І у виконанні цієї роботи будуть широко задіяні інженери різного спрямування, зокрема й інженери-механіки, конструктори в галузі машинобудування.

Деіндустріалізація України, яка тривала не один рік і призвела, зокрема, й до занепаду підприємств Міноборони, які не мали державних замовлень, ставить задачу не лише відновлення певних підприємств, які зазнали руйнування, а фактично заново створення машинобудівної промисловості. Скільки в нас було невеликих підприємств, які мали у своєму складі спеціалістів, здійснювали цікаві розробки на основі досвіду власного підприємства, просували свою продукцію на світовий ринок, але в багатьох випадках до пуття розробки не доводились, хоча б тому, що не отримували зацікавленої підтримки. Ну вже вийшло, як вийшло. Перед фахівцями стоїть задача відновити машинобудування і не в останню чергу верстатобудування, бо, як відомо, виробництво засобів виробництва – умова незалежності країни і це аксіома. Ця галузь є порівняно невеликою за обсягами випуску продукції: в більшості розвинених країн створюється менше 1% ВВП, але верстатобудування в значній мірі визначає технологічний рівень всієї економіки країни і, в свою чергу, стан технологічної незалежності країни

Які шляхи ми бачимо? Навіть дуже побіжний аналіз їх показує

1. Використання певного обладнання, яке лишилось з радянських часів: бажано з відповідним осучасненням типу встановлення регульованих приводів, систем ЧПК, загалом підвищення показників працездатності.

2. Ефективне використання сучасних верстатів, які були на підприємствах і, на щастя, не постраждали.

3. Купівля нових верстатів, спроби використати технології, які лишились у спадок від СРСР і досі не втратили значення (наприклад, в авіакосмічній галузі) і приваблюють інвесторів.

І чи не найважливіше – це питання організації та управління виробництва.

Будь-яка із вказаних задач для вирішення повинна спиратися на фахівців, в тому числі на наших випускників. І ця ситуація не буде короткочасною. На що треба звернути увагу ЗВО, як на мій погляд? Звісно, я кажу спираючись на реалії Києва, в якому мало лишилося машинобудівних підприємств. Це перш за все практичний досвід, який повинен з’явитися у випускника на час закінчення навчання. Лабораторна база кафедр в багатьох випадках незадовільна. І це пов’язане не з неорганізованістю працівників чи браком коштів і відсутністю допомоги з боку зацікавлених підприємств. В багатьох випадках повинен впроваджуватись інший підхід: кафедрі, пов’язаній з верстатобудуванням, треба мати окремі вузли, макети чи настільні верстати. Важко обґрунтувати наявність сучасного верстата, на якому не виконуються ніякі практичні роботи. Реальні верстати студент повинен бачити та вивчати під час практики. Практика лишилась лише переддипломна, цього явно замало.

Виходом з ситуації була б дуальна освіта. Але її запровадження має багато проблемних моментів. Зокрема, коли навчаються 1-2 групи студентів з окремим розкладом, орієнтовані лише на 1-2 підприємства. В ідеалі було б готувати фахівців буквально індивідуально за заявкою підприємства, але яким чином це організувати практично наразі невідомо. Інакше випускник буде мати лише теоретичні знання.

СЕКЦІЯ 1.
ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ТА СИСТЕМИ МАШИНОБУДІВНОГО ВИРОБНИЦТВА

УДК 621.91

Khavin G., Doctor of science, Professor
Hou Zhiwen, post graduate student
National Technical University «KhPI», gennadii.khavin@gmail.com

LAW OF ABRASIVE INSTRUMENT WEAR WHEN CUTTING POLYMER COMPOSITES

Like any physical process, wear in the contact of the tool tip - polymer composite material, must obey some law (wear law), which describes the time of the material removal and can predict the tool performance (tool life). Numerous theoretical and experimental studies show that the rate of wear depends on various factors in the process of interaction. These include the physical and chemical properties of interacting bodies materials, the roughness of their surfaces, the presence of oil, the load-speed regime, temperature and composition of the environment, and others. All these factors, to some extent, must be taken into account in the law of wear, a detailed description of which can be found in publications.

In the proposed study, an attempt is made to justify the need to use a special formulation of the wear law in contact of the tool tip with polymer composite, which allows to take into account the specifics of contact interaction, hereditary abrasive wear and change the tool shape.

Assume that the wear in contact of the tool tip with the polymer composite is abrasive, i.e. the harder material is removed by cutting or splitting another, less hard. This assumption has been confirmed by numerous experimental studies by many authors. For a complete analytical representation of the abrasive wear law, we take it as the rate of the volume change of the tool tip material over time (density is considered constant)

$$\frac{dv(t)}{dt} = K_{wear} \cdot \frac{\mu \cdot F_n}{[\tau_{sh}]} \cdot \frac{HV_{fill}}{HV_{tool}} \cdot V \cdot e^{-\frac{Q}{R \cdot T}}, \qquad (1)$$

where dv/dt – the rate of the material volume removal of the tool tip, m^3/c, F_n – the normal component of the cutting force in contact, N; μ – friction coefficient in contact; $[\tau_{sh}]$ – allowable shear stress of the filler material, N/m^2; HV_{fill}, HV_{tool} – the hardness of the filler material (reinforcing element) and the material of the cutting tool, N/m^2; V – relative sliding speed (tool tip movement), m/c; Q – activation energy, J / mol; R – universal gas constant, J/(mol·°C); T – temperature in the cutting zone, °K; t – time, c; K_{wear} – volume wear coefficient, which determines the shape and intensity of tool surface wear over time.

In the presented ratio, preference is given directly to the time parameter, and not to any other parameter, such as the number of drilled holes. This is a more general approach, which takes into account the time of the tool, regardless of the operation type and the quantitative equivalent of each operation it performs.

The force F_n, the normal component of the integral force that takes place on the flank tool. It is a function of the technological parameters: feed; spindle speed; depth of cut; tool constructive execution; the amount of filler; accumulated wear and the mutual location of the processing direction and the direction of composite reinforcement. Currently, a lot of experimental data has been accumulated on the cutting forces empirical determination of composites and analytical models that allow to calculate this force. Therefore, in the general case, this force nonlinearly depends on the tool operating time due to changing geometric parameters of the tool due to its wear and changes in technological parameters of the product over time.

UDK 621.9.02

Radzevich, S.P., Doctor of science, Professor
EATON Corp., radzevich@usa.com

THE MAIN PERIODS OF EVOLUTION OF THE CONJUGATE ACTION LAW: IN PARALLEL-AXES GEARING

Three fundamental laws of gearing are distinguished in the modern theory of gearing. They are listed immediately below [3]:

1. *The Law of Contact* between interacting tooth flanks: The first fundamental law of gearing.
2. *Epy Conjugate Action Law* between interacting tooth flanks: The second fundamental law of gearing.
3. *The Law of Equal Base Pitches*: The third fundamental law of gearing.

The set of fundamental laws of gearing is also relevant to the field of gear cutting tool design [4], especially to design of generating gear cutting tools: hobs, shapers, shavers, and so forth.

All three fundamental laws of gearing are of critical importance for the theory of gearing, as following to them makes possible designing geometrically-accurate gears for quiet gears that feature the highest possible power-density.

Below, in this text, the readers' attention is focused mainly on the main periods of evolution of the conjugate action law in parallel-axes gearing.

An *equivalent pulley-and-belt transmission* (Fig. 1) can be used to transmit smoothly a uniform rotation from a driving shaft to a driven shaft. If we are about to replace the *equivalent pulley-and-belt transmission* with a gear pair, the gear tooth profiles have to be designed so, as to ensure a straight motion of contact point along the line of action. Under such a scenario, the *gear pair* and the *pulley-and-belt transmission* become equivalent to one another (except of the direction of rotation – the direction of the rotation turns to the opposite).

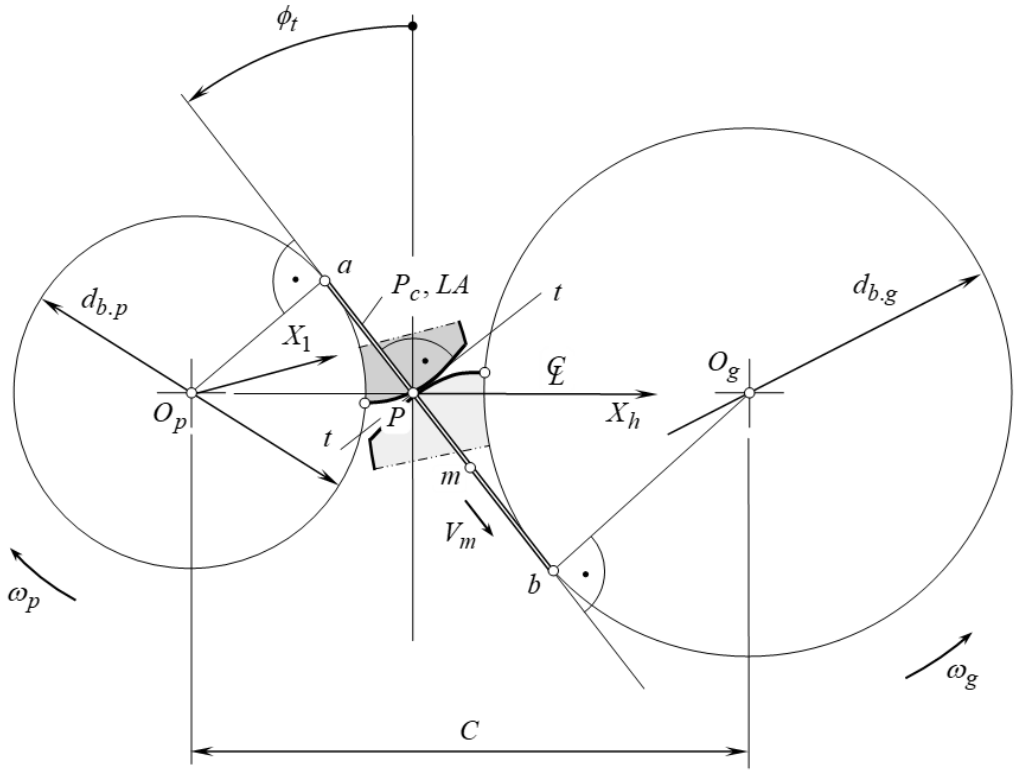


Fig. 1. – Second fundamental law of gearing (conjugate action law): Generation of natural form of a gear tooth profile in geometrically-accurate parallel-axes gearing.

Three main periods of evolution of the conjugate action law in parallel-axes gearing are recognized here. They are as follows:

1. *Pre-Eulerian period* of evolution of the conjugate action law
2. The period of evolution when the *Conjugate Action Law* was discovered, and has been understood in details
3. *Post-Eulerian period* of evolution of the conjugate action law

In the *pre-Eulerian period*, the names of *Girard Desargus* (1591-1661), *Philippe de La Hire* (1640-1718), and *Charles Camus* (1699-1768) deserve to be mentioned. However, only research undertaken by *Camus* is of importance in this regard. Despite of *Camus* was close to discover the conjugate action law, he failed to make the final, but very important step: *Camus* didn't differentiate between the line of action in a gear pair, and between the path of contact.

Leonhard Euler (1707-1783) was the first to realize the importance of the conjugate action law. The research by *Euler* is published in his two famous papers [1], [2]. A few decades later, *Felix Savary* (1797-1841) came up with the equivalent results of the research. These results were represented in a form that is close to what we know now about the conjugate action law in parallel-axes gearing.

Taking into account the contribution by *Camus*, *Euler*, and by *Savary*, the conjugate action law is often referred to as *Camus-Euler-Savary fundamental law of parallel-axes gearing* (or just *CES fundamental law of parallel-axes gearing*).

Later on, in his 1842 book, *Theodore Olivier* (1793-1853) determined tooth profiles of a gear and of a mating pinion using for this purpose the envelope condition. This is a huge mistake [5] that later was committed one more time by *Ch. Gochman* (1851-1916), who used analytical methods of analysis.

A famous mechanician and scientist *Franz Reuleaux* (1829-1905) is credited with the development of the so-called *method of common perpendiculars*. The proposed method is correct when no rolling motion is observed, and is incorrect when rolling motion is present. Therefore, the proposed by *Reuleaux* method is not applicable to gears and gearing.

Professor *V.A. Shishkov* contributed a lot to the *method of common perpendiculars*. Unfortunately, he also recommended to use this method in cases when rolling motion occurs. Therefore, the results obtained by *Shishkov* are incorrect, and are not applicable to gears and gearing.

No gears with non-involute tooth profile (cycloid gears, straight-sided splines, gears for *Novikov*/conformal/high-conformal gear pairs, and so forth) can be properly designed, and manufactured if the conjugate action law is ignored. It is wrong practice to replace the conjugate action law by the condition of contact of two smooth regular surfaces (that is, by the *Shishkov equation of contact*, $\mathbf{n}_g \cdot \mathbf{V}_\Sigma = 0$).

References

1. Euler, L., "De Aptissima Figura Rotarum Dentibus Tribuenda", 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]

2. Euler, L., "Supplementum. De Figura Dentium Rotarum". *Novi Commentarii adacemiae Petropolitanae* 11, 1767, pp. 207-231. (E330, *Opera omnia*, 17, pages 196-219). [1762/65; pp. 299–317].

3. Radzevich, S.P., *Theory of Gearing: Kinematics, Geometry, and Synthesis*, 2nd Edition, revised and expanded, *CRC* Press, Boca Raton, FL, 2018, 934 pages.

4. Radzevich, S.P., *Gear Cutting Tools*: *Science and Engineering*, 2nd Edition, CRC Press, Boca Raton, FL, 2017, 606 pages.

5. Радзевич С.П., "Новый результат в классической теории огибающих кривых и поверхностей", *Вестник научно-технического развития*, №8(156), 2020, с. 12-21, www.vntr.ru.

UDC 539.391.4:622.673

Karyachenko N., Ph.D., Associate Professor,
Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, natalik9189@gmail.com
Ropay V., Doctor of Engineering, Professor,
Dnipro State Technical University, kaf.mech127@gmail.com

DERIVATION OF THE RESOLVING SYSTEM OF EQUATIONS FOR FLAT BENDING OF A ROD WITH VARIABLE BENDING STIFFNESS

The theory of the stress-strain state of a rectilinear plumb line of a round rope, taking into account the interaction between its wires, was developed by prof. Glushko M.F. [1]. This theory was applied to plumb lines of round balancing ropes in [2]. At the bottom of the shaft, two plumb lines of the balancing rope bend substantially under their own weight, forming a pear-shaped loop. Tension devices for the rope in this part of the shaft, where groundwater flows, turned out to be inoperative. Plumbs of round ropes are delimited by wooden log cabins up to 10 m high to prevent overlapping (entanglement) of plumb lines of adjacent ropes due to their significant torsional deformations. Due to the large torsional deformations of round ropes, their wires in one section are loaded very unevenly [2]. During the operation of the lifting machine, the ropes saw through the demarcation logs, the zinc protective coating of the wires of the rope is broken, this is also facilitated by the displacement of the wires due to significant deformations of the torsion of the ropes, so their service life does not exceed 3 years, despite the fact that they are loaded only by their own weight.

Flat metal and rubber ropes do not require delimiting devices in the loop. In practice, the operation of the ropes, it was found that the size and shape of the rope loop depends on the parameters of the rope: its flexural rigidity and linear weight. The works [2-3] are devoted to the calculation of the shape of the loop of balancing ropes, where the differential geometric Frenet dependencies are not taken into account, which, together with the equations of static equilibrium, constitute a complete system of differential equations for the statics of flexible rods.

In accordance with [4-5], a resolving system of six non-linear differential equilibrium equations for a planar bending of a rod is obtained below, which can be used to analyze the deformations of balancing mine ropes.

We will assume that a curvilinear rod, the dimensions of which are very small in comparison with the length and radius of curvature of its axial line, under the action of external forces, takes a shape that differs significantly from the original one. In this case, however, the rod material works only in the elastic stage, and the length of its elastic line passing through the centers of gravity of the cross-sectional areas remains unchanged.

References

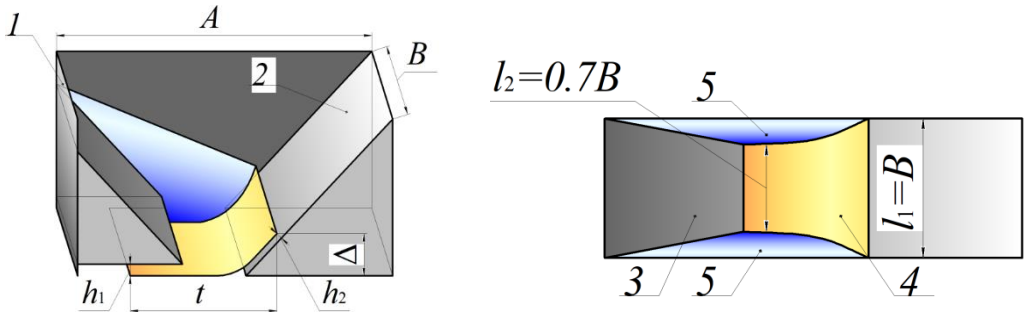
1. Glushko M.F. Steel hoisting ropes / Glushko M.F. – K.: Technique. –1996. – 327 p.
2. Dvornikov V.I. Geometry of the static form of balance balancing ropes // Hoisting and transport equipment / Dvornikov V.I., Fomicheva L.Ya. – K.: Technique, 1977. Issue 8. – P.43–47.
3. Terletsky I.V. Method for determining the largest size of the plumb loop of a balancing rope / Terletsky I.V. – Mining electromechanics and automation, 1965. No. 3. – P.101–106.
4. Popov E.P. Nonlinear problems of statics of thin rods / Popov E.P. – M.: OGIZ, 1948. – 170 p.
5. Gulyaev V.I. Elastic oscillations, stability and oscillations of flexible curvilinear rods / Gulyaev V.I., Gaidaichuk V.V., Koshkin V.L. – K.: Scientific thought, 1992. – 340 p.

UDC 621.21

Kornienko Y. M., Doctor of Engineering, professor
Haidai S.S., PhD, Senior Lecturer
Yevziutin P.Y., Student
Sameliuk O.V., Student
National technical university of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic institute»,
ssgaidai@gmail.com

EVALUATION OF HYDRODYNAMICS QUALITY IN THE USE OF GAS DISTRIBUTION DEVICES FOR NON-UNIFORM FLUIDIZATION

Intensification of transfer processes during dehydration and granulation processes of liquid multicomponent systems containing components of mineral and organic origin using the fluidization technique significantly depends on the method of interaction of gas coolant and granular material. This is especially true when obtaining granular humic organic-mineral fertilizers in a fluidized bed [1-5]. In these works is established that intensification of processes of heat and mass transfer at granulation of liquid heterogeneous systems can be reached at realization of a jet-pulsation mode of fluidization to the auto-oscillating mode [2-5] due to the special design of the gas distribution device (GDD), Figure 1 [5] without the use of mechanical pulsators.



1 – the case of the device; 2 – right grate; 3 – left grate; 4 – horizontal surface of the working plate of GDD; 5 – narrowing inserts

Fig. 1 – Construction of GDD of slit type [5].

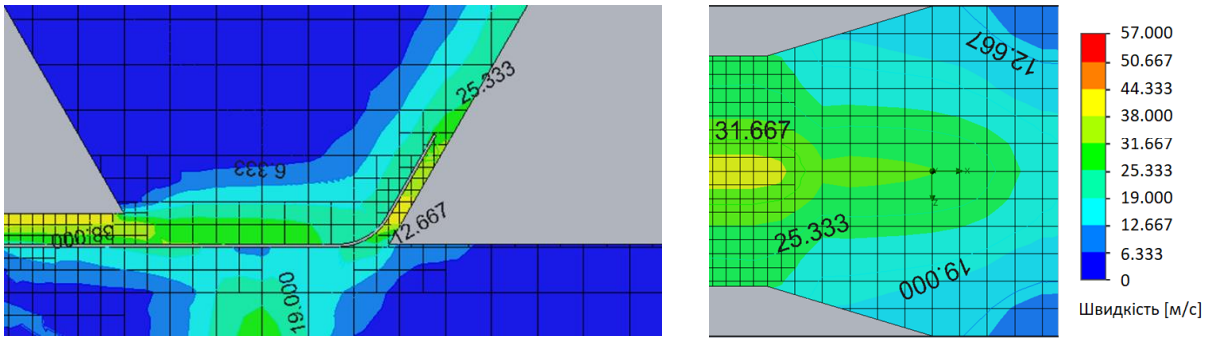
According to the results of studies of the granulation process [5] was found that on the surface of the working plate 4, Fig. 1, there are areas located near the side vertical walls of GDD 5, Figure 1, in which the gas velocity is less than 25 m/s. In these zones the risk of formation of stagnant zones with the subsequent melting of material considerably increases that will lead to a stop of the process of granulation and will limit driving force of process on temperature.

To determine the influence of the cross-sectional coefficient on the creation of zones on the surface of the working plate of GDD with a speed of at least 25 m/s, were performed simulations in the *SolidWorks 2022 SP2*.

Assessment of the quality of hydrodynamics on the horizontal surface of GDD was performed on the index of hydrodynamic activity – i_{ha} – the ratio of the area in which the gas velocity exceeds 25 m/s to the total area of the horizontal part of the working plate of the GDD – F_{total}, m^2:

$$i_{ha} = F_{25}/F_{total}, \quad (1)$$

The simulation study is presented in the form of the velocity field of the liquefying agent, fig. 2, according to the results of [5], in which non-uniform jet-pulsating fluidization was achieved (V_{gas}=0.043 m^3/s, ΔP=4 kPa).



***a*)** vertical plane ***b*)** horizontal plane

Fig. 2 – Speed fields for GDD with narrowing inserts (ΔP=4 kPa; V_{gas}=0.043 m^3/s)

In Table 1 are shown the results of virtual studies in the form of the index of hydrodynamic activity i_{ha} – the ratio of the area where gas velocity exceeds 25 m/s to the total area of the horizontal part of the working plate of the GDD. The area was measured using a dimensional grid as shown in Figure 2 with an accuracy of 2 mm.

Table 1 – The results of determining of the index of hydrodynamic activity i_{ha}

Type of GDD	φ, %		
	3.0	3.5	4.0
	Index of hydrodynamic activity $i_{ha}=F_{25}/F_{all}$		
Without narrowing inserts	0.92	0.87	0.67
With narrowing inserts	0.97	0.9	0.76

The dependence obtained by the simulation results shows that with a decrease in the parameter φ from 4.0 to 3.0%, the difference in the hydrodynamic activity index for the two types of GDD almost disappears, Table 1. These results can be used in the design of slit-type GDD for industrial equipment. In addition, reducing the cross-sectional coefficient of GDD will lead to an increase in hydraulic GDD resistance. It should also be taken to account that the modeling of hydrodynamics was made without taking into account the presence of solid granular particles in the granulator chamber and, accordingly, near the surface of the working plate of the GDD with slit-type. The final verification of these results will be performed at the laboratory stand.

References

1. Kornienko Y. Kinetic laws of the process of obtaining complex humic-organic-mineral fertilizers in the fluidized bed granulator / Y. Kornienko, S. Hayday, A. Liubeka, O. Martynyuk // Ukrainian Food Journal. – 2016. – Vol. 5. – Issue 1. – PP. 144-154.

2. KornienkoY. Non-uniform fluidization in auto-oscillating mode / Y. Kornienko, S. Haidai // Ukrainian Food Journal. – 2017. – Vol. 6. – Issue 3. – PP. 562-576.

3. Korniyenko Y. Modelling of pulsating mode of fluidization when obtaining organic-mineral fertilizers / Y. Korniyenko, S. Haidai, A. Liubeka, S. Turko, O. Martynyuk // Ukrainian Food Journal. – 2016. – Vol. 5. – Issue 4. – PP. 781-794.

4. Kornienko Y. M. Increasing of the Heat and Mass Transfer Processes Efficiency with the Application of Non-Uniform Fluidization / Kornienko Y. M., Haidai S. S., Sachok R. V., Liubeka A. M. and Kornienko B. Y. // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – APRIL 2020. – №7. – Vol. 15. – PP. 890-900.

5. Гайдай С. С. Гідродинаміка у грануляторах із псевдозрідженим шаром при одержанні органо-мінеральних добрив. – Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. – КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2018. – 253 С. (https://ela.kpi.ua/handle/123456789/25455).

UDC 621.372.82

Tryshyn P., senior lecturer
Honchar N., PhD, associate professor
Stepanova A., student
National University 'Zaporizhzhia Polytechnic', trishin87@gmail.com

WAYS TO IMPROVE THE OPERATING CHARACTERISTICS OF RADAR SYSTEMS

Radar systems to air-cover critical and military infrastructure are used widely in the world armies. The main systems are mobile radar stations (radars). For most radars, the maximum target detection range with an effective scattering area of 3…5 m^2 (for example fighter) does not exceed 200…250 km, taking into account the target speed of 0.8…1.8 Mach. Sometimes, it does not provide enough time to be hit by air defenses.

The radar range is affected by several factors. First, it is the power of the electromagnetic wave transmitter. Assuming that all factors (other than transmitter power) are constant, then it is possible to determine from the radar equation [1] that to increase the radar distance by 20% it is necessary to double the transmitter power. Now this is virtually impossible for mobile radars due to the lack of high-power transmitters that are small in size and consume little electricity.

Another factor that also affects the output power is the losses in the waveguide path, which can reach up to 1 dB per transmission and up to 3 dB per reception [2]. Thus, when the loss increases from 0.5 dB to 1 dB, the power on the transmitter decreases from 12% to 26% [3]. Power losses in the waveguide path are caused by the presence of high surface roughness of the channel and surface defects. These shortcomings must be eliminated by finishing, but they may exceed the permissible values due to the presence of hard-to-reach places in the channel of the waveguides and the use of imperfect processing methods.

The main way to reduce losses in the waveguide path is to reduce the surface roughness of the channel with the finishing. The use of modern methods of processing hard-to-reach places in the channel of waveguides by polishing with polymer-abrasive brush tools (PABT) allows to ensure the required surface quality and properties of the surface layer of the channel [4]. Finishing with these tools allows you to reduce costs, solve the problem of production automation and it is practically feasible.

It was found [5] that the values of the attenuation coefficient were 1.3...2.7 times lower when processing with PABT due to the high quality of the surface compared to other types of tools. Also, the processing with PABT provides minimal additional local hardening and optimal electrical parameters of the surface layer of the waveguide walls.

List of references

1. Uravneniye radiolokatsii na praktike [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.radartutorial.eu/01.basics/rb14.ru.html. – (date of access: 11.04.2022). – Screen name.

2. Osnovy postroeniya radiolokacionnyh stancij: uchebnik / [Tyapkin V.N., Fomin A.N., Garin E.N. i dr.] ; pod obshch. red. V.N. Tyapkina. – Krasnoyarsk : Sib. feder. un-t, 2016, 536 p.

3. Decibel [Electronic resource]. – Mode of access: https://uk.wikipedia.org/ wiki/%D0%94%D0%B5%D1%86%D0%B8%D0%B1%D0%B5%D0%BB (date of access: 11.04.2022). – Screen name.

4. Honchar N., Tryshyn P., Stepanov D., Khavkina O. Effect of abrasive finishing on the electrical parameters of S-band rectangular waveguides [Electronic resource] / N. Honchar, P. Tryshyn, D. Stepanov, O. Khavkina // Advances in design, simulation and manufacturing IV. DSMIE 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering. – 2021. – № 2. – pp. 395-404. – Mode of access: https://doi.org/ 10.1007/978-3-030-77719-7_39. – (date of access: 11.04.2022). – Screen name.

5. Tryshyn P.R. Udoskonalennia finishnoho obroblennia kanalu kutovykh khvylevodiv za dopomohoiu poliruvannia polimerno-abrazyvnymy shchitkovymy instrumentamy : dys. … dok-ra filosofii : 133 / Tryshyn Pavlo Romanovich ; – NTU «KhPI». – Kharkiv, 2022. – 201 p.

УДК 621.941-229.3:531.133

Кузнєцов Ю.М., докт. техн. наук, професор
Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», info@zmok.kiev.ua

ЕВОЛЮЦІЯ І МОДЕЛЮВАННЯ ШПИНДЕЛЬНИХ ВУЗЛІВ МОДУЛЬНОГО КОМПОНУВАННЯ

Для забезпечення високошвидкісної, високопродуктивної і прецизійної обробки деталей [2, 6] на верстатах з ЧПК в останній час широко розповсюджені електромеханічні приводи головного руху типу мотор-шпиндель (М-Ш) [3, 7, 9, 10], де шпинделем є ротор з опорами, які мають повітряне або рідинне охолодження. Існуючі М-Ш забезпечують тільки обертання для здійснення головного руху, а для поступального переміщення по керованій координаті використовують додаткові приводи, неспіввісні з віссю шпинделя, це обмежує їх функціональні можливості. Прототипом для М-Ш стали несамодіючі і самодіючі силові головки агрегатних верстатів.

Використання несамодіючих М-Ш скоротило кінематичні ланцюги, знизило габарити приводу головного руху і дозволило забезпечити частоти обертання в токарних верстатах до n=10-20 тис. об/хв, а в свердлильно-фрезерних і шліфувальних до n=100-200 тис. об/хв і вище. Тому їх почали широко застосовувати як модулі в верстатах різного призначення, в т. ч. на верстатах з механізмами паралельної структури і токарних багатошпиндельних автоматах з ЧПК [2, 6].

За останні роки отримано десятки патентів на винаходи і корисні моделі, а також розроблена технічна документація і виготовлений дослідний зразок самодіючого М-Ш (рис.1) по результатам теоретичних, експериментальних і пошукових робіт, які проводяться в КПІ ім. Ігоря Сікорського на кафедрі конструювання машин в співдружності з кафедрою електромеханіки, що свідчить про ефективність міждисциплінарного підходу [10].

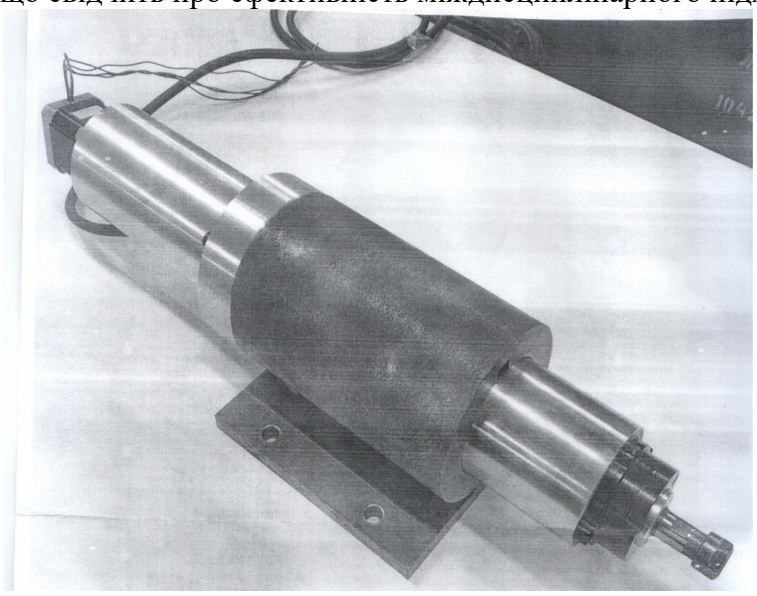


Рис.1 – Дослідний зразок самодіючого мотор-шпинделя, що містить три співвісних модуля: головного руху, повздовжньої подачі, затискного механізму

Об’єднання двох приводів в один співвісний блок для виконання М-Ш самодіючим суттєво знижує габарити і металоємність, виключає напрямні і перекоси від додаткових моментів, підвищує швидкості і прискорення.

Подальше удосконалення, розробка методів проектування і пошук нових рішень гібридних інтелектуальних самодіючих М-Ш типу Smart Spindle [4, 5] вимагають додаткових глибоких досліджень складних гібридних систем, що розвиваються в часі [8].

Одним із напрямків таких досліджень з моделюваннями може бути використання трирівневих діаграма Венна і чотирирівневих діаграм Венна-Ейлера [1], де складовими є: головний рух-оберти шпинделя ***n,*** привод повздовжньої подачі ***s,*** затискний механізм, який забезпечує радіальну силу затиску об'єкту (деталі, інструменту) ***F,*** система управління ***U*** для інтелектуалізації процесу роботи М-Ш.

Впровадження М-Ш з різним рівнем функціональних можливостей і інтелектуалізації на верстатах і технологічному обладнанні нового покоління різного призначення, їх теоретичні і експериментальні дослідження визначають актуальність наукового напрямку і необхідність конвергенції знань з використанням нано-біо-інфо-когно-соціо-еко (НБІКСЕ)-технологій.

Список посилань

1. Зюзьков В.М. Математическая логика и теория алгоритмов: учебное пособие / В.М. Зюзьков. – Томск: Эль Контент, 2015. - 236 с.

2. Будущее станкостроения-сердцевины машиностроения / Ю.Н. Кузнецов // Журнал «Вестник БРУ, рубрика машиностроения». – 2017. – №2 (55). – с.25-35.

3. Синтез шпиндельних вузлів на базі мотор-шпинделів з використанням системно-морфологічного підходу/ К.О. Олійник // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. – 2020. – Випуск 5-6(124-125). – С.133-138.

4. Hongrui Caoa. The concept and progress of intelligent spindles / Hongrui Caoa, Xingwu Zhanga, Xuefeng Chenb // International Journal of Machine Tools & Manufacture 112 (2017), – p.p. 21–52.

5. Jeremi Wojcicki, Giacomo Bianchi. A Smart Spindle Component concept as a standalone measurement system for Industry 4.0 Machine Tools. // Міжнародний семінар IEEE з метрології для промисловості 4.0 та Інтернету речей, Рим, Італія, 3-5 червня 2020 р.

6. Kuznietsov Y. Genetic modeling and structural synthesis of CNC multi-spindle automatic machines of new generation / Kuznietsov Y., Gaidaienko Iu. // International scientific journal "Industry 4.0", issue 3/2018. – p.p. 115-119.

7.Olejnik K. Modulowe podejscie do projektowania frezarek stolowych sterowanych numerycznie / J. Kuzniecow, A. Stepanenko// Kwartalnik 19 zeszyty naukowe politechniki Rzeszowskiej (Mechanika), Rzeszów (Polska). – 2012. – № 84. – С. 51–60.

8. Lunze J. What is a Hybrid System? Modeling? Analysis and Design of Hybrid Systems. Book series, volume 279. Shpringer 2002. – p.p. 3-14.

9. Oliinyk K.O. Operability analysis of spindle-motor hybrid electromechanical systems / Oliinyk K.O. //Mech. Adv. Technol. Vol.5. – No.1. – 2021. – p.p. 89-96.

10. Shinkarenko V. The operability analysis of spindle-motor hybrid electromechanical systems/ Y. Kuznietsov, V. Shinkarenko, I. Gaidaienko, K. Oliinyk / 13 th Anniversary International scientific Conference «Unitech'13», 22 – 23 November 2013. Gabrovo, Bulgaria. Vol. III, 2013. – p.p. 268 – 272.

УДК 669.14.018.2:622.24.051.

Яким Р. С., докт. техн. наук, професор,
Дрогобицький державний педагогічний університет ім. І. Франка, м. Дрогобич
Петрина Д. Ю., докт. техн. наук, професор
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, pepperiko@ukr.net

ЗВ'ЯЗОК МІЖ ГЛИБИНОЮ ЦЕМЕНТАЦІЇ ТА ПРОЦЕНТНИМ ВМІСТОМ ВУГЛЕЦЮ ТРИШАРОШКОВИХ БУРОВИХ ДОЛІТ

Тришарошкові бурові долота мають доволі складну конструкцію яка включає з'єднані зварюванням три секції, кожна з яких включає лапу з опорою на якій змонтовано шарошку. Довговічність опори головно залежить від зносостійкості, контактної витривалості спряжених елементів, а також якості охолодження й очищення під час буріння. Цементація робочих поверхонь бурових доліт забезпечує хороші характеристики поверхневої міцності та зносостійкості, проте може суттєво підвищити крихкість та погіршити контактну

витривалість робочих та спряжених поверхонь. Одним з методів є підвищенні пластичності сталі у ділянках вінців шарошки, зокрема забезпеченням захисту цих ділянок від цементації.

Для попередження внутрішнього окислення в камеру цементаційної печі на кінцевому етапі насичення уводять аміак. Азот, розчиняючись в аустеніті, підвищує його стійкість, при цьому частково компенсуються проблеми через внутрішнє окислення хрому і марганцю в сталі. Такий підхід дає змогу добитись досить непоганих результатів у попередженні крихкого руйнування шарошок. Тут також важливим є встановлення раціональних параметрів термообробки.

Досліджувані шарошки виготовлені зі сталі 14ХН3МА-В згідно діючих ТУ14-550-51-2004. Також їхній склад задовольняє вимоги обумовлені в ГОСТ 18895-97. Зауважимо, що розсіювання хімічних елементів має типовий характер для плавок цієї сталі виготовлених за вказаними технічними умовами.

Для формування сприятливого розподілу фізико-механічних показників долотних сталей та підвищення в'язкості серцевини й попередження крихкого руйнування освоєно технологію цементації з підстуджуванням, яка описана в [6]. Оскільки в цьому напрямку вдалося отримати позитивні результати [5, 6], продовжено дослідження. При цьому особливу увагу зосереджено на пошуку тих параметрів другого гартування та відпуску долотної сталі, що забезпечують підвищення опірності заповільненому крихкому руйнуванню.

Досліджували п'ять партій зразків, які піддавали таким стадіям термообробки: на першій була цементація при 960°С й підстуджування до 870°С і гартування в оливу з цієї температури, високий відпуск з 630 – 650°С, друге нагрівання, витримка й гартування з 760 – 820°С в оливу. Кінцевим був низький відпуск з 170 – 200°С на повітрі.

Для формування різних параметрів процесів термообробки змінювали час насичення й витримки при термічних процесах. Базовими були такі параметри: час цементації 500°хв., час на високий відпуск 280°хв., час на друге гартування 120°хв., час на низький відпуск 120°хв.

За результатами експериментів отримали різний характер розподілу концентрації вуглецю (рис. 1) та твердості в загартованому цементованому шарі. Практично в усіх випадках вдалося отримати значення поверхневої твердості цементованого шару у вигляді так званої «полички», коли твердість не знижується практично майже до половини глибини цементованого шару, де також фіксуються сталі значення. При цьому утворюється загальна сприятлива картина розподілу твердості від поверхні до серцевини. Зважаючи на досвід термообробки долотних сталей та отримані раніше дані це дає підстави очікувати від деталей, зміцнених до таких показників, високі експлуатаційні показники.

Застосування стандартних параметрів хіміко-термічного зміцнення (цементація, перше гартування, друге гартування, низький відпуск), дає завищені показники твердості в небезпечних перерізах шарошок, що недопустимо. Встановлений характер розподілу твердості та концентрації вуглецю в загартованому цементованому шарі, а також фізико-механічні показники свідчать про занижені показники в'язкості серцевини шарошок. При цьому порушується основна вимога до долотної сталі щодо плавності зміни фізико-механічних показників від загартованого цементованого шару до серцевини, яка має забезпечувати баланс між високою зносостійкістю робочих поверхонь та міцністю серцевини. Для попередження крихкого руйнування шарошок запропоновано спосіб підвищення в'язкості руйнування шляхом зменшення температури другого гартування 820°С до 760°С. Отримано сприятливий характер розподілу твердості цементованого шару, коли твердість не знижується практично майже до половини глибини цементованого шару, де також фіксуються сталі значення.

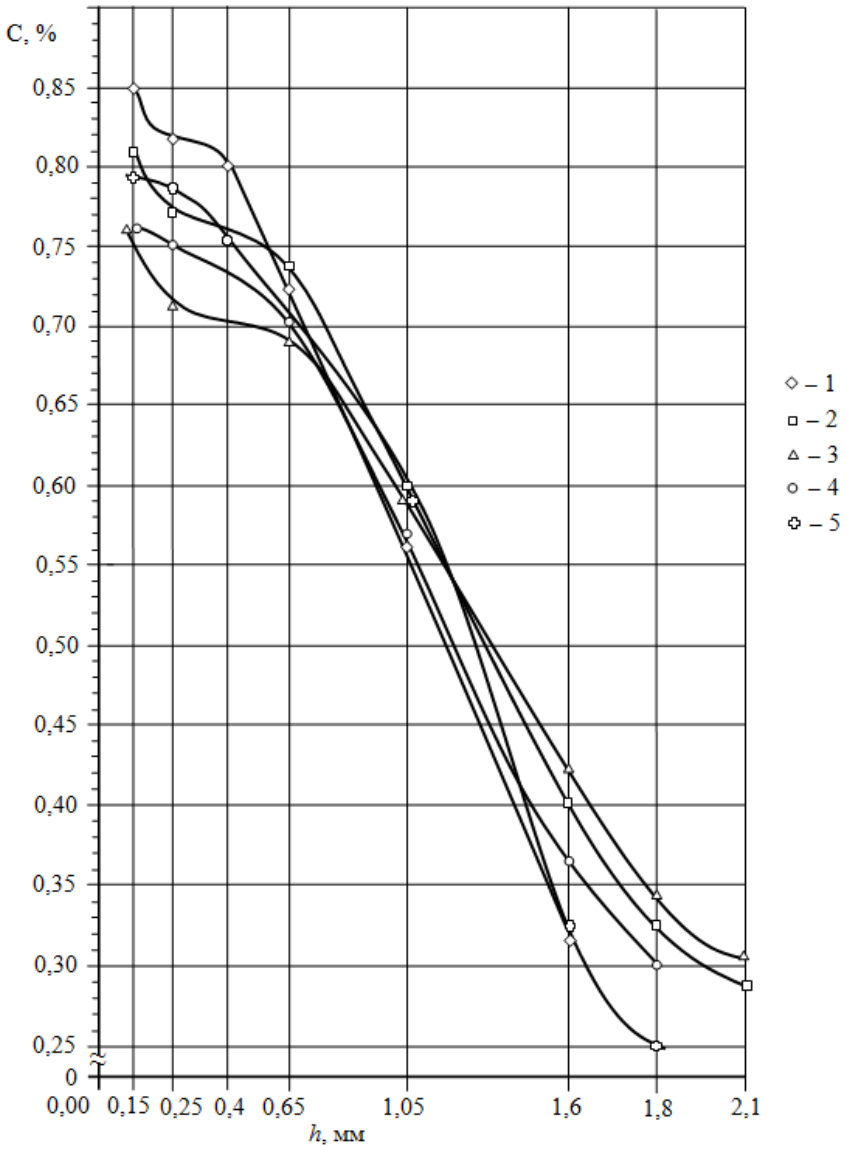


Рис. 1 – Характер розподілу концентрації вуглецю в загартованому цементованому шарі на зразках-свідках які цементовано на різну глибину 1 (1,6 мм), 2 (1,9 мм), 3 (2,0 мм), 4 (1,8 мм), 5 (1,8 мм)

Список посилань

1. Yakym R.S., Prtryna D.Yu. Analysis of Causes and Preventing Ways of Eary Workability Loss of Three-Cone Rock Bit Cutters. *Metallophysics and Advanced Technologies.* Vol. 42, №5, May, 2020. p.731 – 751.

2. Яким Р. С. Підвищення тріщиностійкості шарошок тришарошкових бурових доліт. / Яким Р. С., Петрина Ю. Д., Пасинович Т. Б., Колодій А. Ю. // Машинознавство. – 2010. –№ 1 – 2. С.26 – 30.

3. Yakym R. S., Petryna D. Yu. Increase of durability of three-cone rock bit cutters. *Journal of Hydrocarbon Power Engineering*. 2017, Vol. 4, Issue 2 – P. 49 – 53.

4. Яким Р. С. Аналіз причин раптових руйнувань шарошок тришарошкових бурових доліт зі вставним породоруйнівним оснащенням. / Р. С. Яким**,** Д. Ю. Петрина // Нафтогазова енергетика. – 2019. – № 1(31). – С. 72 – 82.

5. Яким Р. С. Теорія і практика забезпечення якості та експлуатаційних показників цементованих деталей шарошкових бурових доліт: монографія. / Р. С. Яким**,** Д. Ю. Петрина. – Івано-Франківськ: Видавництво ІФНТУНГ, 2011. – 189 с.

6. Петрина Ю. Д. Розробка науково-прикладних основ підвищення довговічності бурових доліт шляхом раціонального використання матеріалів: дис. ... доктора техн. наук: 05.15.07. – Івано-Франківськ, 1996. – 356 с.

УДК 621.941-229.3:531.133

Охріменко О.А. докт. техн. наук, доцент
Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського»,
alexhobs77@gmail.com
Клочко О.А., докт. техн. наук, професор
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
ukrstanko21@gmail.com
Шуплєцов Д.К., асистент
Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського»,
d.shuplietsov@gmail.com
Скрипник Т.М., директор відділу HAAS
ДП АБПЛАНАЛП Україна, info@abplanalp.ua

ЗАСТОСУВАННЯ EDM ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ЗУБОРІЗНИХ ДОВБАЧІВ

Зуборізні довбачі на даний час є одним із поширених інструментів для обробки зубчастих коліс, особливо при виготовленні вінців внутрішнього зачеплення. Однією з найбільш відповідальної формоутворюючою операцією при виготовленні такого інструменту є виготовлення бічної задньої евольвентної поверхні довбача, від точності виготовлення якої в значній мірі залежить точність самого інструменту. Відповідно до [1] класична технологія виготовлення таких елементів довбачів є наступна чорнове зубофрезерування бічної поверхні довбача, термічна операція, чистове зубошліфування. Ці операції їх точність є одним із визначальних для майбутньої якості та працездатності довбача, що буде виготовлятись. До їх недоліків слід віднести необхідність використання спеціальних пристосувань до зубофрезерного верстату і зубошліфувального, що забезпечують обробку довбача з установою з нахилом його осі до стола верстата, або наявність спеціальних зубошліфувальних верстатів, що значно впливає на вартість виготовлення такого інструменту.

Перспективним напрямком, щодо покращення технології виготовлення зуборізних довбачів є застосування EDM технологій виготовлення (електроерозійна обробка), що дозволяє обробляти матеріали вже в загартованому стані і таким чином можна виключити деякі операції чорної лезвійної обробки та отримувати за одну операцію необхідну точність і шорсткість поверхні, до недоліків таких технологій слід віднести нижчу продуктивність у порівнянні з класичними способами обробки. На даний час зуборізні довбачі виготовляються невеликими партіями тому перехід на EDM технологій при їх виготовленні може бути перспективним.

Основною ідею, що закладена в перехід на використання EDM технологій при виготовленні такого інструменту є те, що задня бічна поверхня зуборізного довбача це лінійчаста евольвентна гвинтова поверхня [2], яка утворена прямою лінією в якості якої може виступати проволочний електрод EDM верстату, що також дасть змогу теоретично-точно обробити задню бічну поверхню довбача, на відміну від класичних методів де за рахунок зміщення осі при обробці закладається певна похибка, яка компенсується збільшення розміру черв'ячного круга при шліфуванні. Для вирішення цієї задачі доцільним є використання 4-х осьових EDM верстатів, що дозволяють змінювати кутове положення електроду відносно осі стола верстату і таким чином імітувати утворення евольвентної гвинтової поверхні, для прикладу можливе використання верстату типу FANUC ROBOCUT α-CiC series [3] (рис.1).

Одним із головних підготовчих розрахунків, що до обробки заданої поверхні є побудова теоретично точної 3d моделі довбача, яка б реалізовувала теоретично-точну задню

поверхню довбача, що необхідно для управляючої програми в CAM системі при розробці керуючої програми ЧПУ.



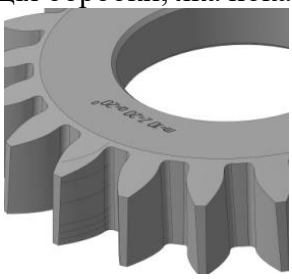
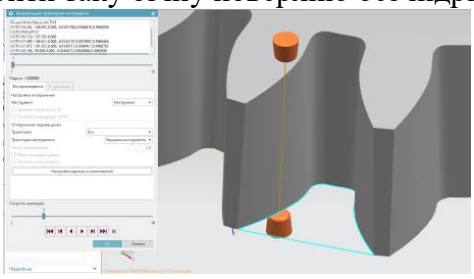

Рис. 1 – FANUC ROBOCUT α-CiC 400[3], лабораторія «HAAS - КПІ»

Використовуючи основні залежності [2, 4] отримали рівняння задньої бічної поверхні зуба довбача:

$$R(u,t)=\begin{pmatrix} -r_b\cos(t+0.5\pi+\delta_{01})-u\cos\lambda_0\sin(t+0.5\pi+\delta_{01}) \\ r_b\sin(t+0.5\pi+\delta_{01})-u\cos\lambda_0\cos(t+0.5\pi+\delta_{01}) \\ p_{Pz0}t-u\sin\lambda_0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

де, u, t – незалежні змінні, що описують бічну поверхню зуборізного довбача; r_b – радіус основного кола довбача; p_{Pz0} – гвинтовий параметр поверхні; λ_0 – кут нахилу твірної до основного циліндра; δ_{01} – постійний кут, що відповідає за симетричне положення поверхні відносно западини зуба [2, 4].

Відповідно до запропонованих залежностей для зменшення часу на підготовку 3D моделей було розроблено програмне забезпечення в середовищі Scilab, що автоматично розраховує координати точок повного профілю поверхні і записує його певним чином у файл, який використовується найбільш розповсюдженими системами CAD типу SolidWorks, NX Siemens, Catia, та інші, і за командою «побудова поверхні по точкам» автоматично будується поверхня повного профілю западини такого інструменту (рис.2, а). Для перевірки дана модель була завантажена в CAM програму (рис.2, б) де була проведена симуляція обробки, яка показала що можна обробити таку бічну поверхню без підрізів.

а) б)

Рис. 2 – Ескіз а) тривимірна геометрично-точна модель довбача б) вікно CAM з розробленою програмою для EMD верстата.

Таким чином запропонована технологія виготовлення має перспективу і в подальшому плануються промислові випробування такого способу виготовлення довбачів.

Список посилань

1. Равська Н.С. Технологія інструментального виробництва/Н.С. Равська, П.П. Мельничук, А.Г. Касьянов, Р.П. Родін// Житомир: ЖІТІ, 2001. – 555с.

2. Родин П. Р. Основы проектирования режущих инструментов/ П. Р. Родин. – К.: Выща школа, 1990. – 424 с.

3. ROBOMACHINE New Product: FANUC ROBOCUT α-CiC series [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.fanuc.co.jp/en/product/new_product/2021/202107_robocutalphacic.html.

4. Litvin, F., & Fuentes, A. (2004). Gear Geometry and Applied Theory (2nd ed.). Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9780511547126.

УДК 621.81: 621.9.04

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

МОДЕЛЮВАННЯ СТАНУ ЗОНИ СТРУЖКОУТВОРЕННЯ ПРИ ТОРЦЕВОМУ ФРЕЗЕРУВАННІ ЗАГАРТОВАНОЇ СТАЛІ

Фрези з різальними елементами із поликристалічних надтвердих композитів на основі кубічного нітриду боу (PcBN) [1, 2] є другим за вживаності типом інструменту, який ефективно використовується для обробки сталей високої твердості.

В зоні різання при фрезеруванні має місце циклічне термобаричне навантаження інструменту, що обумовлює відносно значний термін часу до виходу системи на стабільну роботу. Це повязане зі зміною механічних властивостей оброблюваного матеріалу під дією термобаричного навантаження, яке циклічно їх змінює, що обумовлює поступове зростання як силі різання, так і температури різання при переході від робочого елементу фрези, який працює у конкретний момент часу, до наступного робочого елементу інструменту. Відмічене обумовлює відмінності у напряженно-деформованому та тепловому стані зони різання та інструменту, його працездатності та вихідних показниках процесу обробки. При цьому, потрібно відмітити, що значний вплив на кількісні показники, що характеризують контактні процеси у зоні обробки, мають властивості матеріалу, яким оснащений різальний інструмент.

Дослідження фрезерування загартованої сталі виконувались шляхом кінцево-елементного моделювання при умові припущення про плоско-деформований стан системи. При вирішенні пов'язаної термомеханічної задачі граничні умови складалися в жорсткому закріпленні опорної поверхні заготовки і переміщенні абсолютно-жорсткого інструменту уздовж осі *X* заготовки з постійною швидкістю *v*, глибиною різання і шириною зрізу. При цьому враховано теплопровідність матеріалу інструменту і оброблюваного матеріалу.

На першому етапі досліджень вивчений вплив попередньої деформації зрізуваного шару оброблюваного матеріалу на характеристики пластичної деформації, напруження в поверхневому шарі оброблюваного зразку та сили різання. Вказане обумовлено тим, що середня товщина зрізуваного шару при фрезеруванні мала (10–20 мкм) і глибина, на яку розповсюджуються залишкові напруження при великих силах різання суттєво вище (до 100 мкм). Для урахування данного фактору модель передбачає реалізацію трьох послідовних проходів, на кожному з яких зрізується шар товщиною 20 мкм і після кожного проходу інструмент переміщується на товщину зрізу по осі *Y*. Для імітації імпульсного навантаження з наявністю проміжку часу Δt між врізаннями леза при фрезеруванні, довжина кожного проходу дорівнює подвоєнній довжині заготовки.

Для тертя на контактних поверхнях розглядалась комбінована модель:

$$f_s = \min(\mu \cdot p,\ k \cdot m),$$

де μ – коефіцієнт тертя;
p – тиск;
k – межа плинності матеріалу на зсув;
m – довільний коефіцієнт, для врахування інтенсивності фрикційної взаємодії.

Границя плинності оброблюваного матеріалу з ростом ступеня його деформації, відповідно до моделі, що описує криву плинності, зростає. Найбільш інтенсивне зростання характерне для низьких температур.

Параметром який демонструє зміну умов різання, стан інструменту або, при постійності цих параметрів, зміну властивостей оброблюваного матеріалу є величина складових сили різання. При врізанні інструменту спостерігається сплеск сили різання на рівні 10–11%, що відповідає перехідному процесу стружкоутворення з наростанням довжини контакту стружки з інструментом, на етапі, коли переміщення стружки вздовж передньої поверхні ще відсутнє.

В перші мілісекунди різання довжина контакту та усадка стружки вища у порівнянні зі квазісталим процесом обробки. Така закономірність спостерігається на кожному з проходів. При цьому на першому проході величини складових сили різання відрізняються від цих параметрів визначених для проходів 2 та 3.

Як і в попередньому випадку усадка стружки на першому проході ($\zeta = 2,12$) суттєво відрізняється від подальших ітерацій процесу ($\zeta = 1,78$) при товщині стружок відповідно 0,042 мм та 0,035 мм. Кут зсуву при цьому змінюється з 25°10′ до 29°15′, довжина контакту стружки з передньою поверхнею різця – від 0,034 мм до 0,023 мм після першого проходу інструменту. Коефіцієнт тертя на різній відстані від різальної кромки суттево не змінюється, хоча спостерігається зростання величин нормальних та тангенційних контактних напружень з 1,9 до 2,15 та з 0,8 до 1,06 ГПа відповідно.

Ступінь зміцнення оброблюваної поверхні характеризується ефективною деформацією матеріалу, яку визначимо у вертикальному перетині на відстані 0,1 мм за різальною кромкою різця на кожному з проходів. Після першого та другого проходів ступінь деформації на поверхні (максимальна) дорівнює 0,36 збільшуючись до 0,48 після третього проходу. Зона на яку розповсюджуються суттєве зміцнення по глибіні зростає з кожним проходом, досягаючи на третьому проході величини 0,2 мм. При встановленній для моделювання товщині зрізу 20 мкм, для першого проходу глибина, що відповідає $\varepsilon = 0,2$ складає 36 мкм, після другого та третього 42 та 60 мкм.

Оскільки глибина зміцнення достатньо висока, весь шар матеріалу, що зрізується після першого проходу вже має механічні властивості, що відрізняються від вихідних механічних характеристик поверхневого шару сталі. Так при ступені ефективної деформації 0,5, границя міцності сталі зростає з 770 до 1100 МПа. Вказане приводить до зростання ефективних напружень в матеріалі, що деформується в зоні різання та пов’язане з тим, що при зміцненні та зменшенні пластичності оброблюваного матеріалу зростає кут зсуву та суттєво зменшується усадка стружки, а вплив зміцнення менш інтенсивний у порівнянні з впливом збільшення кута зсуву, що супроводжується зменшенням довжини контакту стружки з передньою поверхнею інструменту.

Характеристика зміцнення визначена також у горизонтальному перетині, на рівні 10 мкм від поверхні (середина товщини зрізу) – наростання ступеню деформації відбувається в зоні випереджальної хвилі деформації на відстані 60 мкм, на відстані 30 мкм $\varepsilon = 0,35$ досягаючи 1,2 та 1,8 в зоні зсуву та в приконтактній зоні. Характеристика деформації підповерхневого шару після третього проходу на цій глибині складає $\varepsilon = 0,27$.

Нестаціонарний характер обробки з врізаннями кожного з лез інструменту та виходом з зони різання обумовлює наявність періодів наростання температури різання та охолодження різального інструменту. При наростанні часу обробки величина температури різання збільшується, а значення температури, виміряне в інструменті, наближується до максимальної температури в оброблюваному матеріалі.

Список посилань

1. Инструменты из сверхтвердых материалов [Текст] / под ред. Н В. Новикова, С. А. Клименко. – М: Машиностроение, 2014. – 608 с.

2. Синтез и спекание сверхтвердых материалов для производства инструментов [Текст] / под общ. ред. П.А. Витязя, В.З. Туркевича – Мн. : Беларуська навука, 2021. – 337 с.

УДК 621.923

Калафатова Л.П., докт. техн. наук, професор
Донецький національний технічний університет, м. Покровськ, м. Луцьк
lydmila.kalafatova@gmail.com

ОБГРУНТУВАННЯ ВПЛИВУ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СЕРЕДОВИЩ НА ЕНЕРГОЄМНІСТЬ ПРОЦЕСІВ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ КРИХКИХ НЕМЕТАЛЕВИХ МАТЕРІАЛІВ

Одним із способів вирішення задачі підвищення продуктивності процесу різання є використання технологічних середовищ із спрямованими властивостями, що забезпечують зниження міцності оброблюваного матеріалу (ОМ) у при поверхневому шарі і зменшення за рахунок цього енергоємності процесу руйнування припуску, тобто підвищення оброблюваності матеріалу різанням [1].

Ефективність процесу формоутворення при різанні може бути оцінена величиною питомої інтенсивності формоутворення ($Q_{\text{фуд}}$), тобто величиною інтенсивності процесу формоутворення ($Q_{\text{ф}}$), наведеної до одиниці енергетичних витрат на формоутворення ($U_{\text{ф}}$), тобто $Q_{\text{фуд}} = \frac{Q_{\text{ф}}}{U_{\text{ф}}}$. Інтенсивність формоутворення це комплексна характеристика процесу диспергування, що визначається залежно від виду технологічної операції лінійними розмірами чи площею поверхні, яка утворюється, або ж об'ємом припуску, що видаляється. В окремих випадках інтенсивність формоутворення може бути прирівняна до продуктивності процесу обробки.

Підвищення ефективності процесу формоутворення при різанні за рахунок зменшення енергетичних витрат на диспергування можливо при використанні поверхнево-активних середовищ (ПАС), що, насамперед, пов'язано з проявом адсорбційного ефекту зниження міцності твердих тіл (ефект Ребіндера). Сенс ефекту Ребіндера при обробці переважно крихких неметалевих матеріалів (КНМ) полягає в адсорбційному зменшенні міцності твердих тіл внаслідок зниження їх вільної поверхневої енергії на поверхнях, що розвиваються при деформації на кордоні з поверхнево-активним середовищем [1, 2]. Однак відомо, що цей ефект проявляється при дотриманні низки умов, основними з яких є: спорідненість хімічного складу та будови тіла та технологічного середовища; особливості реальної структури твердого тіла (його дефектність); умови деформування.

Хімічний склад твердого тіла визначає характер взаємодії між атомами (іонами, молекулами) на міжфазному кордоні, який проявляється у більшій чи меншій зміні його поверхневої енергії, від чого залежить важлива можливість впливу середовища на міцність твердого тіла. Останнє можливе при певній «спорідненості» фаз, що межують, насамперед, за молекулярною природою.

Для КНМ, до яких відносяться стекла, ситали, різні види технічної кераміки, речовин з типовою гідрофільною поверхнею (тобто полярних), зниження поверхневої енергії, а, отже, і міцності, може відбуватися при контакті з полярними рідинами, наперед за все, водою і водними розчинами поверхнево-активних речовин (ПАР).

На ступінь прояву ефекту адсорбційного зниження міцності значно впливає реальна структура твердого тіла. Дефекти структури матеріалів мають надмірну вільну енергію, тому на них і відбувається інтенсивна адсорбція атомів ПАС. Адсорбція та викликане нею зниження поверхневої енергії призводить до збільшення розмірів мікротріщин (рис. 1), що присутні в ОМ. Зниження міцності матеріалу обумовлює зміну (зменшення) рівня критичних напружень, при яких ці мікротріщини втрачають стійкість, наслідком чого є

руйнування обсягів матеріалу. Крім того дефекти структури служать каналами, якими молекули середовища проникають всередину зразка, інтенсифікуючи розвиток тріщин.

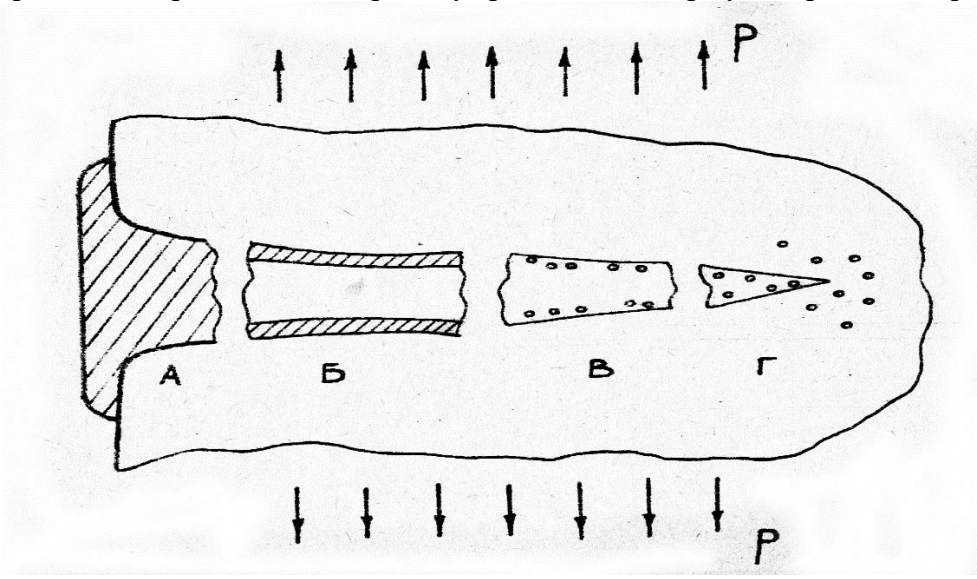


Рис. 1 - Схема розвитку мікротріщини в умовах адсорбційного зниження міцності твердого тіла в присутності ПАС під дією прикладених напружень *p* [2]

Під дією механічних напружень ті чи інші дефекти структури матеріалу розвиваються і починають грати роль локальних концентраторів напружень, забезпечуючи перші розриви міжатомних зв'язків та поступове зародження ультрамікротріщин. Наявність розвиненої мережі дефектів структури в ОМ, яка притаманна КНМ, передбачає інтенсивний прояв ефекту адсорбційного зниження міцності.

На ступінь адсорбційного зниження міцності також суттєво впливає характер напруженого стану деформованого тіла. Найяскравіше ефект проявляється при жорстких напружених станах з величезним переважанням деформацій розтягування. Різання, особливо процеси шліфування, характеризуються сприятливою для сильного прояву ефекту сукупністю умов: високими локальними напруженнями при складному напруженому стані, значними швидкостями, циклічними навантаженнями.

З огляду на сформульовані вище вимоги до фізико-хімічних властивостей ПАС, були синтезовані середовища на базі водних розчинів ПАР (оксіетильованих жирних спиртів, алкілмоносульфатів та ін.) для наступних операцій механічної обробки КНМ [3]: алмазного шліфування технічних стекол, ситалів, технічної кераміки різних видів; полірування технічних стекол; ультразвукової обробки технічної кераміки. Застосування таких ПАС дозволяє підвищити питому інтенсивність формоутворення при механічній обробці КНМ до 25% у порівнянні з традиційно використовуваними середовищами.

Список посилань

1. Щукин Е.Д. Развитие исследований адсорбционного понижения прочности твердых тел в работах П.А. Ребиндера и его школы / Е.Д. Щукин, Ю.В. Горюнов, Н.В. Перцов, Л.С. Брюханова // Физико-химическая механика материалов. - 1978. - № 4. - С. 3-9.

2. Щукин Е.Д., Сумм Б.Д. Роль процессов распространения адсорбционно-активной среды по поверхности твердых тел в проявлении эффекта адсорбционного понижения прочности / Е.Д. Щукин, Б.Д. Сумм // Поверхностная диффузия и растекание. - М.: Наука, 1969. С. 161-185.

3. 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 «ХПІ», 2019. – Вип. 91 (2019), с. 69-77.

УДК 629.735.33.015.4

Лупкін Б.В., докт. техн. наук, професор,
Антонюк В.С., докт. техн. наук, професор,
Корольков Ю.Я., інженер,
Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,
victor.antoniuk@gmail.com

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ СВЕРДЛІННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Сучасне машинобудування, а особливо авіабудування, вимагає нових конструкційних матеріалів з високими експлуатаційними властивостями, що відповідають за надійність та ресурс сучасної техніки. Використання сучасних високоміцних полімерних композиційних матеріалів відкриває широкі можливості для вирішення можливих інтегрально конструктивних рішень використовуваних у виробах авіаційно космічної техніки.

Збільшення обсягу застосування високоміцних полімерних композиційних матеріалів у виробництві авіаційної техніки потребує розробки нових та вдосконалення існуючих технологій їх механічного оброблення. При впровадженні композиційних матеріалів необхідно особливу увагу звернути на те, що механічні характеристики виробів з композиційних матеріалів визначаються об'ємною (ваговою) часткою в них армуючих елементів, їх розташуванням і зв'язком з матрицею, а також властивостями матричної речовини й матеріалу проміжного шару (апрета), що забезпечує спільну роботу елементів, які є складовими композиту [1].

Процес стружкоутворення при лезвійній обробці композитів (особливо таких крихких як скло-вугле-бороластики) в значній мірі відрізняються від металообробки, у яких в основному сходить зливна стружка Неоднорідність структури і різні характеристики міцності композиційних матеріалів сприяють в процесі лезвійної обробки, утворенню мікротріщин і сколів тощо [2].

Процес свердління найбільш складний з точки зору механічного оброблення, так як відбувається в закритій зоні деформації і при цьому реалізується найбільш складна схема косокутного різання. При свердлінні композиційного матеріалу в процесі стружкоутворення, відбувається порушення цілісності поверхневого шару, який істотно впливає на точність розмірів і шорсткість поверхні, а в подальшому на експлуатаційні властивості: міцність, ресурс, вологопоглинання тощо.

Різальний інструмент задньою поверхнею, під дією складової сили різання, контактує з волокнами матриці. В залежності від сили стискання змінюються сили тертя, що змінюють інтенсивність теплоутворення та зносу інструмента, одночасно формують шорсткість оброблюваної поверхні [3].

Проведений експериментальні дослідження процесу свердління високоміцних полімерних композиційних матеріалів підтвердили значний вплив схеми розташування різального клину відносно структури орієнтації волокон наповнювача композиту.

Аналізуючи вплив кінематики руху свердла на сили різання, геометрію різального клину і шорсткість поверхні, а також враховуючи той факт, що зусилля у композиті сприймаються в основному волокнами наповнювача, при обертанні свердла різальний клин контактує з волокнами композита, при цьому відбувається зміна зусиль розтягування на зусилля стискання, розвивається високий контактний тиск і температура.

Різні пружні і міцнісні показники матриці і наповнювача композиту під дією механічних сил і температурного поля в процесі різання визивають в деформаційному шарі, руйнування, як адгезійних зав'язків так і волокон наповнювача, при цьому виникають великі дотичні напруження, які здатні визивати міжшарові руйнування (тріщини) поверхневого шару.

Список посилань

1. Волокна для армирования композиционных материалов. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https:// poznayka.org/s77441t1. Название с экрана.
2. Остафьев В.А. Физические основы процесса резания металлов./ Остафьев В.А., Антонюк В.С., Выслоух С.П. и др. – К. : «Высшая школа», 1976. – 136 с.
3. Антонюк В.С. Теплові явища при обробці матеріалів різанням : навч. посіб. / В.С. Антонюк, С.Ан. Клименко, С.А. Клименко. – К.: НТУУ «КПІ», 2014. – 156 с.

УДК 658.512:519.876(075)

Веселовська Н.Р., докт. техн. наук, професор
Гнатюк О.Ф., аспірант
Вінницький національний аграрний університет, wnatalia@ukr.net

ЗАСТОСУВАННЯ ГІДРОІМПУЛЬСНИХ ПРИВОДІВ У ВИРОБНИЦТВІ ВІБРАЦІЙНИХ ТА ВІБРОУДАРНИХ ВАНТАЖО-РОЗВАНТАЖУВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

В сучасних умовах науково-технічного розвитку широко використовуються вібраційні та віброударні технології для інтенсифікації виробничих процесів у різних галузях промисловості [1]. Широке застосування силових пульсуючих (коливальних) та імпульсних (ударних) систем обумовлене простотою конструкції, компактністю, швидкодією, високою чутливістю і можливістю використання в автоматизованому процесі, що відрізняється при використанні подібного роду механізмів високою продуктивністю.

В наш час важко знайти галузь народного господарства, де б не знаходили застосування силові імпульсні системи. Завдяки високій ефективності й простоті конструкції такі машини використовуються в машинобудівній, будівельній, гірничодобувній, металооброблюючій, транспортній і в інших галузях промисловості.

Для багатьох типів машин віброударні рухи є єдино можливими за умовами технологічного процесу. Це, наприклад, різні види молотів, вібровідбійний інструмент, машини для віброударних випробувань, віброударні розвантажувачі, системи так званої циклічної автоматики. Особливий інтерес представляє використання вібраційних та віброударних розвантажувальних пристроїв для підвищення ефективності процесів розвантаження на транспортних засобах з метою збільшення продуктивності праці шляхом механізації і автоматизації процесу розвантаження різних навалочних вантажів з кузовів транспортних засобів. Дослідження [2] показали, що для підвищення ефективності процесів розвантаження доцільно застосовувати примусові вібрації та удари, які впливають на фізико-механічні параметри матеріалу вантажу.

Найбільш трудомісткою складовою частиною транспортного процесу на автомобільному транспорті є вантажно-розвантажувальні роботи. У зв’язку з цим простоювання автомобілів для проведення вантажно-розвантажувальних операцій і для їх очікування залишаються досить значними. Це пов’язано з недостатньо високим рівнем механізації навантаження-розвантаження вантажів на транспорті, з нечіткою координацією дій різних організацій при перевантаженні вантажів у транспортних вузлах і по деяких інших причин.

Починається оптимізація процесів навантаження-розвантаження при логістичному підході з раціональною роботою складів, з яких забирається вантаж у відправника або на які здається вантаж вантажоодержувачу. При цьому робота на складах повинна бути організована таким чином, щоб до моменту прибуття транспортного засобу вантаж знаходився в транспортній тарі та упаковці, його місцезнаходження було легко обумовлені, партія вантажу або контейнер були сформовані з урахуванням вантажопідйомності транспортного засобу, тарно-штучні вантажі були пакетовані, а кошти механізації

перевантажувальних робіт були вільні. Основними засобами механізації вважаються стаціонарні й козлові крани для контейнерів, великовагових вантажів і великих пакетів, а також засоби механізації на залізничному ходу або на шасі стандартного автомобіля або спеціальному шасі. Широко застосовуються автонавантажувачі й засоби малої механізації, що полегшують, але не замінюють ручну працю: роликові й шарнірні ломи, роликові конвеєри, домкрати, візки та лебідки, талі та ін. Для прискорення перевантажувальних робіт необхідно механізувати процеси навантаження і розвантаження, тобто ліквідувати ручну працю, що не завжди просто при роботі з небезпечними і швидкопсувними вантажами внаслідок малого об'єму вантажного місця або партії вантажу.

Вантажно-розвантажувальні роботи на транспортних засобах (автомобілях і тракторах) відносяться до категорії найбільш трудомістких і важких. Середній рівень їх механізації орієнтовно складає 70%, що значно нижче рівня механізації цих робіт на залізничному, річковому і морському транспорті.

У загальному об'ємі вантажів, що перевозяться на транспортних засобах, навалочні вантажі (ґрунт, пісок, гравій, щебінь, овочі, зерно, мінеральні добрива тощо) складають приблизно 80%. При розвантаженні навалочних вантажів, в залежності від їхньої вологості, температури, гранулометричного складу, частина вантажів лишається на кузові. В залежності від типу вантажу і його складу залишки у кузові коливаються в межах від 3% до 20% обсягів перевезення. Тому впровадження нових сучасних технологій у вантажно-розвантажувальних роботах на автомобільному транспорті дає можливість прискорити розвантаження, знизити затрати і скоротити наднормативні простої транспортних засобів під розвантажувальними роботами.

До найбільш ефективних та енергоощадних технологій відносяться вібраційні та віброударні, які реалізуються за допомогою пристроїв з різними типами приводів – механічним, електричним, гідравлічним, пневматичним, комбінованим.

Перспективним, на нашу думку, є застосування гідроімпульсних приводів у виробництві вібраційних та віброударних розвантажувальних пристроїв, що обумовлене простотою конструкції, компактністю, високою енергоємністю, широким діапазоном регулювання робочих параметрів та можливістю роботи в автоматизованому режимі. Зокрема, перспективним напрямком є створення змінного навісного обладнання з гідроімпульсним приводом для автомобілів-самоскидів, бортових автомобілів, причепів тракторів та інших транспортних засобів. Тому розробка вібраційного та віброударного обладнання, з метою використання для вантажно-розвантажувальних робіт на транспорті, є актуальною задачею.

Метою роботи є розробка та дослідження гідроімпульсного приводу нового віброударного пристрою для підвищення ефективності процесів розвантаження кузовів-самоскидів транспортних засобів.

Для реалізації поставленої мети необхідно :

– обґрунтувати доцільність використання вібрацій і ударів та визначити переваги і недоліки існуючих типів віброприводів, що можуть бути використаними для підвищення ефективності процесів розвантаження транспортних засобів;

– обґрунтувати вибір конструктивних схем та розробити на їх базі новий гідроімпульсний привод віброударного пристрою для підвищення ефективності розвантаження кузовів-самоскидів транспортних засобів;

– розробити математичну модель гідроімпульсного приводу віброударного пристрою і ударної взаємодії гідроциліндра із змінними інерційними масами з кузовом автомобіля-самоскида, що представлено в роботі.

Список посилань

1. Веселовська Н.Р., Зелінська О.В. Моделі інтегрованих комп'ютерних систем управління технологічними процесами на основі сучасних інформаційних технологій: монографія. / Веселовська Н.Р., Зелінська О.В. – Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2020. – 427с.

2. Веселовська Н.Р. Практична реалізація методики управління процесом механічної обробки. / Н.Р. Веселовська // Техніка, енергетика, транспорт АПК. – Вінниця, 2020. – № 1(108). – С.91-102.

3. Veselovska N., Malakov O.,Manzhos E. , Hnatyuk O. Test planning of serviceability of flexible production systems equipment considering planning and monitoring of agricultural equipment.*Вібрації в техніці та технологіях*. Вінниця. 2020. №3.

УДК 621.735.3

Марков О.Є., докт. техн. наук, професор,
Хващинський А.С., аспірант,
Мусорін А.В., аспірант,
Маркова М.О., канд. техн. наук,
Лисенко А.А., аспірант
Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ oleg.markov.omd@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБУ КУВАННЯ ЗЛИТКІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ОПЕРАЦІЇ ПРОФІЛЮВАННЯ

В останні роки кількість масивних поковок, виготовлених зі злитків, збільшується. Це спричинено збільшенням потужності важких машин. Однак якість поковок не завжди відповідає вимогам замовника. Низька якість масивних поковок пояснюється низькою якістю вихідних злитків [1]. При куванні масивних поковок брак ультразвукового контролю (УЗК) досягає 10% [2]. Брак по УЗК пояснюється процесом осадження злитків з неоднорідною структурою. У результаті ця структура опрацьовується нерівномірно та недостатньо. Більш того, при осаджені циліндричних заготовок плоскими плитами відбувається збільшення розмірів осьової пухкості зливка. Аналіз процесів кування заготовок із застосуванням операції осадження дозволив встановити, що базова схема кування не гарантує подрібнення структури зливка та забезпечення заданих властивостей отриманих деталей [3].

При виробництві масивних поковок відповідального призначення дуже важливо забезпечити високу якість одержуваних заготовок. Якість масивних поковок визначається відсутністю внутрішніх та зовнішніх дефектів, а також рівномірністю механічних властивостей. Ці вимоги викликані тим, що заготовкою є масивний ковальський зливок [4]. Масивні зливки характеризуються дефектами металургійного походження (осьова пухкість, усадочна раковина та ін.). Ці дефекти визначають низьку якість ковальських зливків.

Перспективним напрямом підвищення рівномірності деформацій та рівня стискаючих напружень є профіль торців заготовки перед операцією осадження. Профілювання торців заготовок сприятиме подрібненню структури металу, що знаходиться в «мертвих» зонах заготовки.

Збільшення рівня стискаючих напружень в осьовій зоні заготовки можливе за рахунок створення підпору збоку заготовки. Перспективним рішенням цього завдання є використання заготовок з конусними торцями перед осадженням. Формування увігнутої поверхні в процесі осадження підвищить рівномірність розподілу деформацій та забезпечить підпор в осьовій зоні. НДС досліджуваних заготовок під час процесу осадження визначався за середніми напруженнями у поздовжньому перерізі. Максимальної стискаючої напруження в центральній зоні не спостерігаються. Площа зони із середніми напруженнями –10…–20МПа незначна і становить 10…20% загальної площі перерізу. Загальний рівень середніх напружень зі знаком мінус у тілі заготовки низький. Однак утворюється значна глибина увігнутої бічної поверхні в центральній частині за рахунок утворення подвійної бочки з боку торців заготовки.

Крім середніх напружень додатково визначалася інтенсивність напружень (σ_i) у центрі заготовки. Для опису механізму закриття дефекту можна скористатися показником напруженого стану. Цей показник показує наскільки середні напруження більші за інтенсивність напружень, а також знак цих напружень. Утворення опуклої бічної поверхні (бочки) при осаджені є причиною утворення тріщини на зовнішній поверхні заготовки в результаті виникнення в цій зоні напружень розтягу. Тому аналіз нових методів деформування без встановлення рівня розтягуючих напружень не буде повним. В результаті було проведено додаткове моделювання напруженого стану у процесі осадження високих заготовок. За результатами цих досліджень встановлені знак і величина напружень на бічній поверхні поковки. Розрахований параметр напруженого стану (η) на середній периферійній частині заготовки залежно від ступеня осадження для різних діаметрів конусних торців (d/D) для відносної висоти конусного уступу h/D = 0,6 (рис. 3). З літератури відомо, що варіювання відносної висоти уступів не помітно впливає на параметр η, тому в роботі він не досліджується.

Зони максимальних деформацій розташовуються один від одного на значній відстані. Збільшення висоти конусних уступів збільшує цю відстань і сприяє появі у центральній частині заготовки значних деформацій. Зони мінімальних деформацій розташовані біля уступів мають схожі форми та розміри для однакових діаметрів уступів (d/D). Це пояснюється тим, що ці зони мають рівні площі контакту заготовки з інструментом.

Отримані результати пояснюються даними середньозважених деформацій. Рівень цих деформацій є низьким. Зменшення відносної висоти конусних уступів (h/D) призводить до зниження рівня деформацій. Встановлено, що на першому етапі процесу осадження деформації локалізуються у конусних уступах заготовки. Такий розподіл деформацій призводить до виникнення подвійної бочки, яка при осадженні пояснює появу стискаючих напружень на бічній поверхні та в центральній частині заготовки. У процесі осадження заготовок з конусними уступами нерівномірність розподілу деформацій знижується при зменшенні діаметра конусного уступу. Висота конусних ділянок також впливає на нерівномірність розподілу деформацій. Максимальна рівномірність розподілу деформацій виникає у процесі осадження заготовки. Однак у цьому випадку відсутні локальні зони з значними деформаціями. Збільшення відносної висоти конусних уступів призводить до локалізації зон із максимальними деформаціями. Осадження заготовок з конусними уступами призводить до зниження нерівномірності деформацій при зменшенні діаметра уступу заготовки. Осадження заготовки з відносним діаметром уступу (d/D), рівним 0,5, забезпечує мінімальну нерівномірність деформацій. У цьому випадку зона мінімальних деформацій займає незначний обсяг заготовки. Висота конусних ділянок заготовки також впливає нерівномірність розподілу деформацій. Осаджену заготовок з відносною висотою уступів, що дорівнює 0,2...0,4, забезпечує високу рівномірність розподілу деформацій. Збільшення висоти конусних уступів призводить до локалізації зон максимальних деформацій у центральній частині заготовки.

Аналіз напруженого стану дозволив встановити, що у тілі заготовки у процесі осадження виникає стан нерівномірного всебічного стискання. Збільшення ступеня осадження від 0,1 до 0,45 призводить до зміни параметра напруженого стану η від –1,0 до 0. Подальше осадження до 0,7 збільшує цей параметр до +1,5. Встановлено, що зменшення діаметра конусних торців призводить до зниження цього параметра η. Цей параметр має більш сприятливі умови для закриття осьових дефектів в інтервалі –1,5...–0,6 при осадженні з відносним діаметром конусних уступів 0,5.

Список посилань

1. Markov O.E. Development of Energy-saving Technological Process of Shafts Forging Weighting More Than 100 Tons without Ingot Upsetting / O.E. Markov, M.V. Oleshko, V.I. Mishina // Metalurgical

and Mining Industry [Online]. – 2011. – Vol. 3(7). – Pp. 87-90. – Mode of access: http://www.metaljournal.com.ua/assets/Uploads/attachments/87Markov.pdf

2. Development of a new process for forging plates using intensive plastic deformation / O.E. Markov, A.V. Perig, M.A. Markova, V.N. Zlygoriev // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2016. – Vol. 4, no. 83. – Pp. 2159-2174. – Mode of access: http://doi.org/10.1007/s00170-015-8217-5

УДК 621.785.532

Ковалевський С.В., докт. техн. наук, професор,
Ковалевська О.С., канд.техн.наук, доцент,
Пелипенко О.О., магістр,
Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, kovalevskii61@gmail.com

МАГНІТОРЕЗОНАНСНА ОБРОБКА МЕТАЛЕВИХ НЕМАГНІТНИХ ЗРАЗКІВ МАТЕРІАЛІВ

Раніше авторами роботи було показано, що механічні наноамплітудні вібрації зразків у рівномірному магнітному полі сильного (неодимового) магніту можуть призводити до змін структури зразків сталевих деталей та підвищення показників твердості характеристик матеріалів [1,2]. При цьому слід зазначити, що механічна вібрація зразків із магнітних матеріалів у рівномірному полі постійних магнітів визначається властивостями механічного вібратора – його принципом роботи та амплітудно-частотною характеристикою. Це створює певні труднощі в проектуванні налагодження магніторезонансної обробки великогабаритних виробів, у тому числі – з немагнітних металевих матеріалів, якими, зокрема, є корпусні деталі відповідальних виробів, наприклад, з алюмінієвих, магнієвих, титанових тощо матеріалів і сплавів. До таких виробів можуть належати корпусні деталі авіаційних, космічних апаратів або виробів подвійного призначення. Також представляють практичний інтерес для електротехнічної промисловості можливості на фізико-механічні властивості з метою поліпшення виготовлення та експлуатації деталей з мідних сплавів. У поданому матеріалі показано подальший розвиток робіт авторів для зразків із металевих немагнітних матеріалів.

Відомо, що навколо провідника зі струмом утворюється магнітне поле. Змінне магнітне поле, що резонансно взаємодіє з магнітним полем атомів речовин, здатне призводити до руху атомів речовин [3,4]. Модуляція постійного струму змінним струмом, що має амплітудно-частотну характеристику, що відповідає так званому «білому шуму», здатна навколо провідника зі струмом створювати змінне магнітне поле (рис.1).

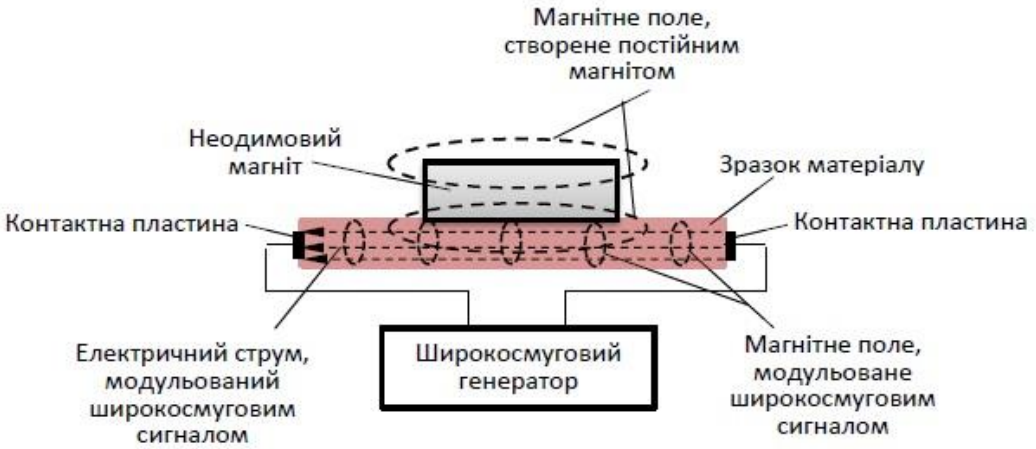


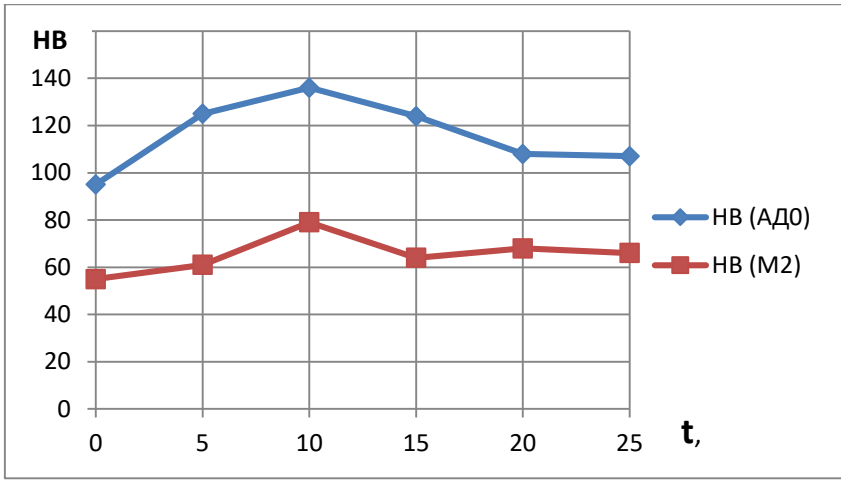
Рис. 1 – Принципова схема налаштування експериментального стенду

Для експериментальних досліджень використовувалися: 1) алюмінієві пластини марки АД0 (1011) розмірами 150х100х8 мм, початкова твердість пластини – 95 НВ; 2) мідні пластини марки М2 розмірами 150х80х10 мм., початкова твердість пластини – 55 НВ.

Обробка зразків тривала протягом 25 хв, з інтервалом 5 хв. Використовувався недимовий магніт діаметром D=30 мм та Н=10 мм. Параметри струму, модульованого сигналом «білого шуму» в діапазоні 15-20000 Гц та вихідною потужністю кінцевого каскаду низькочастотного підсилювача 100 Вт та опором навантаження 8 Ом.. Отримані результати надані в табл.1.

Таблиця 1– Результати запропонованої обробки зразків металевих немагнітних матеріалів

t, хв.	НВ (зразки АД0)	НВ (зразки М2)
0	95	55
5	125	61
10	136	79
15	124	64
20	108	68
25	107	66



Зростання показників НВ для зразків з матеріалів АД0 і М2 свідчить про те, що процеси магніторезонансної обробки дійсно впливають на окремі фізико-механічні показники стану немагнітних металевих матеріалів. Набування пікових значень НВ після 10 хвилин взаємодії магнітного поля, що сформоване постійним неодимовим магнітом і магнітного поля, що діє в тілі зразку як результат пропущення через зразок електричного струму, який модульований широкосмуговим сигналом в діапазоні 15-20000 Гц. Оскільки взаємодія магнітних полів відбувається в тілі зразків, тобто на субкристалічному і субатомному рівнях, то, ймовірно, такий ефект може пояснюватися тим, що спочатку в результаті вібрацій в матеріалі відбувається ущільнення дислокацій. У якийсь момент (зміна тертя спокою тертям ковзання) умовний бар'єр накопичення дислокацій руйнується, після чого процес повторюється знову. Але це припущення потребує додаткових металографічних досліджень.

Список посилань

1. Ковалевський С.В. Підвищення експлуатаційних характеристик деталей машин на основі комбінованого впливу сильних магнітних полів. / Ковалевський С.В., Ковалевська О.С., Лупа Ю.В. // Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету. Технічні науки. – 2021. – Вип. 2. – С. 29-36.

2. Kovalevskyy S. New opportunities for processing materials in a strong magnetic fields. / Kovalevskyy S., Kovalevska O. // Технічні науки та технології : науковий журнал / Національний університет «Чернігівська політехніка». – Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2021. – № 4 (26). – С. 7-14.

3. Kang, Y. Reaction process under the influence of an electromagnetic field [Text] / Y. Kang // Transactions of Nonferrous Metals Society of China. – 2016. – Vol. 26. – P. 1439–1446.

4.Romalis, M.V. Atomic magnetometers for materials characterization / M.V. Romalis, H.B. Dang // Materials today. − 2011. − Vol. 14, № 6. − P. 258−262.

УДК 621.763:621.317.42

Ковалевський С.В., докт. техн. наук, професор,
Ковалевська О.С., канд.техн.наук, доцент,
Лупа Ю.В., магістр
Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, kovalevskii61@gmail.com

МАГНІТОРЕЗОНАНСНА ОБРОБКА ЗРАЗКІВ ПОЛІМЕРНИХ НЕМЕТАЛЕВИХ МАТЕРІАЛІВ

В роботі [1] вказано на перспективність магніторезонансної обробки сталевих зразків. Там же висловлено припущення щодо субатомного та субкристалічного характеру явищ, що супроводжують зміну деяких фізико-механічних властивостей матеріалів, підданих магніторезонансній обробці. Такі припущення, також, можуть бути актуальними з огляду на роботи [2, 3].

Тому, головним завданням проведених експериментальних випробувань є підтвердження дійсно впливу атомарних або молекулярних зв'язків на зміни окремих показників фізико-механічних властивостей немагнітних неметалевих матеріалів, якими є полімерні матеріали.

Для експериментальних досліджень був запропонований експериментальний стенд, принцип дії якого наведений на схемі (рис.1).

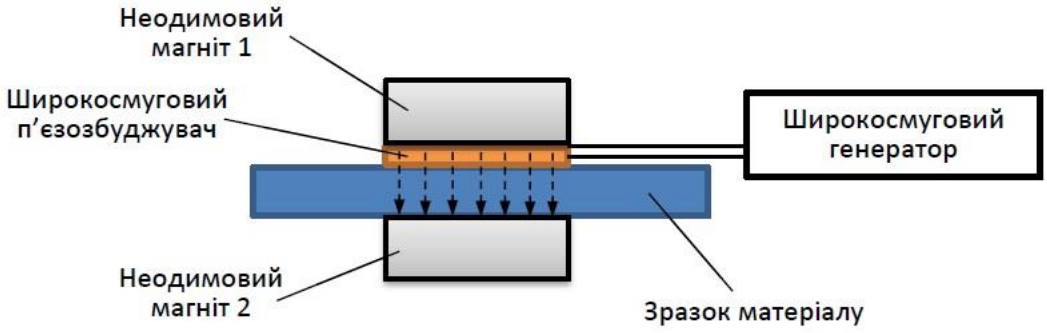
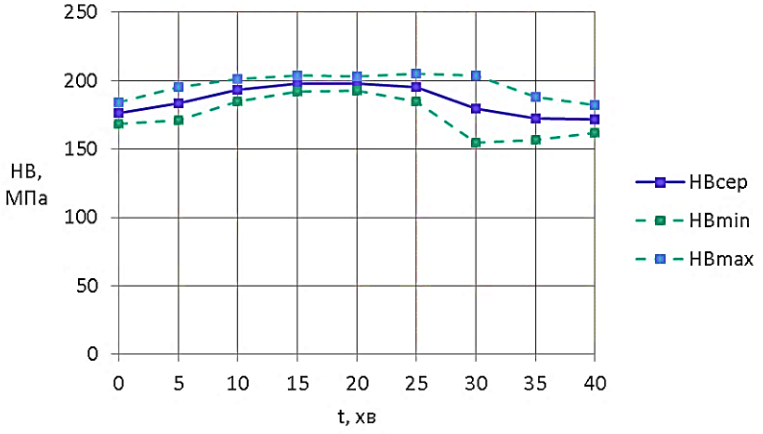


Рис. 1 – Принципова схема налаштування експериментального стенду

В табл.1 представлені результати магніторезонансної обробки текстоліту марки ПТК, який може застосовуватись для виготовлення деталей типу втулок, підшипників ковзання, роликів, шестерень та інших виробів.

Таблиця 1 – Результати експериментальних випробувань зразків текстоліту ПТК

t, хв.	Середне НВ	НВ min.	НВ max.
0	176	168	184
5	183	171	195
10	193	185	201
15	198	192	203
20	198	193	203
25	195	185	205
30	179	155	204
35	172	157	188
40	172	162	182

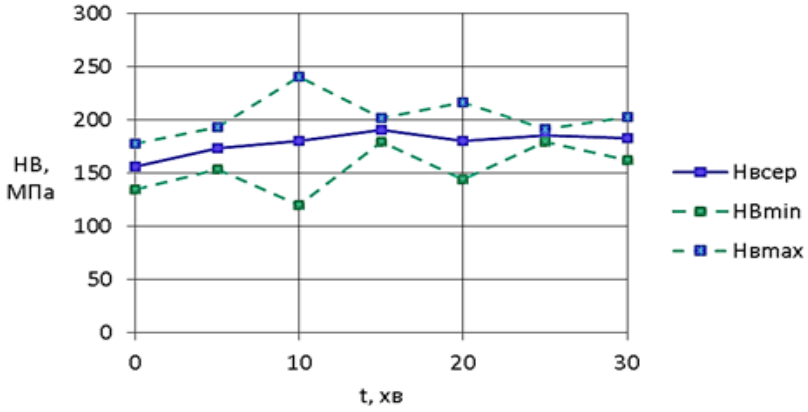


Порівняно з аналогами з металу, вироби з ПТК легші, значно довговічніші, легші і без утворення розшарування, тріщин або сколів обробляються. Діапазон робочих температур ПТК – від –50 о С до +110 о С. Розміри зразків 130х100х10 мм.

В табл.2 представлені результати магніторезонансної обробки зразків оргскла марки ТОСН, який являє собою пластифікований полімер метил-метакрилату, що отримується методом блокової полімеризації. Діапазон робочих температур ПТК від -40°С до +95°С. Розміри зразків 155х155х10 мм.

Таблиця 2 – Результати експериментальних випробувань зразків оргскла ТОСН.

t, хв.	Середне НВ	НВ min.	НВ max
0	156	135	178
5	173	154	193
10	180	120	241
15	191	179	202
20	180	144	217
25	185	179	191
30	183	162	203



Обробка зразків виконувалася з інтервалом у 5 хв по 10 вимірів показників твердості HB_{ij} для j-го виміру та і-го інтервалу часу зразка за формулами (1):

$$p_{ij} = \frac{HB_{ij}}{\sum_{j=1}^{10} HB_{ij}}; \quad \sum p_{ij} = 1; \quad I_i = \sum_{j=1}^{10} (p_{ij} \cdot \log_2 p_{ij}) \qquad (1)$$

де HB_{ij} – значення твердості j-го виміру для і-го інтервалу часу;

I_i – показник інформативності в системі «зразок, що обробляється».

Зміни показників інформативності співпадають зі змінами показника ентропії цієї системи, але з протилежним знаком. Розрахунки за формулами (1) доводять, що процеси зміни показників міцності зразків супроводжуються спаданням ентропії, тобто зростає впорядкованість об'єкта: відбуваються упорядкування доменів, ущільнення дислокацій і т. ін.. Для текстоліту, як і в попередньому дослідженні зразка з оргскла, мінімум ентропії відповідає максимальному значенню твердості, досягнутому на 15-20-й хвилинах обробки. Підтверджено вплив магніторезонансної обробки на зміни, що відбуваються на атомно-молекулярного рівні в полімерних матеріалах.

Список посилань

1. Kovalevskyy S., Identification and Technological Impact of Broadband Vibration on the Object. / Kovalevskyy S., Kovalevska O. //Papers from the 3rd Grabchenko's International Conference on Advanced Manufacturing Processes (InterPartner-2021), September 7-10, 2021, Odessa, Ukraine. ABCM Series on Mechanical Sciences and Engineering. Lecture Notes in Networks and Systems, pp. 78-87. DOI 10.1007/978-3-030-91327-4_8.

2. Бардадим Ю. В. Структура та фізичні властивості полімерних композитних матеріалів, сформованих у постійних магнітному та електричному полях / Ю. В. Бардадим, В. О. Віленський // Полімерний журнал. – 2016. – Т. 38, № 2. – С. 115 – 124.

3. Bardadym Yu. The influence of magnetic field on the structure and properties epoxy composites / Bardadym Yu., Sporyagin E. // IX International Research and Practice Conference «Nanotechnology and nanomaterials» NANO-2017. – Chernivtsi, 2017 – p. 129.

УДК 621.771.01; 004.942

Грибков Е.П., докт. техн. наук, професор
Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, gribkov.eduard@gmail.com
Івчик Р.С.
ПрАТ «Новокраматорський машинобудівний завод», м. Краматорськ, bhps@nkmz.donetsk.ua
Сун Сяо Фен
ТОВ «Китайська машинобудівна інжинірингова корпорація», 149663181@qq.com

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ПРАВКИ ЛИСТІВ

Кінцевою стадією обробки листового металопрокату є правлення, котре в значній мірі визначає якість продукції. Ця операція може бути здійснена на багатороликових листоправильних машинах або на листоправильному пресі. Останній є більш вигідним при невеликих об'ємах виробництва, так як має меншу металоємність, але має й меншу продуктивність.

Основною задачею при моделюванні процесів правлення листів на пресі є технологічна, а саме визначення оптимальних технологічних режимів для досягнення якомога більшої площинності прокату та конструкторська – визначення оптимальних конструктивних параметрів листоправильного обладнання за критеріями мінімальної металоємності та максимальної ефективності процесу правлення.

В якості методів моделювання правлення використовуються аналітичні [1] і скінченно-елементні моделі [2] або їх комбінації [3, 4]. Аналітичні моделі мають високу швидкодію, що дозволяє їх використовувати в автоматичній системі управління. Скінченно -елементні моделі вимагають великих витрат машинного часу на розрахунок, але дозволяють отримувати точніші результати з широким урахуванням впливу факторів на процес.

В рамках роботи було розроблено алгоритм математичної моделі, що дозволяє визначати необхідні для виправлення поздовжньої кривизни технологічні налаштування як багатороликової листоправильної машини (ЛПМ), так й листоправильного пресу (ЛПП), який зводиться до визначення координат кожного з рухомих роликів або пуансонів в залежності від відомих параметрів оброблюваного металу, геометричних параметрів машини, а також допустимого значення залишкової кривизни листа після правки.

Розроблена методика передбачає успішну правку листа заданого типорозміру якщо виконується умова забезпечення необхідної якості при дотриманні умов захоплення, умови міцності роликів і необхідного рівня проникнення пластичної деформації по товщині листа.

Метою роботи є зниження витрат у часі на проектування процесів виправлення листів на основі автоматизації розрахунків технологічних параметрів процесу правки.

Ґрунтуючись на зазначених передумовах, отриманих з досвіду експлуатації був розроблений наступний алгоритм автоматизованого проектування технологічних налаштувань ЛПМ: На першому етапі для всього циклу проектування все нижні ролики лежать в одній площині на рівні правки, а верхні ролики встановлюються на відстані від нижніх, рівному товщині листа. На другому етапі перший ролик залишається без змін, а наступні верхні ролики, починаючи з 5–го, опускаються на величину, рівну розрахунковому прогину f_3. Третій етап полягає в моделюванні процесу правки для отриманих координат правильних роликів. Відбувається перевірка, яка полягає в наступному: коли кривизна металу на виході з машини менше або дорівнює допустимої, проектування завершується, настройка вважається прийнятною. Якщо ж кривизна листа на виході з листоправильної машини перевищує допустиме значення, то ролики № 1 і 3 залишаються на місці, а верхні ролики, починаючи з № 5, починають піднімати на величину, рівну точності позиціювання осей роликів наявним натискним механізмом (рис. 1). Для отриманих координат знову проводиться розрахунок поки не буде виконана умова якості листа або налаштування передостаннього ролика не стане рівним налаштуванню останнього.

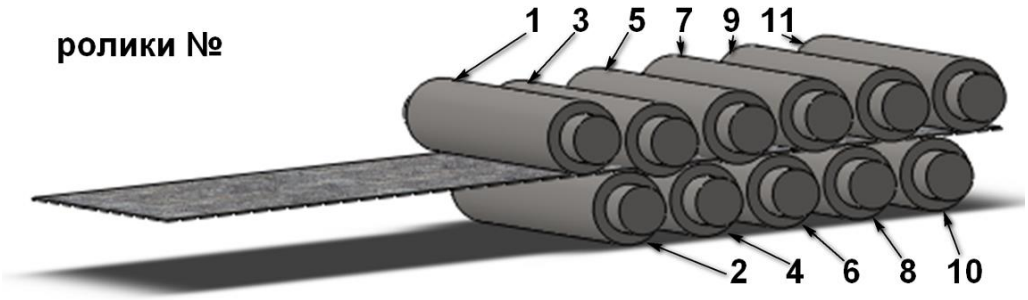


Рис. 1 – Розрахункова схема до алгоритму автоматизованого проектування технологічної настройки багатороликової листоправильної машини

Аналогічна методика була розроблена для виправлення листів на пресі. Однак в цьому випадку переміщується один пуансон, а інші – нерухомі. Тобто задача з одного боку простіша, але окрім ходу пуансону ще потрібно знайти раціональне розміщення нижніх пуансонів, тобто їхній крок, що є з одних параметрів машини. Методика в такому разі включала дві ітераційні процедури: пошук ходу верхнього робочого пуансону і пошук кроку нижніх пуансонів.

В результаті реалізації запропонованої методики були отримані розрахункові залежності На ЛПМ 2850 конструкції НКМЗ, що показують граничні можливості ЛПМ при максимально можливих для даної товщини межах плинності і ширині. З аналізу отриманих залежностей можна зробити висновок про вплив на граничне перекриття роликів умови захоплення при товщині менше 6 мм і умови міцності при великої товщини прокату. При межах плинності менших максимально допустимих або ширині листа менше максимальної (в даному випадку - 2600 мм) залежність за умовою міцності матиме інший вигляд і при певних умовах обмежуючим фактором може бути умова захоплення. Дані залежності можуть бути використані в якості граничних умов при визначенні технологічних параметрів ЛПМ, а також при проектуванні ЛПМ нових конструкцій.

Також в якості прикладу був виконаний розрахунок для 50 тонного ЛПП величини згину стального 50-міліметрового листа на 45, 50 та 55 мм. З аналізу отриманих залежностей встановлено, що від величини деформації при правленні напруження змінюються незначно, в той час деформація змінюється на значну величину. Сила правлення практично остається на одному рівні. Кривизна листа, в даному випадку висота хвилі на крок пуансонів, має мінімальну величину при деформації листа 50 мм. При меншій або більшій деформації остаточна кривизна збільшується. Тобто раціональний режим правлення знаходиться при переміщенні верхнього пуансону на 50 мм.

Список посилань

1 Lee J.-B., Kang S.-S. Numerical Modeling of Roller Leveler for Thick Plate Leveling // International Journal of Precision Engineering and Manufacturing. – 2018. – vol. 19, no. 3. P. 425–430. Mode of access: https://doi.org/10.1007/s12541-018-0051-x

2 Mathieu N., Dimitriou R., Parrico A., Potier-Ferry M., Zahrouni H. Flatness defects after bridle rolls: a numerical analysis of levelling // International Journal of Material Forming. – 2011. – vol. 6, no. 2, P. 255–266. Mode of access: https://doi.org/10.1007/s12289-011-1083-2

3 Barabash A. V., Gavril'chenko E. Yu., Gribkov E. P., Markov O. E. Straightening of Sheet with Correction of Waviness // Steel in Translation. – 2014. – vol. 44, no. 12, P. 916–920. Mode of access: https://doi.org/10.3103/S096709121412002X

4 Dratz B., Nalewajk V., Bikard J., Chastel Y. Testing and modelling the behaviour of steel sheets for roll levelling applications // International Journal of Material Forming. – 2009. – vol. 2, P. 519–522. Mode of access: https://doi.org/10.1007/s12289-009-0560-3

УДК 621.9.02:621.9.14

Грицай І.Є., докт. техн. наук, професор
Національний університет «Львівська політехніка», i.gryc@i.ua

ТЕРТЯ ТА ТЕПЛОВІ ПОТОКИ НА ДІЛЯНКАХ КОНТАКТУ ЯК ЧИННИКИ ЗНОШУВАННЯ ЧЕРВЯЧНИХ ФРЕЗ

У наш час нарізання зубчастих коліс черв'ячними фрезами залишається основним технологічним способом виготовлення цих широко поширених деталей машин. Черв'ячні фрези належать до складних у виготовленні та дорогих різальних інструментів, а процес черв'ячного зубофрезерування є одним із найбільш складних для моделювання процесів різання. Приймаючи до уваги ці обставини, а також можливості сучасних комп'ютерних засобів та прикладних програм, була поставлена задача поглиблено дослідити умови тертя і тепловий та температурний режим роботи швидкорізальних черв'ячних фрез для прогнозування зношування їх зубців і лез та розробити методологію для протидії зношуванню цих інструментів.

Для вирішення цієї задачі було розроблено комплекс взаємозвязаних математичних та графоаналітичних моделей, які охоплюють всі елементи процесу зубофрезерування – від 3D моделювання зрізуваних шарів до симулювання контактних, деформаційних, силових і теплових процесів під час зубофрезерування. На основі отриманих моделей було відтворено на рівні окремих лез сили тертя і теплові потоки, які виникають на поверхнях зубців та встановлено закономірності розподілення температури на гвинтовій поверхні черв'ячної фрези. Результати цих досліджень показали наступне.

1. Встановлено, що в основі спрацювання зубців черв'ячної фрези лежать явища різної фізичної природи, а причиною втрати стійкості окремих зубців і лез фрези є не лише тертя на їх контактних поверхнях, як це традиційно трактується. Іншим чинником пришвидшеного зношування є інтенсивність теплових потоків.

2. Врахування контакту між стружкою і поверхнями зубців черв'ячної фрези показало, що при малій площі поверхні контакту сила теплових потоків на таких ділянках зростає, тому при одночасному значному терті їх температура може бути вище критичної. Виявлено дві групи зубців, в яких зношування зумовлено різними причинами та визначено ділянки їх локалізації на робочій поверхні фрези.

3. Значні сили тертя на передніх поверхнях мають місце на *вихідних* лезах зубців двох витків +1 і +2 *вхідної* частини фрези. Тертя є основною причиною абразивного зношування зубців під час різання, тому зменшити зношування зубців цих витків можна нанесенням на їх передніх поверхнях захисних покрить, які повинні мати максимальну протизадирну дію і мінімальний коефіцієнт тертя.

4. Найвища температура різання (640^0C) виникає як результат значних теплових потоків, які присутні на *вершинних* лезах зубців, що належать *вхідному* витку +2 і на *вхідних* лезах зубців витків +1 і +2 (600^0C). Це означає, що частина зубців черв'ячної фрези в цій її активній ділянці будуть піддаватися зношуванню через втрату теплостійкості, а для протидії такому виду зношування потрібний інший вид захисту поверхонь – покриття, що мають підвищену теплостійкістю.

5. Сучасні технології формування захисних покрить дають змогу використати різні види покриття і різні методи їх формування. Зокрема, для створення захисних покрить, що володіють максимальною теплостійкістю можна рекомендувати лазерні технології, електроіскрове легування або плазмове напилення, а для покрить, що забезпечують зменшення тертя на поверхнях - утворення на відповідних поверхнях алмазомістких плівок.

УДК 621.9

Дмитрієв Д.О., докт. техн. наук, професор
Питайло О.Ю., аспірант
Херсонський національний технічний університет, dmitr_da@ukr.net

ВИПРОБУВАННЯ АБРАЗИВНИХ СУМІШЕЙ ПРИ ПОЛІРУВАННІ ПОКРИТЬ АВТОТРАНСПОРТУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МЕХАТРОННОГО МОДУЛЯ

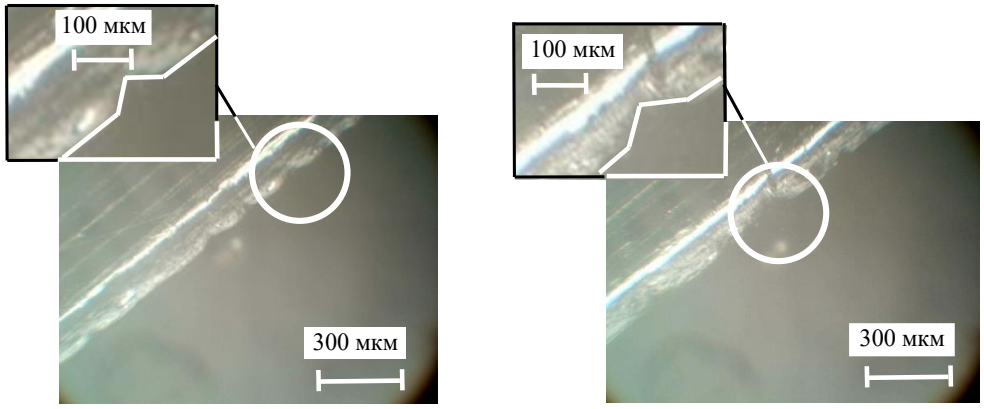
Як правило полірування покриття автомобіля як «косметичну» операцію під час експлуатації виконують вручну або із застосуванням ручних електромеханічних засобів, а геометрія кузову передбачає складні контурні дільниці подвійної кривизни. В таких умовах режими полірування обирають інтуїтивно і надалі використовують як необґрунтований досвід відновлення. Недотримання однакових умов полірування на пряму впливає на ефективність застосування того або іншого складу полірувальних і навпаки може завдати зайві пошкодження існуючому покриттю кузова. Тому важливо мати методологічну основу для спрямованого вибору як складу та компонентів полірувальних сумішей, так і режимів їх застосування з урахуванням властивостей покриття та геометрії поверхні, що обробляється.

Представлені результати отримано під час виконання колективом кафедри автоматизації, робототехніки і мехатроніки Херсонського національного технічного університету госпдоговору на замовлення підприємства ПП «ІнтерСклад» (м. Херсон) від 28.11.2021 р. в атестованій лабораторії механічних випробувань та якості технологічного обладнання Херсонського національного технічного університету. Полірування проводили окремо для 200, 400, 600, 2000, 20 000 циклів (проходів) на трикоординатному маніпуляторі з повторенням огинаючих ліній частини кузова (рис.1, а) [1, 2]. Полірування виконувалось циліндричним притиром діаметром 50 мм з пружною латексною основою жорсткістю 2,5-3,3 Н/мм, зовні якого оздоблено бавовняною тканиною.



а) б)

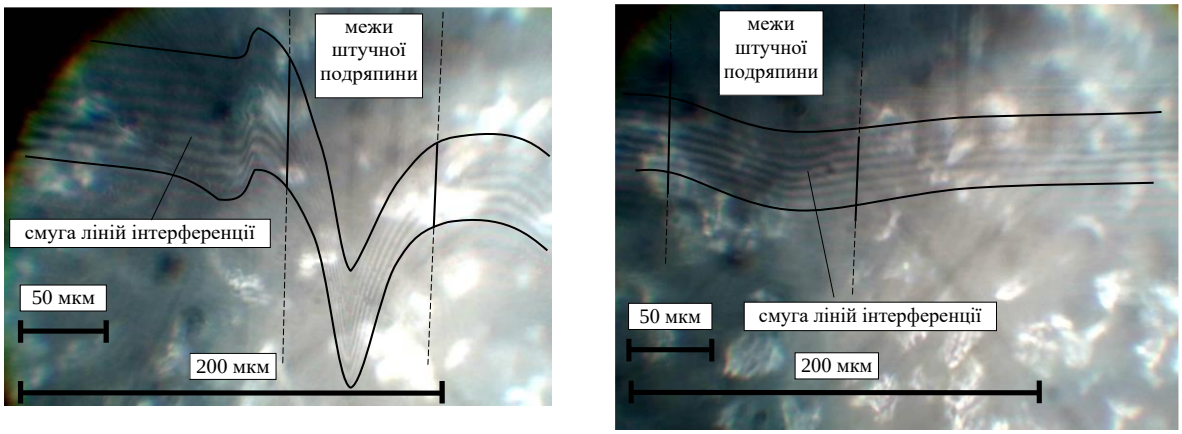
Рис. 1 – Обладнання для випробування абразивної здатності полірувальних паст: а) – трикоординатний маніпулятор; б) – мікротвердомір типу склерометр АИ2.280.005ПС з індентером алмазною пірамідою (нанесення штучних подряпин)



а) б)

Рис. 2 – Мікрофотографії профілю штучних подряпин на поверхні шару фарби (індентор Віккерс): а) – навантаження на індентор 3,0 Н; б) – навантаження на індентор 10 Н

Замовником надано полірувальну пасту еталон з позначенням К2, і промисловий зразок пасти з позначкою 2012. На випробувальні поверхні наносили штучні подряпини алмазною чотирикутною пірамідою Віккерса на приладі АИ2.280.005ПС методом склерометрії з навантаженням на індентор 1 кг, 0,5 кг, 0,3 кг, 0,15 кг, 0,1 кг (рис.1, б).



а) б)

Рис. 3 – Мікрофотографії поверхні з накладеною інтерфереограмою до (а) і після (б) полірування лакофарбового покриття

В якості висновку можна визначити наступне. Застосовано методику випробувань контурного полірування для елементів кузовів автомобілів в рівних умовах для достовірного визначення ефективності абразивних сумішей різних рецептур з використанням автоматизованої «руки», яким є полірувальний маніпулятор замкненої кінематичної структури типу «біглайд» з поворотним столом. Опрацьовано послідовність нанесення і оцінки розмірів та форми рельєфу штучних подряпин, що є основним критерієм визначення абразивної здатності досліджуваних полірувальних сумішей.

Список посилань

1. Рожко О. Компоновки та конструктивні особливості біглайдів та біподів / Рожко О., Кузнєцов Ю. // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів. Актуальні задачі сучасних технологій – Тернопіль 19-20 грудня 2012

2. Філатов Ю.Д. Фізичні засади формоутворення прецизійних поверхонь під час механічної обробки неметалевих матеріалів. Монографія. / Ю.Д. Філатов, В.І. Сідорко, О.Ю. Філатов, С.В. Ковальов. – Київ: Наук. думка, 2017. – 248 с.

УДК 621.89

Широков В.В., докт. техн. наук, професор,
Шахбазов Я.О., докт. техн. наук, професор,
Широков О.В., канд. техн. наук,
Українська академія друкарства, м. Львів, vvshyrokov@gmail.com

ОЦІНКА ВПЛИВУ ВОДНЮ НА ЗНОСОТРИВКІСТЬ МЕТАЛЕВИХ ПОВЕРХОНЬ

Водневе зношування – одна з небезпечних причин руйнування матеріалів при терті. Воно чутливе до концентрації водню в поверхневих шарах деталей та інтенсифікується із її збільшенням. Останнє є результатом виділення водню середовищами і матеріалами, які під час тертя руйнуються, розкладаються, адсорбції водню на поверхні тертя, дифузії водню в деформовані поверхневі шари матеріалів, утворення великої кількості мікротріщин у зоні деформації [1]. Крім того, у вузлах тертя максимальне тепловиділення фіксується під поверхнею тертя. Тому виникають градієнти температур і напружень, які спричиняють ефект накопичення водню під поверхнею та її руйнування.

Відомо, що зношування (руйнування) матеріалу - це наслідок багатократного циклічного деформування деякого приповерхневого об'єму матеріалу. Тут зароджуються мікротріщини, які розвиваються, змикаються, утворюючи частинки зносу. І циклічні навантаження і водневе зношування приводять до видалення матеріалу з поверхонь тертя.

Виходячи з гіпотези, викладеної в моделі [2], швидкість γ-лінійного зношування матеріалу однозначно визначається рівнем діючої в зоні контакту питомої сили тертя τ. (рис. 1).

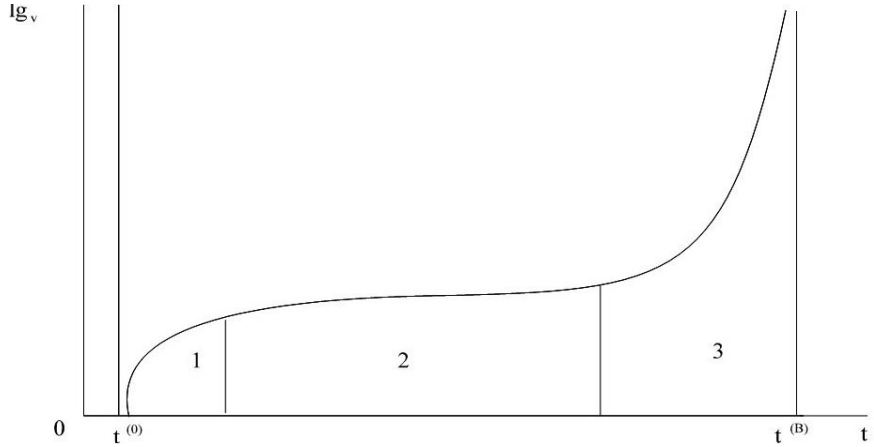


Рис.1 – Залежність швидкості лінійного зношування від питомої сили тертя

Якщо v швидкість переміщення, то I_h-інтенсивність лінійного зношування, також відзначається величиною питомої сили тертя τ. Оскільки γ=v I_h, то функція $I_h = I_h(\tau)$ буде мати аналогічний вигляд. Задавши, що зношування відбувається по-різному за різних концентрацій водню в підповерхневих шарах (ПШ) тіл, що труться отримаємо відповідні криві. Тут $c_o<c_1<...<c_n$ - концентрації водню в поверхневих шарах. Згідно з рис. 2, при збільшенні концентрації водню зменшується ділянка I, що відповідає малим значенням швидкості росту тріщин. В ній не спостерігається збільшення присутніх тріщин та зародження нових. Відповідно зменшується також ділянка II, яка становить майже прямолінійний відрізок. Для діаграми втомного руйнування це період стабільного зростання швидкості розповсюдження втомних тріщин. У цьому випадку формується стійка зона "передруйнування". Ділянка III описує асимптотичне прямування до критичних значень силових характеристик кривої. Це область циклічного зламу. При терті спостерігається перехід від нормальних видів зношування до катастрофічних - задиру,

схоплювання, тощо. Зі збільшенням концентрації водню в ПШ значно швидше відбувається вихід на цю ділянку.

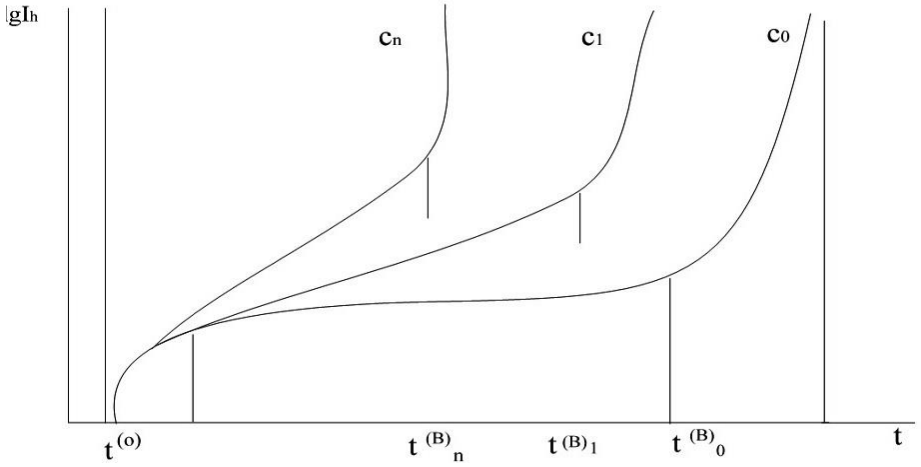


Рис. 2 – Залежність інтенсивності лінійного зношування від питомої сили тертя

Згідно теорії об'ємної втоми встановлено, що однією із характеристик втомного розповсюдження тріщин є діаграма втомного руйнування яка подає графічну залежність швидкості розповсюдження втомної тріщини v_T від коефіцієнта інтенсивності напружень $к_I$. Згідно з рис. 3 ця діаграма є якісно подібною до діаграми, на рис. 1.

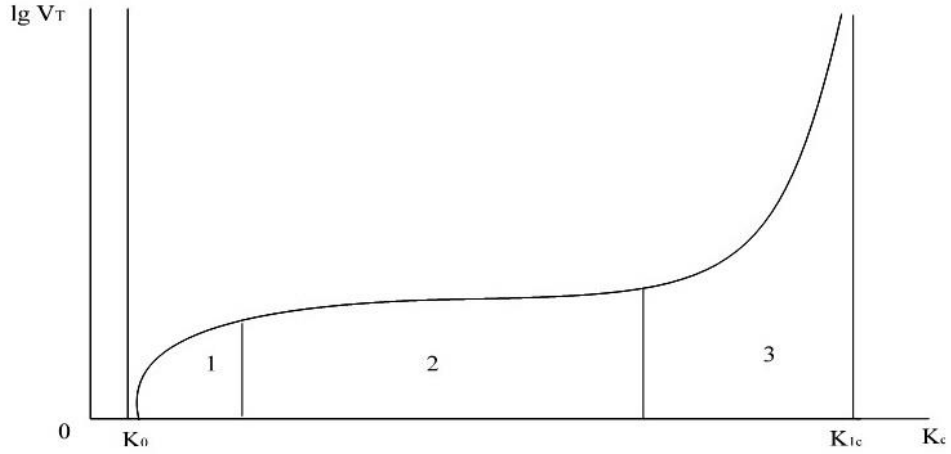


Рис. 3 – Залежність швидкості розповсюдження втомної тріщини v_T від коефіцієнта інтенсивності напружень

Цю криву можна назвати діаграмою фрикційного втомного руйнування. Важливо, що обидві діаграми мають характерні точки і області, в яких проходять подібні процеси руйнування. Величини $к_o$ і $\tau^{(o)}$ - це початкові або порогові значення коефіцієнту інтенсивності напружень і питомої сили тертя, нижче яких мікротріщини не зароджуються. $к_{1c}$ і $\tau^{(в)}$ - відповідно критичні значення. Можна припустити, що при збільшенні концентрації водню в ПШ (рис. 4) будуть мати місце знайдені залежності, де $c_o<c_1<...<c_n$ - концентрація водню в підповерхневих шарах. Тобто, при збільшенні концентрації водню повинні зменшуватись критичні значення коефіцієнту інтенсивності напружень k_{Ic}: $k_{Ic}^0 > k_{Ic}^1 > \ldots > k_{Ic}^n$. Очевидно, ці міркування потребують експериментального підтвердження.

Використавши модель Андрейківа-Чернеця, можемо записати наступні співвідношення:

$$\Phi_k(\tau) = A_k\left[\left(\frac{\tau_k^{(b)} - \tau_k^{(0)}}{\tau - \tau_k^{(0)}}\right)^{m_k} - 1\right] \text{ (повна діаграма зносостійкості матеріалу),}$$

$$\Phi_k(\tau) = \frac{B_k}{[\tau - \tau_k^{(0)}]^{m_k}}$$ (неповна діаграма зносостійкості матеріалу)

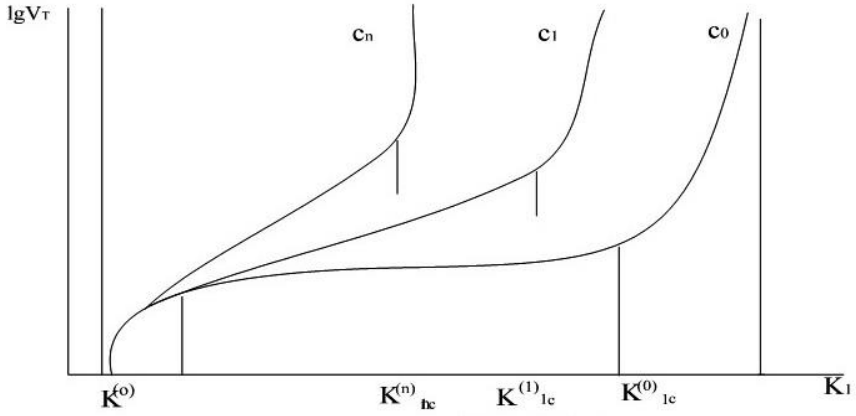


Рис.4 – Швидкість розповсюдження втомної тріщини v_T залежно від коефіцієнта інтенсивності напружень при різних концентраціях водню

У вищенаведених співвідношеннях використано наступні позначення:

$\Phi_k(\tau)$ – характеристична функція зносостійкості і $I_k = \Phi_k^{-1}(\tau)$ (Рис.5).

Коефіцієнти A_k, c, B_k, m_k – характеристики зношування матеріалів пари тертя.

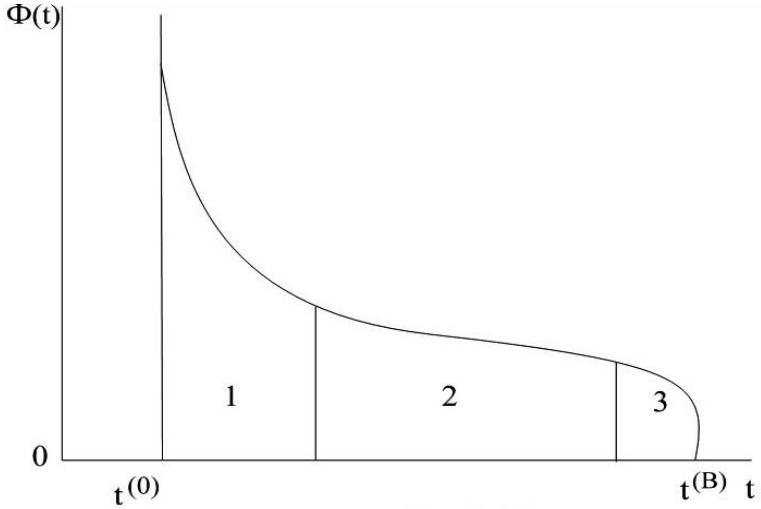


Рис.5 – Характеристична функція зносостійкості

Було б важливо отримати співвідношення виду: $A_K=A_K(C), B_K=B_K(C)$, де c – концентрація водню в приповерхневих шарах. Тоді, згідно моделі [2]:

$$\frac{1}{v}\frac{dh_k(\xi,\eta,t,c)}{dt} = \Phi_k^{-1}(\tau,c),$$

де $h_k(\xi,\eta,t,c)$ – функції, що характеризують лінійне зношування по нормалі до поверхні.

Введені характеристики матеріалів пар тертя $A_K(c)$ і $B_K(c)$ найзручніше знайти будь-яким наближеним методом, виходячи з експериментальних значень $\Phi_K(\tau,c)$. Для знаходження питомої сили тертя застосовуємо закон Амонтона-Кулона $\tau = fp$, де p –контактний тиск, а f – коефіцієнт тертя.

Таким чином, гіпотеза про вплив водню, що знаходиться в приповерхневих шарах, на зносостійкість матеріалів пар тертя потребує втілення у кількісних співвідношеннях, які можна закласти у модель зношування, запропоновану Андрейківим-Чернецем, та потребує відповідних експериментальних підтверджень.

Список посилань

1. Широков В. В. Водневе зношування як порушення граничної рівноваги пружного стану приповерхневих шарів металевих тіл тертя / В. В. Широков, І В. Калиняк, О. В. Широков // Наукові нотатки. – 2011. – Вип. 32. – С. 489-497.
2. Андрейкив А. Е. Оценка контактного взаимодействия трущихся деталей машин. / Андрейкив А. Е., Чернец М. В. – Київ, 1991. –154 с.

УДК 621.715.4

Олійник С.Ю., канд. техн. наук,
Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ,
dgma.tm.su.oleynik@gmail.com

ЗАСТОСУВАННЯ МАГНІТОРЕОЛОГІЧНИХ ЕЛАСТОМЕРІВ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ ВІБРАЦІЇ ТОНКОСТІННИХ ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ ОБОЛОНОК НА ОПЕРАЦІЯХ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

Тонкостінні оболонкові деталі авіаційної та ракетної техніки характеризуються складною формою профілю, широким діапазоном розмірів, різноманітністю матеріалу з якого вони виготовлені та можуть мати конструктивні елементи. Через високі вимоги до робочих поверхонь оболонок механічна обробка є необхідним етапом виготовлення таких виробів [1; 2]. Механічна обробка ускладнюється через податливість заготовки під дією сил різання і закріплення та виникнення неприпустимого рівня коливань в технологічній системі. Досягнути зниження деформації заготовки та вібрацій в технологічній системі можливо при використанні спеціальних пристосувань або відповідних знижених режимів різання. Сучасне виробництво характеризується швидкозмінністю, тому повинно мати гнучкість при збережені продуктивності. При знижені режимів різання неминуче буде втрата продуктивності. Більш ефективним є точна оцінка та прогнозування похибок, які виникають в процесі механічної обробки.

В сучасній спеціальній літературі є достатньо високий інтерес відносно дослідження динамічної поведінки та методів її оцінки для тонкостінних оболонок різної форми с різними граничними умовами її затискання. В досліджені [3] моделювання та результати чисельних розрахунків показали, що система циліндричних оболонок з постійним проміжком демонструє безліч нелінійних явищ, серед яких біфуркація подвоєння періоду, мультиперіодичні та квазіперіодичні, хаотичні рухи.

В досліджені, яке представлено в роботі [2] показано, що для демпфування коливань оболонкової деталі було запропоновано накладати гнучкий лист, який гасить високочастотну складову завдяки своїм динамічним властивостям. Для гасіння низькочастотних коливань використовувалися дискретні маси, які встановлювались на заготовці за допомогою клею. Недоліком такого рішення є те, що його неефективно використовувати для оболонок складної форми. В дослідження [4] було проведено моделювання динамічних параметрів підсистеми «оправка-заготовка» для відомих варіантів конструкцій затискного пристрою. Серед розглянутих конструкцій пристосування, які містять барабан для внутрішньої і оправку для зовнішньої обробки виробу з додатковими вузлами фіксації стінки виробу. Інше пристосування має гумову камеру, яка розташована уздовж поверхні виробу між вузлами фіксації. Камера наповнюється рідиною, що дозволяє зменшити деформації стінки під час обробки розподілив тиск від шліфувальної головки на всю поверхню. Для порівняння також було розглянуте пристосування, яке запропоновано в патенті [5] та реалізує вертикальну схему обробки.

Результат моделювання показав, що достатньо забезпечити наявність двох опор для фіксації профілю заготовки оболонки по всій контактній поверхні без зазорів, базування по торцевій поверхні, наявність схеми установки, що дозволяє виконати обробку повного

профілю заготовки. Проблема полягає в тому, що базова поверхня заготовки має низьку точність як за розміром так і за формою і концентричністю зовнішньої та внутрішньої поверхні, що і впливає на появу проміжку на циліндричній опорі при встановлені. Це задає необхідність створити спосіб компенсації похибки базової поверхні заготовки під час її затискання на опорах оправки, підвищити жорсткість стінки заготовки та передбачити можливість демпфування коливань під час обробки.

В якості елемента для компенсації зазору та підвищення жорсткості опори розглянуто магнітореологічний елемент. Властивості розумних матеріалів, які пов'язані зі змінними фізико-механічними характеристиками, можуть допомогти в розробці технологічної оснастки нового покоління. Під впливом однорідного магнітного поля в деталях з м'яких магнітореологічних еластомерів (ММЕ) виникає деформація – магнітострикційний ефект. У середньому помірне магнітне поле здатне подовжити зразок такого матеріла на 10–16% [6]. Крім того ММЕ властиво змінювати модуль пружності та витрат під дією магнітного поля, що в дослідженні [6] показало збільшення жорсткості на 25% та коефіцієнта демпфування в 4,7 разів зразків з ММЕ.

Огляд зразків магнітореологічних матеріалів показав, що властивості таких матеріалів значно залежать від їх структури, що безпосередньо впливає на очікуваний результат в технологічній системі в цілому. Результат експериментальних дослідження статичних характеристик показав, що при використанні магнітного поля з індукцією 0,6 Тл демпфування у зразках магнітореологічного еластомеру з анізотропною структурою зростає у 4 рази вище, ніж їх жорсткість. Відомі дослідження підвищення коефіцієнта дисипації такого матеріалу в магнітному полі [7], але в дослідженнях [8] вказується що магнітне поле майже не впливає на коефіцієнт демпфування. Більша частина розсіювання енергії коливань викликається фрикційним ковзанням на межі між резиновою матрицею та феромагнітною частинкою [9]. Таким чином, при проєктуванні систем з використанням магнітореологічного еластомеру необхідно вибрати тип структури матеріалу та визначити режим його роботи. Для зниження обсягу проведення дорогих експериментальних досліджень, метою яких є оцінка впливу властивостей магнітореологічних елементів на працездатність конструкції, розробляється відповідна численна модель, яка дозволяє вибрати структуру магнітореологічного матеріалу з направленими властивостями.

Список посилань

1. Поколенко, Д. В. Підвищення ефективності обробки антенних обтічників із ситалів за рахунок удосконалення технології алмазного шліфування : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.02.08 « Технологія машинобудування » / Поколенко Дмитро Валерійович ;. ДонНТУ – Донецьк, 2014. – 20 с.

2. Kolluru Kiran. A solution for minimising vibrations in milling of thin walled casings by applying dampers to workpiece surface / Kiran Kolluru, Dragos Axinte, Adib Becker // CIRP Annals – Manufacturing Technology. – 2013. – № 62. – P. 415–418.

3. Qiansheng Tang. Analysis on Forced Vibration of Thin-Wall Cylindrical Shell with Nonlinear Boundary Condition / Qiansheng Tang, Chaofeng Li, Bangchun Wen. – 2016. – vol. 2016. – 22 p.

4. Oliinyk S.Yu. Technological fixtures for machining of large-sized thin-walled shells of complex profile / S.Yu. Oliinyk, L.P. Kalafatova // Cutting & tool in technological system. – Kharkiv NTU «KhPI». – 2021. – №94, С. 28–41.

5. Patent US 2012/0032053 A1, F16M 13/00 (2006.01), B29C 31/08 (2006.01). Fixture for securing a thin-walled component / Mattthew Marshall Sheffield (GB); assignee ROLLS-ROYCE PLC, London (GB). – № PCT/EP2010/000405; PCT Fled: Jan 25, 2010; date: Sep. 27, 2011, 13/148,591. – p. 7.

6. Oleg V. Magnetostriction effect in soft magnetic elastomers / Oleg V. Stolbov, Yuriy L. Raikher // Archive of Applied Mechanics. – 2019. – No. 89. – P. 63–76.

7. Kallio M. The elastic and damping properties of magnetorheological elastomers / Kallio M. – VTT Publications, 2005. – 149 pp.

8. Li Y. A highly adjustable magnetorheological elastomer base isolator for applications of real-time adaptive contro / Li Y, Li J, Tian T, Li W // Smart Mater. Struct. – 2013. – 22.

9. Fan Y. Interfacial friction damping properties in magnetorheological elastomers / Fan Y, Gong X L, Xuan S, Zhang W, Zheng J, Jiang W // Smart Mater. Struct. – 2011. – № 20.

УДК 621.793.620.172

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

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПОВЕРХНЕВОГО ЗМІЦНЕННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Для збільшення життєвого циклу виробів важливішою складовою є забезпечення експлуатаційних властивостей деталей машин. Для вирішення цього завдання використовують зміцнювальні методи [1]. Створення на поверхні деталі зміцненого шару з особливими властивостями, що будуть відрізнятись від основного шару металу, дозволяє підвищити експлуатаційні характеристики виробу.

Авторами цієї роботи виконано дослідження двох комбінованих методів обробки робочих поверхонь деталей: фрикційне електроімпульсне модифікування дисульфідом молібдену та зміцнення робочої поверхні методом алюмотермії на відкритому повітрі.

Особливістю першого методу зміцнення є наступне [2]: на поверхню наноситься шар у вигляді твердого мащення з наступним вигладжуванням з одночасним пропусканням імпульсного електричного струму прямокутної форми через зону контакту інструмента з деталлю. Внаслідок цього утворюється дискретна структура у вигляді зміцнених фрагментів.

Особливістю другого методу зміцнення є насичення поверхні оброблюваної деталі хромом із використанням методу алюмотермії, що ініційований електричним імпульсом від електроду на відкритому повітрі [3].

Дослідження зносостійкості зразків зі сталі 40ХН, що були зміцнені двома вищезгаданими методами, виконувалось з використанням методу штучних баз [4]. Випробування проводилось на устаткуванні за методикою випробувань на машині тертя за схемою «диск-колодка».

Результати металографічних досліджень свідчать про те, що досліджені методи забезпечують збільшення мікротвердості поверхні у 3 рази, глибина зміцненого шару 0,25 мм. Зносостійкість після електроімпульсного вигладжування збільшується в 1,8 рази, після алюмотермії – в 2 рази. Інтенсивність зношення поверхні після електроімпульсного вигладжування зменшується в 1,6 рази, після алюмотермії – в 1,8 рази.

Список посилань

1. Ющенко К.А. Інженерія поверхні / К.А. Ющенко, Ю.С. Борисов, В.Д. Кузнецов, В.М. Корж. – К.: НВП «Вид-во Наукова думка» НАН України, 2007. – 558 с.

2. Тулупов В.І. Дослідження зносостійкості металевих зразків після електроімпульсного вигладжування з модифікуванням поверхні / В.І. Тулупов, С.Г. Онищук // Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. Матеріали XVIII міжнародної науково-технічної конференції, 21-24 грудня 2020 р., Краматорськ, 2020. – С. 89.

3. Тулупов В.І. Дослідження способу зміцнення металевих зразків методом алюмотермії / В.І. Тулупов, С.Г. Онищук // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС-2021): матеріали тез доповідей XI міжнародної науково-практичної конференції (м. Чернігів, 26-27 травня 2021 р.) : у 2-х т. / Чернігівський національний технологічний університет [та ін.]: відп. за вип. Єрошенко А.М. – Чернігів: ЧДТУ, 2021. – Т.1. – С.97.

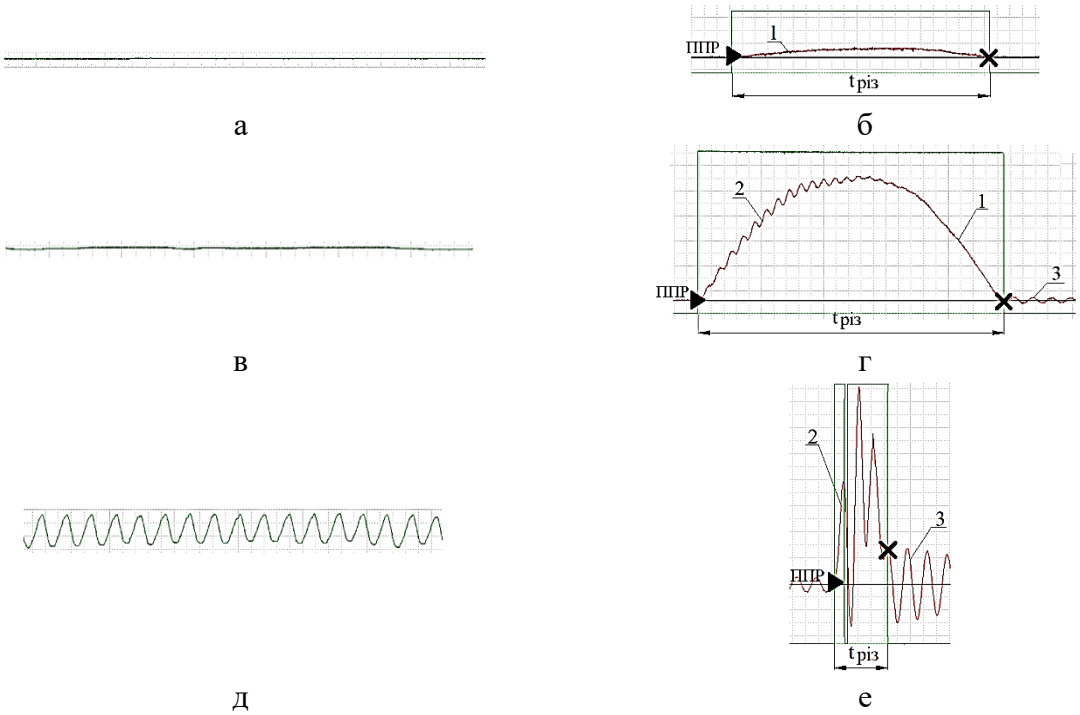
4. Ефремов Л. В. Ускоренные испытания стальных образцов на износостойкость методом искусственных баз / Ефремов Л. В., Тикалов А. В., Бреки А. Д. // Изв. вузов. Приборостроение. 2016. – Т. 59. – № 8. – С. 671-676.

УДК 621.9

Дядя С.І., канд. техн. наук, доцент,
Козлова О.Б., канд. техн. наук,
Карамушка Д.Р., студентка,
Кушнір Є.В., студент
Національний університет «Запорізька політехніка», kozlova@zntu.edu.ua

ВПЛИВ ВИДІВ КОЛИВАНЬ НА ФОРМУВАННЯ ПОВЕРХНІ ПРИ КІНЦЕВОМУ ФРЕЗЕРУВАННІ

Якість роботи будь-якого виробу залежить від якості виготовлення деталей, з яких він складається. При цьому знання процесів, що відбуваються при різання матеріалів, дозволяє забезпечувати продуктивність обробки та знижувати її собівартість. Тому для кінцевого фрезерування актуальним є визначення впливу різних видів коливань на утворення обробленої поверхні. При кінцевому фрезеруванні в залежності від швидкісної зони [1] діють вимушені коливання, вільні коливання та власні коливання системи «інструмент-деталь», які раніше вважилася автоколиваннями. Незалежно від напрямку подачі в перших двох зонах оброблена поверхня рівна, без хвилястості (рис.1 а, в; 2 а, в). В третій швидкісній зоні поверхня має хвилясту форму (рис.1 д, 2 д).



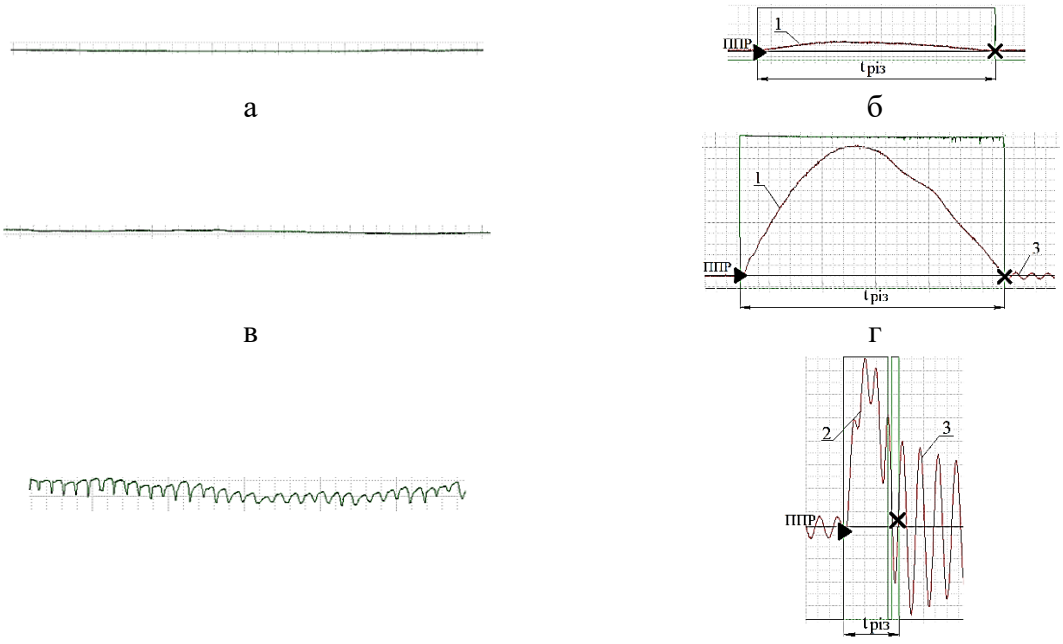
а б в г д е

► - точка врізання інструмента в деталь; × - точка виходу інструмента з деталі
1 – вимушені коливання; 2 – власні коливання деталі в системі «інструмент-деталь»;
3 – вільні коливання деталі; ППР – положення пружної рівноваги; $t_{різ}$ – час різання

Рис.1 – Профілограми та фрагменти осцилограм після зустрічного фрезерування з різними видами коливань

Схеми зустрічного і попутного фрезерування, які наведені в різних літературних джерелах [2 та ін.], показують, що в першому випадку оброблена поверхня формується ділянками поверхні різання, що залишаються від початку різання. В другому випадку оброблена поверхня формується ділянками поверхні різання, що залишаються при виході фрези. Тобто при русі подачі деталі кожна наступна ділянка від поверхні різання буде розташована попереду попередньої. Така картина спостерігається за умови, що час різання

($t_{різ}$) при кожному різанні зубом фрези буде однаковим. Ця умова виконується в першій та другій швидкісних зонах коливань. Западини, що залишаються на обробленій поверхні, знаходяться на однаковій відстані від положення пружної рівноваги (ППР) деталі.



► - точка врізання інструмента в деталь; × - точка виходу інструмента з деталі
1 – вимушені коливання; 2 – власні коливання деталі в системі «інструмент-деталь» ;
3 – вільні коливання деталі, ППР – положення пружної рівноваги; $t_{різ}$ – час різання

Рис.2 – Профілограми та фрагменти осцилограм після попутного фрезерування з різними видами коливань

Тому в перших двох швидкісних зонах коливань оброблена поверхня рівна. Щодо коливань при різанні в третій швидкісній зоні, то через те, що вони не є такі, що встановилися та незатухаючі, що характерно для автоколивань, тому за визначенням Я.Г. Пановко [3] – це супутні коливання з власною частотою деталі в системі «інструмент-деталь», які більші, ніж її вільні коливання. В третій швидкісній зоні ці коливання мають інтенсивність, що впливає на час різання і на хвилястість на поверхні різання. При цьому час різання при зустрічному і попутному фрезеруванні змінюється з періодичністю, що визначається величиною подачі та періодом коливань деталі при різанні. Така закономірність не впливає на формування обробленої поверхні при зустрічному фрезеруванні і кожна наступна западина, що залишається від поверхні різання, знаходиться попереду попередньої. Але відстань від западин до положення пружної рівноваги різна. Це зумовлює хвилястість на обробленій поверхні, що успадковується від поверхні різання. При попутному фрезеруванні в третій швидкісній зоні коливань періодична зміна часу різання впливає на те, що кожна наступна западина, що залишається від поверхні різання, знаходиться позаду попередньої і її відстань до положення пружної рівноваги зменшується. Це зумовлює хвилястість на обробленій поверхні, але її крок при попутному фрезеруванні менший, ніж при зустрічному.

Список посилань

1. Дядя С. И. Систематизация колебаний при концевом фрезеровании тонкостенных элементов деталей [Текст] / С. И. Дядя, Е. Б. Козлова, Э. В. Кондратюк, А. Е. Зубарев, В. А. Кришталь // Вестник двигателестроения. №1, 2016. С. 68-71.

2. Грановский Г. И. Резание металлов [Текст] / Г. И. Грановский, В. Г. Грановский – М.: Издательство «Высшая школа», 1985. – 304 с.
3. Пановко Я. Г. Основы прикладной теории колебаний и удара [Текст] /Я. Г. Пановко – Л.: Машиностроение, 1976. – 320 с.

УДК 621.762:678-19

Пастернак В.В., канд. техн. наук
Луцький національний технічний університет, Shyberko@ukr.net

ПРОЕКТУВАННЯ ДІЛЬНИЦІ З РОЗРОБКОЮ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ КОРПУС КЗК 6.02.004

Розвиток машинобудування визначається як розробкою принципово нових конструкцій машин, так і вдосконалених технологій їх виготовлення [1]. У деяких випадках саме технологічність конструкції дозволяє підвищити якість та економічність засобів технологічного оснащення, створити максимально ефективний маршрут технологічних процесів, використовувати ефективну систему керування, планувати етапи виробництва, а також поєднувати комплексну автоматизацію виробництва на базі сучасного обладнання [1]. Тому важливим завданням є створення найбільш ефективного технологічного процесу виготовлення даної деталі – корпус. На рис. 1 представлено 3D креслення деталі – корпус КЗК 6.02.004.

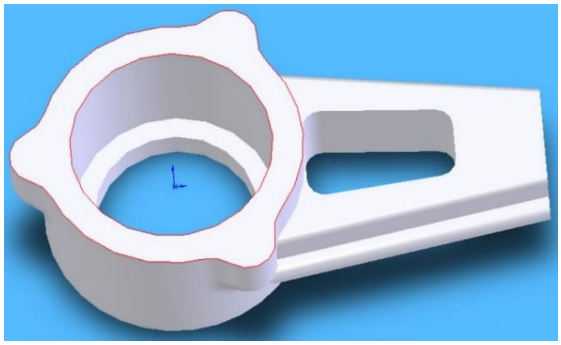


Рис. 1 – Корпус моделі КЗК 6.02.004

Механічні властивості і допустимі норми згідно ГОСТ 977-88 представлені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Механічні властивості деталі

Термо-обробка	Межа міцності, $\sigma_в$, МПа	Межа текучості, $\sigma_{0,2}$, МПа	Відносне видовження, δ, %	Відносне звуження ψ, %	Ударна в'язкість, KCU, Дж/см²	Витри-валість, σ_{-1}, МПа	Твердість, *НВ*, МПа
Нормаліза-ція	450	240	19	30	40	206	124 ...207
Загарту-вання	500	300	22	33	35		

Слід відмітити, що корпус моделі КЗК 6.02.004 має хороші базові поверхні для першочергових операцій. Вимоги до точності і шорсткості деталі, а також до більшості оброблюваних поверхонь невеликі. Що у свою чергу підвищує можливості застосування різноманітних засобів технологічного оснащення та обладнання. А також, дозволяє використовувати для механічної обробки стандартні або нескладні пристрої.

Список посилань

1. Боженко Л.І. Технологія виробництва заготовок в машинобудуванні / Л.І. Боженко. – К.: УМКВО, 1990. – 264 с.

УДК 621.9.08

Молчанов В. Ф. , канд. техн. наук, доцент
Дніпровський державний технічний університет, v_molchanov@ukr.net

АНАЛІЗ ОСНОВНИХ НАПРЯМІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТОЧНОСТІ В АВТОМАТИЗОВАНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Вибір способів досягнення точності обробки і стабільне забезпечення параметрів якості деталей - складне і багатоваріантне завдання. Для його вирішення необхідно розглядати технологічний процес як систему, усередині якої існують складні причино-наслідкові і тимчасові зв'язки. Представлення технологічних процесів, як складних систем, обумовлює необхідність детального аналізу окремих операцій, вивчення їх логічної структури і взаємозв’язку, визначення законів перетворення параметрів і якості об'єкту виробництва в умовах трансформації перетворюючої системи зі зміною часу. Будь-який технологічний процес, як система, може бути представлений у виді «чорної скриньки», на вході якої матеріал, енергія і інформація, на виході - результат. Деталь, отримана на виході технології, відрізняється масою, енергією, змістом і кількістю розміщеній в ній інформації. Відмінність інформації полягає у зміні форми заготовки. Інформація, що поступає на вхід системи (технології), задається у вигляді креслення і представлена в умовному (символьному) виді. На виході - в «натуральному», тобто у виді готової деталі, яка має певні геометричні розміри і форму окремих поверхонь. Точність обробки є поняттям комплексним і характеризується відхиленнями реально отриманих поверхонь відносно геометричного еталону (в даному випадку креслення). Таким чином, процес формування нової поверхні, як функції технології з інформаційних позицій, полягає в перенесенні геометричної інформації креслення з символьного виду в натуральний. Фізична суть процесу полягає в зміні геометричних розмірів і форми вихідної заготовки в результаті зрізання або нанесення матеріалу під дією підведених енергетичних потоків. У автоматизованих виробництвах передумовою процесу утворення нових поверхонь є процес перетворення інформації, пов'язаний з її перенесенням на проміжні носії (кулачки, копіри, управляючі програми і тому подібне).

У загальному виді основним функціям технології процесу відповідають два етапи:

1 - перетворення заданої геометричної інформації з символьної форми (креслення) в натуральну (деталь);

2 - перенесення отриманої інформації на заготовку.

При обробці партії заготовок на заздалегідь настроєному верстаті по величині заданого на кресленні розміру встановлюється положення інструменту відносно баз (перетворення інформації) і виконується механічна обробка (перенесення інформації). На кожному з етапів технології виникають похибки. При перенесенні інформації на проміжні носії виникає похибка, яка визначається точністю виготовлення еталону (наприклад, копіру), якістю апроксимації при складанні управляючих програм, статичною похибкою настроювання устаткування і тому подібне. Перетворення геометричної інформації із символьного виду в натуральний проходить шляхом керованого використання еталонів геометричних елементів (прямі лінії, площини, кола, тіла обертання), які дозволяють відтворити можливості технологічного устаткування.

Похибки, що виникають внаслідок перетворення геометричної інформації, називають кінематичними. До них відносяться похибки, обумовлені приближенням схем обробки до реального геометричного еталону. Істотне джерело похибок - енергетичні потоки, які виникають (або підводяться) при перенесенні інформації. Похибки, утворенні в результаті дії енергетичних потоків, можуть мати зворотний і незворотний характер. Зворотні - це похибки, які зникають після закінчення процесу обробки (до них відносять пружні деформації, вібрацію вузлів обладнання та ін.). До незворотних відносяться знос вузлів

верстату та інструменту, зниження динамічних характеристик верстатів і тому подібне. Джерелом похибок можуть бути і контрольні операції. Точність їх виконання залежить від роздільної здатності вимірювальних приладів і похибок прийнятої схеми вимірів.

Результуючу похибку виготовлення деталі $\Delta_{\sum}$ для технологічного процесу з n операцій можна представити у вигляді суми векторів:

$$\Delta_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{n}\left(\Delta_{пні} + \Delta_{прі} + \Delta_{кі} + \Delta_{езі} + \Delta_{ензі} + \Delta_{коні}\right), \quad (1)$$

де $\Delta_{пні}$ - похибка, що вноситься проміжним носієм інформації;

$\Delta_{прі}$ - похибки, що виникають при перетворенні інформації з проміжного носія в натуральну форму;

$\Delta_{кі}$ - кінематичні похибки способу обробки;

$\Delta_{езі} + \Delta_{ензі}$ - відповідно зворотні і незворотні похибки, що виникають від дії енергетичних потоків;

$\Delta_{коні}$ - похибки контролю.

Процеси утворення поверхонь умовно можна розділити на керовані (що виконуються за замкнутою схемою з можливістю внесення необхідних корекцій) і некеровані (що не дозволяють впливати на результат вже початого процесу).

У керованих технологіях точність виготовлення деталі може досягатися за рахунок створення систем із зворотними зв'язками (адаптивних), які базуються на інформацію про геометричні параметри виробу (датчики і прилади контролю розмірів), а також на основі інформації про енергетичні характеристики процесу (потужності, сили, пружні і температурні деформації). На практиці технологічні процеси бажано проводити на керованому устаткуванні за некерованою схемою, як найбільш простою і яка не вимагає додаткових капіталовкладень.

Перспективним направленням в умовах багатономенклатурного виробництва є спільне використання обох способів, тобто створення систем комбінованого адаптивно-програмного управління.

Суть такого управління полягає в тому, щоб використовувати одні джерела похибок («негативні ефекти») супутні будь-якому способу обробки, для усунення інших джерел похибок, тобто використовувати «протиріччя», наявні усередині окремої операції або в ході усього технологічного процесу.

Стратегія управління точністю технологічних процесів і окремих операцій зводиться до того, щоб результуюча похибка деталі (формула I) знаходилась в межах допуску. Оскільки складові похибок - величини векторні, немає необхідності зменшувати кожну з них. Досить вибрати такі поєднання похибок, при яких їх сума була б мінімальною, або знаходилась в межах допуску. Тобто, необхідно забезпечити такий закон зрізання (нанесення) матеріалу з оброблюваної заготовки, щоб утворилася поверхня, яка має мінімальне, або в допустимих межах відхилення від заданого еталону.

Таким чином, виконані теоретичні дослідження по вивченню впливу окремих вхідних змінних параметрів технологічної системи на процеси, що протікають при механічній обробці, дозволяють на стадії проектування операцій заздалегідь розрахувати очікувану точність і визначити методи її забезпечення [1].

Список посилань

1. Molchanov, V.F. (2022). Ensuring accuracy in conditions automated production. The Second Special Humanitarian Issue of Ukrainian Scientists. European Scientific e-Journal, 3 (18), __-__. Ostrava: Tuculart Edition. DOI: 10.47451/inn2022-04-03.

УДК 621.7.06

Басов Б.С., аспірант
Кушніров П.В., канд. техн. наук, доцент
Сумський державний університет, p.kushnirov@tmvi.sumdu.edu.ua

ПІДВИЩЕННЯ ЖОРСТКОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ОСНАСТКИ ДЛЯ ОБРОБЛЕННЯ ПЛОЩИН ЗАГОТОВОК

Підвищення жорсткості технологічної оснастки для оброблення заготовок з плоскими поверхнями, наприклад, станин або столів паперорізальних машин, є актуальним завданням. Від цього залежить подальше зростання технічного прогресу у низці базових галузей машинобудування – у верстатобудуванні, насособудуванні, важкому машинобудуванні, поліграфічній промисловості. Наприклад, великогабаритні заготовки столів паперорізальних машин внаслідок значних розмірів оброблюваних площин та малої товщини мають знижену жорсткість. Застосовувані конструкції верстатних пристроїв для установлення таких заготовок, а також існуючі методи досягнення вимог точності, не завжди дозволяють проводити високоефективне оброблення, оскільки технологічна система зі зниженою жорсткістю накладає обмеження з глибин різання та подач ріжучого інструменту.

Якщо згідно з технологічним процесом оброблювана заготовка встановлюється на різних операціях на одні й ті ж самі опорні поверхні, то одним з рекомендованих варіантів базування може стати пристрій-супутник, який переміщується разом із заготовкою від одного верстата до іншого. Це призводить до зниження похибки установлення, до економії допоміжного часу на встановлення заготовки.

Для підвищення жорсткості верстатних пристроїв при механічному обробленні плоских поверхонь великогабаритних заготовок, наприклад, столів паперорізальних машин, пропонується провести удосконалення конструкції допоміжної опори, що підводиться, шляхом застосування опори нової конструкції.

Допоміжні опори, які використовують зараз на виробництві, мають деякі конструктивні недоліки, що не дозволяють їм забезпечити достатню жорсткість. Також ці опори мають великі габарити та власну масу, що ускладнює їх обслуговування.

Розроблена конструкція допоміжної підвідної опори зі сферичною основою дозволяє поряд із компактністю виконання досягти більш високої жорсткості, забезпечити контакт без зазору опорної поверхні штиря із заготовкою, знизити вібрації при обробленні та, відповідно, підвищити якість й точність оброблення, зокрема, торцевим фрезеруванням з використанням надтвердих матеріалів.

Таким чином, підвищення жорсткості допоміжних опор, що підводяться, дає можливість проводити високоефективне механічне оброблення великогабаритних заготовок з плоскими поверхнями.

Список посилань

1. Боровик, А. І. Технологічна оснастка механоскладального виробництва [Текст] / А.І.Боровик.– К. : Кондор, 2008. – 726 с.

2. Опоры самоустанавливающиеся для станочных приспособлений. Конструкция (Adjustable jacks for machine retaining devices. Design) : ГОСТ 13159-67 [Текст]. – [Введен 1968–07–01]. – М.: Изд-во стандартов. Переиздание, май 1990. – 12 с.

3. Basov, B., Dynnyk, O., Stupin, B., & Kushnirov, P. Improvement of Ergonomic Properties of Auxiliary Supports of Fixtures / Modern systems of science and education in the USA, EU and other countries ‘2022: Sworld-Us conference proceedings. – Seattle, USA: SWorld&ProConference in conjunction with KindleDP, 2022. No 9 on January 31. – pp. 11-14.

УДК 621.01: 621.77.04

Цибуленко В.О., аспірант,
Ковальов М. В., магістр,
Сонець О.В., магістр,
Воронцов Б.С., докт. техн. наук, професор
Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського»,
momosc2tv@gmail.com

ОГЛЯД ГІБРИДНОГО АДДИТИВНОГО ВИРОБНИЦТВА, ПОЄДНАННОГО LASER POWDER BED FUSIONI С ВИСОКОШВИДКІСТНИМ ФРЕЗЕРУВАННЯМ

Для покращення якості поверхні деталей виготовлених адитивним способом, для забезпечення тих вимог, та тих якостей шорсткості поверхні, які вимагаються на технічних поверхнях, функціональних поверхнях та жорстких допусків, та обмежувальних стандартів процесу або стерильності в медичних виробах, 3D-друкарські деталі, як правило, піддаються подальшій обробці в наступних процесах за допомогою, точіння, фрезерування, або коротко струминної обробки, відповідно. З метою зниження виробничих зусиль у таких технологічних ланцюжках розроблено різні гібридні підходи, що поєднують адитивні з субтрактивними процесами. Перспективний варіант цих гібридних підходів поєднує в собі лазерне наплавлення порошку (Laser powder bed fusion (LPBF)) з in situ фрезеруванням [1], що забезпечує свободу проектування, що пропонується адитивним виробництвом у поєднанні з точністю та якістю поверхні прецизійного фрезерування в рамках одного автоматизованого процесу [2]. Зокрема, прецизійне фрезерування дозволяє проводити виготовлення деталей з високою доданою вартістю з високою точністю форми та чудовою якістю поверхні, яке як правило, недоступне для чистого LPBF, що дозволяє використовувати механічні або біомедичні застосування. Просування таких гібридних підходів потребує ретельного розмежування фундаментальних властивостей цих нових технологій, їх обмежень та вимог.

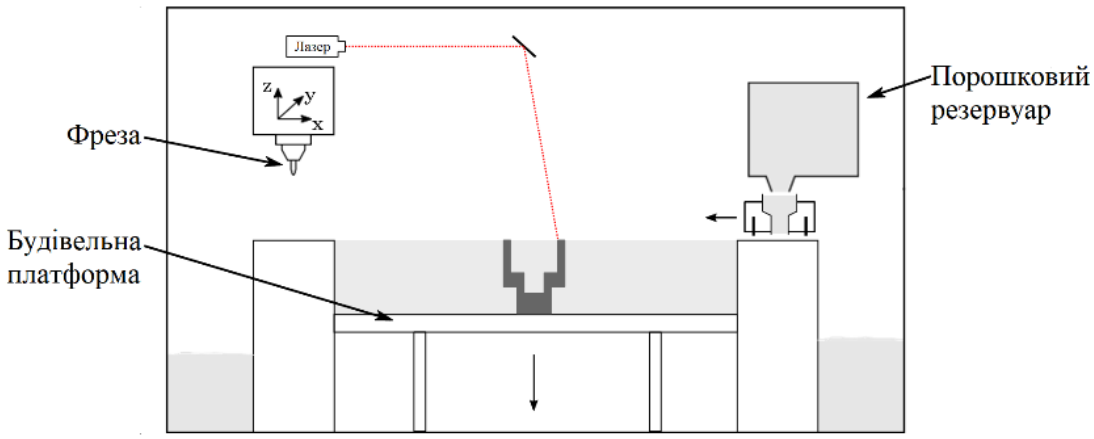


Рис.1. – Схематична ілюстрація гібридного адитивного виробництва.

Список посилань

1. Merklein, M.; Junker, D.; Schaub, A.; Neubauer, F. Hybrid Additive Manufacturing Technologies—An Analysis Regarding Potentials and Applications. Phys. Procedia 2016, 83, 549-559. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://doi.org/10.1016/j.phpro.2016.08.057

2. Sarafan, S.; Wanjara, P.; Gholipour, J.; Bernier, F.; Osman, M.; Sikan, F.; Molavi-Zarandi, M.; Soost, J.; Brochu, M. Evaluation of Maraging Steel Produced Using Hybrid Additive/Subtractive Manufacturing. J. Manuf. Matep. Process. 2021, 5, 107. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://doi.org/10.3390/jmmp5040107

УДК 621.86

Ловейкін В.С., докт. техн. наук, професор
Національний університет біоресурсів і природокористування України, lovvs@ukr.net
Міщук Д.О., канд. техн. наук, доцент
Міщук Є.О., канд. дехн. наук, доцент
Київський національний університет будівництва і архітектури, mischuk.do@knuba.edu.ua

ОПТИМІЗАЦІЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО РЕЖИМУ РУХУ ДВОЛАНОВОГО МАНІПУЛЯТОР ПО ПАРАБОЛІЧНІЙ ТРАЄКТОРІЇ

Гідравлічні маніпулятори мають великі перспективи в будівельному виробництві, так як дозволяють отримати великі робочі зусилля на своїх виконавчих пристроях у порівнянні із системами на пневматичному або електромеханічному приводі [1, 2]. Одним з недоліків гідравлічних маніпуляторів є їхня складна динамічна завантаженість, що призводить до виникнення в привідних елементах подібних систем додаткових динамічних зусиль. Компенсація таких навантажень виконується системою керування, яка працює не завжди адекватно на заданих умовах роботи маніпулятора [3]. Інша актуальна проблематика дослідження маніпуляторів пов'язана з розв'язками зворотної кінематичної задачі, зокрема в пошуку функції залежності координат положення виконавчих механізмів від координат захоплювача [4, 5]. В більшості відомих досліджень вивчається одна з описаних проблем маніпуляторів [6, 7] і майже не розглядається їх спільна синергетична взаємодія.

В даному дослідженні розглядається одна із оптимізаційних задач, де в якості цільової функції прийнято інтегральний критерій з підінтегральним виразом, який відображає енергію витрат механічної стрілової системи маніпулятора (див. рис. 1) з урахуванням обмежувальної функції траєкторії переміщення робочого органу маніпулятора по параболі. Для розв'язку даної задачі умовної оптимізації руху стріли маніпулятора з двома узагальненими незалежними координатами пропонується розглянути застосування прямого методу із заміною параметра та методом множників Лагранжа [8].

Методом множників Лагранжа досліджено оптимізаційну задачу оптимізації руху ланок дволанкового маніпулятора з цільовою функцією у вигляді "енергії" прискорень [3] та параболічної обмежувальної траєкторії переміщення робочого органу:

$$L = \frac{1}{2}(J_{OA} + J_{AK})\ddot{Q}_1^2 + \frac{1}{2}m_2(\ddot{x}_2^2 + \ddot{y}_2^2) + \\ + \frac{1}{2}m_b(\ddot{x}_K^2 + \ddot{y}_K^2) + \lambda\left(y_K - x_K^2\right) \to \min \quad (1)$$

Крайові умови руху для розглядуваного випадку можуть бути записані в наступному виді:

$$\begin{cases} Q_1(t_0) = Q_{1n}, \dot{Q}_1(t_0) = 0; \\ Q_1(t_1) = Q_{1k}, \dot{Q}_1(t_1) = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Екстремалями функціоналу (1) будуть інтегральні криві наступного рівняння Ейлера-Пуассона:

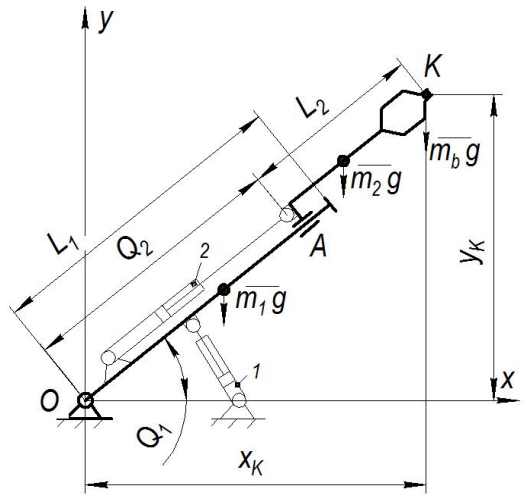


Рис. 1 – Кінематична схема дволанкового маніпулятора з однією кутовою та однією лінійною кінематичними парами

$$
\begin{cases}
L_2\lambda\cos Q_1 + L_2^2\lambda\sin(2Q_1) - 2L_2(m_2+2m_b)\dot{Q}_1^3\dot{Q}_2 + (2m_2\dot{Q}_2^2 - \frac{3}{2}L_2^2(m_2 + \\
+ 4m_b)\dot{Q}_1^2)\ddot{Q}_1 + (4L_2m_2 + 6L_2m_b)\ddot{Q}_1\ddot{Q}_2 + 4L_2(m_2+m_b)\dot{Q}_2\dddot{Q}_1 + 2L_2(m_2 + \\
+ 2m_b)\dot{Q}_1\dddot{Q}_2 + (\frac{1}{3}L_1^2m_1 + \frac{7}{12}L_2^2m_2 + L_2^2m_b)\overset{IV}{Q}_1 + Q_2(\lambda\cos Q_1 + \\
+ 2L_2\lambda\sin(2Q_1) - 4(m_2+m_b)\dot{Q}_1^3\dot{Q}_2 - 6L_2(m_2+2m_b)\dot{Q}_1^2\ddot{Q}_1 + 2(4m_2 + \\
+ 3m_b)\ddot{Q}_1\ddot{Q}_2 + (8m_2+4m_b)\dot{Q}_2\dddot{Q}_1 + 4(m_2+m_b)\dot{Q}_1\dddot{Q}_2 + \\
+ 2L_2(m_2+m_b)\overset{IV}{Q}_1) + Q_2^2(\lambda\sin(2Q_1) - 6(m_2+m_b)\dot{Q}_1^2\ddot{Q}_1 + (2m_2+m_b)\overset{IV}{Q}_1) = 0; \\
-L_2\lambda - L_2\lambda\cos(2Q_1) + \lambda\sin Q_1 + \frac{1}{2}L_2(m_2+2m_b)\dot{Q}_1^4 - L_2(m_2+3m_b)\ddot{Q}_1^2 - \\
- 6(m_2+m_b)\dot{Q}_1^2\ddot{Q}_2 - 2\dot{Q}_1(6(m_2+m_b)\dot{Q}_2\ddot{Q}_1 + L_2(m_2+2m_b)\dddot{Q}_1) - Q_2(2\lambda\cos^2 Q_1 - \\
- (m_2+m_b)\dot{Q}_1^4 + (2m_2+3m_b)\ddot{Q}_1^2 + 4(m_2+m_b)\dot{Q}_1\dddot{Q}_1) + (m_2+m_b)\overset{IV}{Q}_2 = 0; \\
(L_2+Q_2)\sin Q_1 - \cos^2 Q_1(L_2+Q_2)^2 = 0.
\end{cases}
\tag{3}
$$

Коефіцієнт узгодження Лагранжа з рівняння (3) дорівнюватиме:

$$
\lambda = \frac{1}{2(L_2 + L_2\cos(2Q_1) + 2Q_2\cos^2 Q_1 - \sin Q_1)}(L_2(m_2+2m_b) + 2(m_2+m_b)Q_2)\dot{Q}_1^4
$$
$$
- 24(m_2+m_b)\dot{Q}_1\dot{Q}_2\ddot{Q}_1 - (2L_2m_2 + 6L_2m_b + 4m_2Q_2 + 6m_bQ_2)\ddot{Q}_1^2 - 12(m_2+m_b)\dot{Q}_1^2\ddot{Q}_2 -
$$
$$
- (4L_2m_2 + 8L_2m_b + 8Q_2m_2 + 8Q_2m_b)\dot{Q}_1\dddot{Q}_1 - 2(m_2+m_b)\overset{IV}{Q}_2).
$$

Список посилань

1. Mishchuk D. The review and analysis of designs robots for construction works / D. Mishchuk // Girnichi, budivelni, dorozhni ta meliorativni mashini, – 2013. – No. 82, pp. 28-37.

2. Siciliano B. Robotics: Modelling, Planning and Control (Advanced Textbooks in Control and Signal Processing) (1st ed. 2009 ed.) / B. Siciliano, L. Sciavicco, L. Villani & G. Oriolo // Springer. – 2008. https://doi.org/10.1007/978-1-84628-642-1.

3. Loveykin V.S. Optimizaciya rezhimu zmini vilotu manipulyatora z gidroprivodom. Monografiya / V.S. Loveykin, D.O. Mishchuk // Kyiv, – CP Komprint, – 2013. p. 206.

4. Blanchini F. A convex programming approach to the inverse kinematics problem for manipulators under constraints / F. Blanchini, G. Fenu, G. Giordano, F. Pellegrino // European Journal of Control, – 2017. – No. 33, pp. 11–23.

5. Jakubiak J. Motion planning in velocity affine mechanical systems / J. Jakubiak, K. Tchoń, W. Magiera // International Journal of Control, – 2010. – No. 83(9), pp. 1965-1974.

6. Ловейкин В.С. Синтез оптимального динамического режима движения стрелы манипулятора, установленного на упругом основании / В. С. Ловейкин, Д. А. Мищук // Наука и техника. – 2019. – Том 18, No 1. – С. 55-61.

7. Tchon K. Optimal Extended Jacobian Inverse Kinematics Algorithms for Robotic Manipulators / K. Tchon // IEEE Transactions on Robotics, – 2008. – No. 24(6), pp. 1440–1445. https://doi.org/10.1109/tro.2008.2006240.

8. Lovejkin V.S. Optimizaciya rezhimiv ruhu krana-manipulyatora z gidroprivodom: monografiya / V.S. Lovejkin, Yu.O. Romasevich, O.O. Spodoba // Kyiv, CP "Komprint", – 2021. p. 264, 2021.

УДК 621.01

Кошель С.О., канд. техн. наук, доцент
Київський національний університет технологій та дизайну
Кошель Г.В., канд. техн. наук, доцент
Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна», м. Київ, a_koshel@ukr.net

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ СКЛАДНИХ МЕХАНІЗМІВ

Дослідженню механізмів вищого класу присвячуються роботи, в яких розглядаються задачі структурно-кінематичного моделювання механізмів зі структурними групами четвертого класу та складних шестиланкових механізмів [1, 2], виконуються кінематичний аналіз складних важільних механічних систем [3] та силовий аналіз складної групи ланок механізму обладнання легкої промисловості [4]. В ряді робіт останніх років розглядаються задачі структурно-кінематичного дослідження складних плоских механізмів третього та четвертого класів, які з урахуванням їх структурних особливостей можуть забезпечувати складні рухи їх окремих точок за траєкторією та за законом руху [5-7].

Метою роботи є структурне дослідження механізмів третього та четвертого класів різних варіантів, що складаються з структурних груп, до складу яких надходить чотири ланки та шість кінематичних пар, яке б дозволило отримати структурні формули будов складних плоских механізмів, що досліджуються з урахуванням властивостей структурних схем змінювати клас механізму в залежності від обраної іншої можливої вхідної ланки механізму.

Отримані результати у вигляді формул будов механізмів дозволять по-перше розробити послідовність дій для подальшого кінематичного дослідження параметрів точок, що співпадають з геометричними центрами кінематичних пар структурних груп механізмів, а по-друге – спростити такі дослідження в зв'язку з можливістю визначення оптимального варіанту початкового механізму в формулі будови механізму, для якого клас механізму, що досліджується набуває найменшої можливої величини.

Аналіз отриманих формул будов механізмів третього та четвертого класів різних видів на основі структурних груп ланок третього класу третього порядку та четвертого класу другого порядку дозволяє стверджувати, що механізми третього класу можна дослідити в послідовності, яка обумовлена кінематично-еквівалентними механізмами другого класу, а механізми четвертого класу - механізмами третього класу.

Список посилань

1. Кошель С.О. Кінематичний аналіз складних плоских механізмів вищих класів / С.О.Кошель, В.М.Дворжак, Г.В.Кошель, М.Г.Залюбовський / Прикладна механіка, Том 58. – № 1. – 2022. – С. 128-142

2. 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.

3. Dobija M., Drewniak J., Zawiślak S., Shingissov B., Zhauyt A. Countour graph application in kinematical analysis of crane mechanism // 24th Int. Conf. on Theory of Machines and Mechatronic Systems, Poland, 2014. – P. 31 – 32.

4. Дворжак В.М. Силовий аналіз механізму коливального руху вушкових голок основов'язальної машини // Вісн. Київського нац. ун-ту технологій та дизайну. Технічні науки. – 2019. – 134, № 3. – С. 26 – 35.

5. Koshel S., Koshel A. Analysis of fourth class plane mechanisms with structural groups of links of the second order // Odes'kyi Politechnichnyi Universytet. Pratsi. – 2018. – N 1. – P. 12 – 17.

6. Koshel S., Koshel A. Definition of accelerations of points of a plane mechanism of the fourth class by graph-analytical method // Odes'kyi Politechnichnyi Universytet. Pratsi. – 2018. – N 2. – P. 28 – 33.

7. Koshel S., Koshel A. Structural analysis of the mechanism with a third-class structure group of the fourth order // Odes'kyi Politechnichnyi Universytet. Pratsi. – 2019. – N 1. – P. 29 – 34.

УДК 621.01

Кошель С.О., канд. техн. наук, доцент
Київський національний університет технологій та дизайну
Кошель Г.В., канд. техн. наук, доцент
Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна», м. Київ, a_koshel@ukr.net

ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕМАТИКИ СКЛАДНИХ МЕХАНІЗМІВ

Питання кінематичного дослідження складних механізмів залишаються актуальними для удосконалення технологічного обладнання тому, що в кожному конкретному випадку дослідження механізму вищого класу необхідно розробляти оригінальну послідовність дій, яка викликана одночасним застосуванням декількох способів кінематичного аналізу, а універсального способу дослідження різноманіття таких механізмів не існує.

Значна кількість публікацій останніх років присвячена дослідженню структурно-кінематичних параметрів плоских [1-5] та просторових складних механізмів [6].

Дослідження кінематичних параметрів точок складних механізмів вищого класу пропонуємо виконувати за допомогою способу, що базується на положеннях курсу теоретичної механіки про миттєві центри швидкостей (центри обертання) і прискорень для твердих тіл (ланок), що мають плоскопаралельний рух.

Знаходимо особливу точку складної ланки механізму на плані положення механізму, планах швидкостей і прискорення та визначаємось з місцем розташування миттєвого центру швидкостей (прискорень). За теоремою подібності робимо узгодження розташування цього центру на плані положення механізму з урахуванням того, що на плані швидкості (прискорення) кінець вектора її швидкості (прискорення) завжди співпадає з полюсом плану швидкостей (прискорень).

За положенням точки миттєвого центру швидкостей (прискорень) на плані положення механізму та полюсом плану швидкостей (прискорень) можна за умов обраної помилкової величини вектора швидкості (прискорення) певної точки шатуна, що досліджується визначити дійсний вектор швидкості (прискорення) цієї точки та побудувати план швидкостей (або прискорень) всього механізму.

Запропонований спосіб дослідження кінематики складних механізмів дозволяє зменшити кількість розрахунків та збільшити їх точність, а в деяких випадках зробити можливим його проведення.

Список посилань

1. Кошель С.О. Кінематичний аналіз складних плоских механізмів вищих класів / С.О.Кошель, В.М.Дворжак, Г.В.Кошель, М.Г.Залюбовський / Прикладна механіка, Том 58. – № 1. – 2022. – С. 128-142.

2. 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.

3. Koshel S., Koshel A. Definition of accelerations of points of a plane mechanism of the fourth class by graph-analytical method // Odes'kyi Politechnichnyi Universytet. Pratsi. – 2018. – N 2. – P. 28 – 33.

4. Koshel S., Koshel A. Analysis of fourth class plane mechanisms with structural groups of links of the second order // Odes'kyi Politechnichnyi Universytet. Pratsi. – 2018. – N 1. – P. 12 – 17.

5. Dobija M., Drewniak J., Zawiślak S., Shingissov B., Zhauyt A. Countour graph application in kinematical analysis of crane mechanism // 24th Int. Conf. on Theory of Machines and Mechatronic Systems, Poland, 2014. – P. 31 – 32.

6. M. G. Zalyubovs'kyi, I.V. Panasyuk, S.O. Koshel', G. V. Koshel' Synthesis and analysis of redundant-free seven-link spatial mechanisms of part processing machine / International Applied Mechanics, Vol. 57, No. 4, July, 2021 P. 466-477

УДК 621.833

Погребняк Р.П., канд. техн. наук., доцент
Національна металургійна академія України, pogrebnyakk@ukr.net

ПОШУК НАДЛИШКОВИХ ЗВ'ЯЗКІВ У СХЕМІ КУЛІСНОГО МЕХАНІЗМУ ЗАХВАТА

Відомі переваги механізмів вільних від шкідливих надлишкових зв'язків (далі НЗ) [1, 2]. Схеми механізмів захватів також доцільно проектувати статично визначеними, тобто без НЗ, оскільки вони гарантують отримання більш надійного в експлуатації механізму.

Механізми захватів відносяться до механізмів змінної структури, тому структурний аналіз таких механізмів виконують у два етапи - до затиску, та в момент затиску об'єкта маніпулювання.

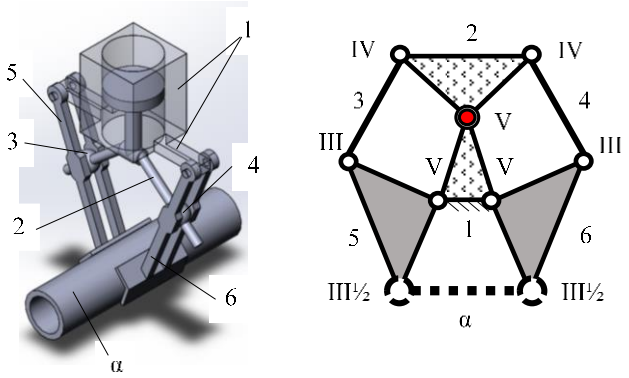


Рис.1 – Модель і структурна схеми механізму захвата на етапі затиску об'єкта

На рис.1 представлений шестиланковий механізм захвата з V-подібною кулісою, який використовують для затиску циліндричних деталей α профільними затискними елементами. Похилі напрямні куліси 2, що рухається поступально, через пару повзунів 3 і 4 впливають на коромисла 5 і 6, що несуть затискні елементи.

На першому етапі (до затиску деталі) схема має п'ять рухомих ланок (n-1) = 5, два симетричних контури k = 2(1-2-3-5 й 1-2-4-6, контур 1-5-6- α ще не замкнений), сім внутрішніх з'єднань (прийняті однорухомими) p = 7, одну ступінь свободи W = 1. Кількість НЗ знайдемо за відомою формулою Озолса

$$\sigma = W + 6k – f, \quad (1)$$

де загальне число рухомостей всіх з'єднань складе f = 7·1 = 7, σ = 1 + 6·2 – 7 = 6 НЗ, які при однакових контурах, розподіляються по 3 в кожному з них.

На другому етапі затиску об'єкта α ним замикається ще один незалежний зовнішній контур 1-5-α-6, а механізм стає нерухомим $W_{роб}$ = 0. Для визначення зовнішніх НЗ застосовується узагальнена структурна формула [1]:

$$\sigma_a=S_a–[(W_ф–W_{роб})+W_a]. \quad (2)$$

де S_a – число зовнішніх зв'язків;

σ_a, – число зовнішніх НЗ;

$W_ф$, $W_{роб.}$ – фактична і робоча рухомість механізму;

W_a – число втрачених рухомостей зовнішніх тіл від дії зовнішніх зв'язків.

Якщо затискні елементи захвата виконані у вигляді двох призм, то кожна з них при затиску накладає по 3½ зв'язка: геометричні двосторонні – вздовж вертикальної вісі, навколо поперечної та поздовжній осей і один однобічний неутримуючий, рівняння якого описуються нерівністю. Тертям між губками і заготовкою зовнішні з'єднання накладають ще два голономних фрикційних зв'язка, які здатні передати силу і момент вздовж та навколо

поздовжньої вісі. Фактична рухомість механізму, який позбавлений дії зовнішніх зв'язків до затискання, $W_ф$=1. W_a=6 – деталь рухливість втратила повністю. Тоді за залежністю (2) зовнішній контур має σ_a=(3,5·2+2)–[(1–0)+6–1]=3 НЗ.

Список посилань

1. Озол, О. Г. Основы конструирования и расчета механизмов / О. Г. Озол. – Рига : Звайгзне, 1979. – 360 с.

2. Reshetov, L. Self-Aligning Mechanisms : Reference book // Transl. from Russian by L. Sachs. – Moscow: Mir, 1986. – 528 p.

УДК 621.798

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

ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НАТИСКНОЇ ПЛИТИ ПЛОСКО ШТАНЦЮВАЛЬНОГО ПРЕСА

Картон – найбільш ефективний пакувальний матеріал для виготовлення пакування, у різних країнах світу на паперово-картонну тару припадає від 35-ти до 60 % загального обсягу її продування [1].

«Успіх» у споживачів картонне пакування завоювало завдяки безпечності в екологічному плані пакувальних матеріалів та його найменшому навантаженні на довкілля. Окрім того, пакувальні матеріали на основі картону мають природний характер відтворення, наділені високими санітарно-гігієнічними властивостями та придатні для застосування сучасних поліграфічних технологій [2].

Для виготовлення розгорток картонного пакування використовують різноманітне устаткування, яке можна класифікувати за різними ознаками. Однією з головних ознак є спосіб розділення картону, таке устаткування поділяється на штанцювальне, вирубне і вирізувальне. В свою чергу, штанцювальне устаткування, за формою контактуючих поверхонь, класифікується на плоске, плоско циліндрове та ротаційне [3].

Найширшого використання набуло плоско штанцювальне устаткування, яке характеризується наступними перевагами: найвищою якістю продукції, яка виготовляється, що забезпечується двома плоскими складовими (штанцювальною формою та натискною плитою) в зоні штанцювання розгорток картонного пакування, та порівняно з плоско циліндровим способом високою продуктивністю (до 8000 відбитків/год.). Однак, таке устаткування володіє головним недоліком – високими, найбільшими серед усіх способів штанцювання, технологічними зусиллями, які спричинені одночасним контактом різальних інструментів із картонною заготовкою по всій їхній довжині. Проте, як демонструє світова практика експлуатації штанцювального устаткування, цей недолік не є суттєвим, порівняно із задовільною продуктивністю та високою якістю продукції.

В плоско-штанцювальному устаткуванні [4, 5] найважливішим елементом конструкції є приводний механізм натискної плити, який характеризується різноманітним асортиментом виконавчих елементів, від простих кулачкових до складних комбінованих.

При проектуванні нового або удосконаленні відомого штанцювального устаткування особливу увагу слід приділити забезпеченню строго вертикальному переміщенню натискної плити, оскільки коливний рух може спричинювати погіршення якості продукції, яке пов’язане з тим, що частина різальних інструментів будуть недовисікати картонні заготовки, в той же час, як інша навпаки – глибше врізатись, що, в свою чергу, буде

спричинювати появу додаткових зусиль та передчасного його притуплення, що зменшує ресурс роботи.

Аналіз раціональності геометричних розмірів є принципово важливим етапом проектування, оскільки вони окрім того, що визначають загальні габаритні розміри устаткування, впливають на кінематичні параметри, такі як швидкість та пришвидшення рухомих елементів, що, в свою чергу, впливають на зусилля інерції та інші зусилля в процесі роботи. Особливо важливо та ретельно необхідно проводити кінематичний аналіз з наступним вибором оптимальних параметрів в плоско-штанцювальному устаткуванні, оскільки в ньому спостерігаються високі швидкості роботи натискної плити великої маси із зворотно-поступальним рухом.

На рис. 1 зображено схему приводного механізму натискної плити плоско штанцювального преса [6], який містить приводний кулачок 1, пружину 2, ролики 3, 3’ та розклинювальні важелі 4, 4’. Оскільки наведений нижче приводний механізм натискної плити містить приводний кулачок і ролики, то для проведення його кінематичного аналізу необхідно прийняти закон періодичного руху (ЗПР) вихідної ланки (ролика).

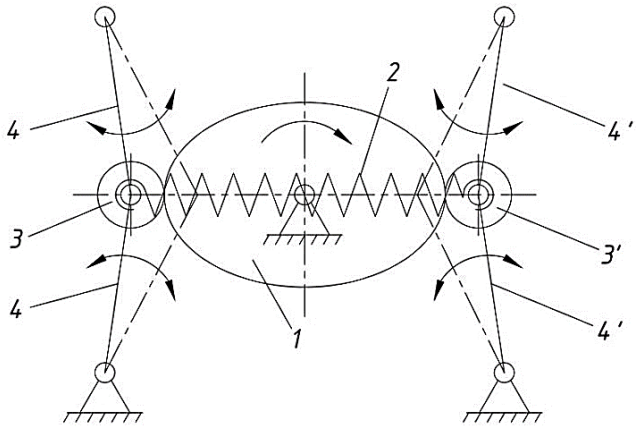


Рис. 1 – Схема приводного механізму натискної плити

Традиційними законами руху, які використовуються при періодичному русі вихідних ланок в поліграфічному та пакувальному машинобудуванні є синусоїдальний та косинусоїдальний. Синусоїдальний ЗПР рекомендовано застосовувати для вихідних ланок у інерційних механізмах, тому що плавне зростання пришвидшення зумовлює зростання невеликих амплітуд пружних коливань. Косинусоїдальний ЗПР варто використовувати коли вихідна ланка рухається без зупинок, як результат функція пришвидшення не має розривів, і таким чином амплітуди збуджувальних коливань є незначними [7].

Оскільки кінематичні параметри натискної плити плоско штанцювального преса [6], який містить кулачковий механізм, при рівних геометричних розмірах приводного кулачка, роликів та розклинювальних важелів, в цілому залежать від обраного ЗПР ролика, то можна стверджувати, що для отримання раціональних показників необхідно провести порівняльну характеристику для декількох ЗПР та прийняти оптимальний.

Список посилань

1. Кривошей В.М. Упаковка в нашому житті [Текст] / В.М. Кривошей. – К. : ІАЦ «Упаковка», 2001. – 160 с.

2. Шредер В.Л., Картон. Тара и упаковка [Текст] / В.Л. Шредер, К.С. Йованович – К. : ИАЦ «Упаковка», 1999. – 192 с.

3. Регей І.І. Споживче картонне паковання (матеріали, проектування, обладнання для виготовлення) : навч. посіб. / І.І. Регей. – Л. : УАД, 2011. – 144 с.

4. Пат. 118155 Україна, МПК B31B 50/52, B26F 1/40, F16H 21/24, B30B 1/26, B30B 1/18 Прес штанцювального автомата / Регей І.І., Радіховський, І.А., Книш О.Б., Млинко О.І. (Україна); заявник

та патентовласник Українська академія друкарства. - № a201711500; Заявл. 24.11.2017; Опубл. 26.11.2018. Бюл. № 22. – 5 с.: з іл.

5. Пат. 120823 Україна, МПК B26F 1/40, B31B 50/14, B31B 50/88, B30B 1/26 Прес штанцювального автомата / Регей І.І., Книш О.Б., Іваськів Б.Р., Терницький С.В., Бегень П.І. (Україна); заявник та патентовласник Регей Іван Іванович, Книш Олег Богданович. - №a201902645; Заявл. 18.03.2019; Опубл. 10.02.2020. Бюл. № 3. – 5 с.: з іл.

6. Пат. 125459 Україна, МПК B26F 1/14, B26F 1/38, B31B 50/14, F16H 13/08 Прес штанцювального автомата / Шахбазов Я.О., Четербух О.Ю., Стецько А.Є. (Україна); заявник та патентовласник Українська академія друкарства. - № a202008420; Заявл. 28.12.2020; Опубл. 09.03.2022. Бюл. № 10. – 4 с.: з іл.

7. Полюдов О. М. Механіка поліграфічних і пакувальних машин: навч. посіб. / Полюдов О. М. Л.: УАД. 2005. – 177 с.

УДК 656.025.2:93

Пасов Г.В., канд. техн. наук, доцент,
Венжега В.І., канд. техн. наук, доцент,
Кологойда А.В., канд. техн. наук, доцент
Національний університет “Чернігівська політехніка”, genapasov@gmail.com

КАР’ЄРНІ САМОСКИДИ ТА ЇХ ОСОБЛИВОСТІ

Автомобіль-самоскид – це спеціалізований вантажний автомобіль, що відрізняється від звичайних вантажних автомобілів тим, що процес розвантаження повністю механізований [1-4].

В міфологічних переказах багатьох народів існують сюжети про страшні чудовиська, які виходять із земних надр і своєю появою знаменують початок кінця світу. Сьогодні для розробки корисних копалин відкритим способом використовуються справжні монстри, але ці монстри механічні та нікого не лякають. Тільки вражають своїми розмірами і химерністю конструкцій.

Кар'єрний транспорт – комплекс засобів транспортування гірничої маси при відкритому способі розробки родовищ.

Кар’єрні автомобілі-самоскиди призначені для використання на бездоріжжі (поза межами доріг загального користування), а саме: для вивезення породи з місць відкритої розробки корисних копалин у кар'єрах; для вивезення вугілля, руди, породи у шахтах, рудниках, тунелях; для перевезення будівельних матеріалів – піску, гравію та інших матеріалів при будівництві доріг, аеропортів, портів тощо.

Рух таких автомобілів-самоскидів по дорогах загального користування заборонений, внаслідок масово-габаритних або швидкісних обмежень, конструктивних особливостей. Ці самоскиди використовують для транспортування вантажу на невелику відстань.

Автомобілі-самоскиди, розраховані для роботи у відкритих кар'єрах, оснащені кузовами ковшового типу і не мають бортів, що відкриваються. Роль заднього борта виконує піднята задня частина кузова, можливий варіант коли все дно кузова піднято вгору. Кузов самоскида виконаний з міцного сталевого листа. Передня частина кузова самоскида висунута над кабіною водія для захисту кабіни від пошкодження камінням. В деяких випадках кабіна водія може складати лише половину ширини самоскида.

Автомобілі-самоскиди, розраховані для роботи у шахтах, рудниках або тунелях, з кузовами з нижнім розвантаженням, можуть не мати кабіни або висунутої вперед захисної частини кузова.

У конструкції самоскидів, призначених для використання на бездоріжжі, зазвичай, не використовують листові ресори для амортизації, тобто відсутня залежна підвіска осей (axle suspension). Ці самоскиди мають жорстку шасі-раму або шасі з шарнірно-зчленованою рамою. Гідропневматична або комбінована підвіска незалежних осей забезпечує комфортні

умови руху автомобіля у складних дорожніх умовах, оскільки під час наїзду коліс автомобіля на перешкоду, автомобіль-самоскид не втрачає контакт з дорогою, зберігаючи рівновагу. Потужні багатодискові гальма забезпечують високу надійність та стабільність експлуатації автомобіля поза межами доріг загального користування.

На автомобілях-самоскидах, призначених для використання на бездоріжжі встановлюють спеціальні шини для руху по ґрунту.

На рис. 1-6 наведено деякі моделі кар’єрних самоскидів відомих світових фірм.

На рис. 7-8 наведено який вигляд будуть мати кар’єрні самоскиди у майбутньому.



Рис. 1 – Кар'єрний самоскид Terex 33-19 Titan



Рис. 2 – Caterpillar-797 у порівнянні з легковим автомобілем



Рис. 3 – Liebherr T282B



Рис. 4 – Кар'єрний самоскид Komatsu 930E



Рис. 5 – Кар'єрні самоскиди Hitachi в порівнянні з легковим автомобілем



Рис 6 – БелАЗ-75710



Рис. 7 – ETF Haul Train



Рис. 8 – ETF Haul Train розвертається навколо своєї осі

Список посилань

1. Кальченко В. І. Історія спеціалізованого автомобільного транспорту – Будівельні, сільськогосподарські, кар'єрні самоскиди. – Випуск 2 – Самоскиди : навчальний посібник / В. І. Кальченко, В. В. Кальченко, Г. В. Пасов. – Чернігів : ЧНТУ, 2019. – 258 с.
2. Краткий автомобильный справочник. Том 4. Специальные и специализированные автотранспортные средства. Часть 1. / Грифф М.И. и др./ М. Автотранспорт, 2004. – 448 с.
3. Краткий автомобильный справочник. Том 4. Специальные и специализированные автотранспортные средства. Часть 2. / Грифф М.И. и др./ М. Автотранспорт, 2005. – 472 с.
4. Кто есть кто на рынке спецтехники. Выпуск № 9, 2009-2010. Международный ежегодник. – 160 с.

УДК 621.923.42

Венжега В.І., канд. техн. наук, доцент
Пасов Г.В. , канд. техн. наук, доцент
Національний університет «Чернігівська політехніка», vivenzhega@gmail.com
Рудик А.В., канд. техн. наук, доцент
andrei.rudik@gmail.com
Державний НДІ випробувань та сертифікації озброєння та військової техніки, м. Чернігів

ДОСЛІДЖЕННЯ ШОРСТКОСТІ ПРИ ФРЕЗЕРУВАННІ ОПОРНИХ ШИЙОК ТА КУЛАЧКІВ РОЗПОДІЛЬЧОГО ВАЛА НА МОДЕРНІЗОВАНОМУ ВЕРСТАТІ ВЗ208Ф4

Геометрична шорсткість на обробленій поверхні опорних шийок за параметром *Rz* (рис. 1) формується схрещенням фрези та розподільчого валу

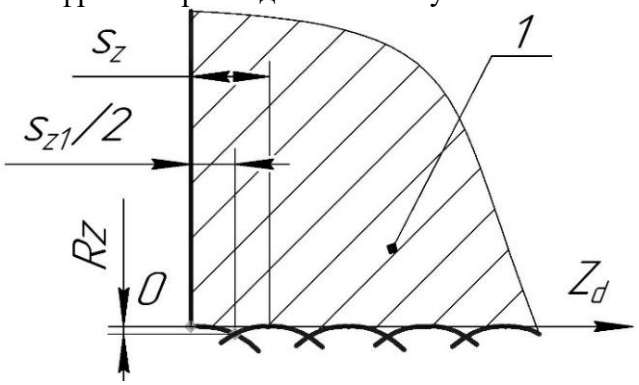


Рис. 1 – Висота мікронерівностей за параметром *Rz* вздовж профілю *Zd* опорних шийок розподільчого вала, викликана схрещенням осей інструмента та розподільного валу

Висота мікронерівностей *Rz* (рис. 1) визначається за формулою:

$$R_z = \mathrm{Pr}_d(0) - \mathrm{Pr}_d\left(\frac{S_z}{2}\right), \qquad (1)$$

де $\mathrm{Pr}_d(0)$, $\mathrm{Pr}_d\left(\frac{S_z}{2}\right)$ – висота профілю деталі в точці повороту фрези і точці, яка знаходиться на відстані половини подачі S_Z.

Досягнення необхідної шорсткості обробленої поверхні відбувається за рахунок регулювання величини подачі S_∂ в залежності від діаметра фрези та кута схрещення осей δ. Отримання високої продуктивності обробки здійснюється збільшенням частоти обертання розподільчого валу.

Список посилань

1. Експериментальні дослідження високошвидкісного фрезерування кулачків розподільчого вала на модернізованому верстаті ВЗ208Ф4 / Кальченко В.І., Кальченко В.В., Венжега В.І., Винник В.О., Скляр В.М., Кальченко Д.В. // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія:Технічні науки. – Том 31 (70). – №3. – 2020. – Частина1. – С.19-30.
2. Решетов Д.Н. Точность металлорежущих станков. / Решетов Д.Н., Портман В.Т. – Москва, 1986. – 336 с.
3. Родин П.Р. Основы формообразования поверхностей резанием. / П.Р. Родин. – Киев: Вища школа, 1977. – 192 с.

УДК 621.9-1/-9

Качанова М.В., аспірантка,
Нешта А.О., канд. техн. наук, ст. викладач,
Дегтярьов І.М., канд. техн. наук, ст. викладач,
Самардак М.П.
Сумський державний університет, m.kachanova@tmvi.sumdu.edu.ua

ОСОБЛИВОСТІ СКЛАДАННЯ НАСОСІВ ВЕРТИКАЛЬНОГО ТИПУ В ДРІБНОСЕРІЙНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

У наш час все більшої популярності почали набувати насоси вертикального типу завдяки своїй компактності, надійності в роботі та значному терміну експлуатації.

Нижня опора ротору насосу вертикального компонування, як правило, являє собою підшипник ковзання, а верхня – кочення. Для правильної роботи нижньої опори при складанні насосу має бути створений певний зазор між розточкою вкладишу підшипника та ротором насосу, що буде забезпечувати відсутність контакту металу по металу в процесі обертання ротору [1].

Загалом, як відомо, ротор будь-якого насосу складається з певної кількості секцій, що і визначає типорозмір самого агрегату. Можна представити секцію, як окремий «елементарний» насос, що складається з робочого колеса та напрямного апарату. Через те, що у потужних насосах кількість таких секцій варіюється від 6 до 12, то відповідно габаритні розміри та кількість ланок у розмірному ланцюгу суттєво збільшується. Відповідно накопичується похибка на замикальну ланку, якою є зазор між торцем останньої секції та торцем підшипника. Даний зазор має бути рівномірним по довжині контакту цих деталей [2].

На практиці практично завжди після випробувань вертикальних насосів з’являються «плями контакту» на підшипниках, так як при складанні насосу відсутній контроль паралельності вісей ротора та втулки нижнього підшипника, яка дозволила б забезпечити рівномірність розподілу зазору по довжині контакту. Цей торцевий зазор залежить від допуску циліндричної посадки з’єднання секцій.

При розмірах секцій великогабаритних насосів 600÷800 мм для забезпечення складання дана посадка виконується з посадкою H/h. Відповідно до цього дійсні розміри секцій мають велику фактичну розбіжність. У результаті цього похибка в діаметральному плані значно впливає на величину контакту в осьовому напрямку, що й призводить до нерівномірності «плями контакту» в підшипнику, якщо відсутнє ручне доопрацювання на етапі фінішного складання.

Дану проблему можливо вирішити шляхом контролю процесу складання насосів вертикального компонування, при якому повинна вводитися компенсуючи ланка в підшипниковому вузлі та сформульована чітка вимога до взаємного розміщення базової поверхні під установку корпуса підшипника відповідно до осі обертання ротора.

У виробничих умовах були спроби установлення сферичної опори в нижній частині насоса, але не відбувався контроль положення втулки підшипника та ротора. Тому під час запуску насоса втулка не приймала свого необхідного положення.

Список посилань

1. Кондусь В. Ю. Лопатеві насоси: навчальний посібник [Текст] / Кондусь В. Ю., Котенко О. І. – Суми: Сумський державний університет, 2021. – 293 с.

2. Марцинковский В.А. Насоси атомних електростанцій [Текст] / Марцинковский В.А., Ворона П.М. – М: Енергоатоміздат, 1987. – 256 с.

УДК 539.3

Бабенко А.Є., докт. техн. наук, професор,
Боронко О.О., докт. техн. наук, професор,
Трубачев С.І., канд. техн. наук, доцент,
Лавренко Я.І., канд. техн. наук, доцент
Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», strubachev@i.ua

ОГЛЯД ТЕХНІЧНИХ ТЕОРІЙ ВНУТРІШНЬОГО ТЕРТЯ

Врахування внутрішнього тертя має велике значення в інженерній практиці. Завдяки ньому відбувається згасання вільних коливань, обмеження амплітуд резонансних коливань, зниження напружень при ударних навантаженнях, перерозподіл напружень у місцях концентрації їх. Тому питанню дослідження внутрішнього тертя в твердих тілах приділяється велика увага [1].

Відношення роботи сили тертя (необоротно поглиненої енергії) ΔW за один цикл деформування до потенціальної енергії W відповідної амплітуді деформації за той же цикл, характеризується коефіцієнтом поглинання ψ (питомим розсіюванням енергії):

$$\psi = \frac{\Delta W}{W}. \tag{1}$$

На практиці для вимірювання різних ефектів внутрішнього тертя застосовують і інші характеристики: логарифмічний декремент коливань δ, добротність системи Q, затухання γ (коефіцієнт внутрішнього тертя)

$$\psi = 2\delta = \frac{2\pi}{Q} = 2\pi\gamma. \tag{2}$$

Ці характеристики зберігають свою силу для будь-якого виду напруженого стану. Хоча експериментальним вивченням внутрішнього тертя почали займатися давно (1784 р.), перша гіпотеза була висловлена значно пізніше (в 1865 р.) англійським фізиком Кельвіном.

Кельвін (Томсон) пояснював внутрішнє тертя в твердих тілах їх в'язкістю. На підставі цієї гіпотези в 1890-1892 рр. В. Фойгт запропонував наступну залежність між нормальним напруженням σ_{11} і відносною деформацією ε_{11}:

$$\sigma_{11} = E\varepsilon_{11} + \gamma E\,\dot{\varepsilon}_{11}, \tag{3}$$

де E – модуль Юнга,
γ – коефіцієнт в'язкого внутрішнього тертя,
ε_{11} – швидкість деформації.

З тих пір гіпотеза Кельвіна-Фойгта отримала широке поширення в прикладній теорії коливань з огляду на її простоту (лінійний вид). Невідповідність гіпотези Кельвіна-Фойгта експерименту змусило вчених уточнювати теорію внутрішнього тертя. Так, у 1932 р. Бок, а

в 1935р. Шліппе внесли поправку, запропонувавши вважати коефіцієнт внутрішнього тертя обернено-пропорційним частоті коливань ω. Поправка Бока-Шліппе усунула вплив частоти на коефіцієнт поглинання, проте не ввела вплив амплітуди деформації, що експериментально спостерігається. У зв'язку з цим гіпотезу Кельвіна-Фойгта пізніше намагалися різним чином підправити інші автори. Зокрема, Лунц Є.Б., Гловнін Г.Я.

До 1938 р. оформилася друга концепція внутрішнього тертя в твердих тілах. Найбільш чітко сформулював і обгрунтував гіпотезу М.М. Давиденків, вказавши межі застосовності її.

Вперше застосував нелінійну гіпотезу в інженерній практиці Г.С. Писаренко, вирішивши за допомогою асимптотичних методів основні задачі на вібрації з урахуванням нелінійного внутрішнього тертя і запропонував нові рівняння контуру петлі гістерезису для симетричного і несиметричного циклів.

Виникнення нового погляду на явище внутрішнього тертя послужило поштовхом для розвитку експериментальних і теоретичних досліджень, а також створення методів розрахунку коливань з врахуванням нелінійного тертя.

Всі лінійні залежності дають коефіцієнт поглинання, не залежний ні від частоти циклу (що за певних умов узгоджується з експериментом), ні від амплітуди деформацій (що справедливо лише для дерева, залізобетону, цегли, скла, гуми), у металів же коефіцієнт поглинання істотно залежить від амплітуди деформацій (напружень), внаслідок чого лінійні теорії для них не придатні. У технічну літературу увійшли і нелінійні варіанти другої гіпотези [2]:

$$\sigma_{11} = E\varepsilon_{11} \pm \gamma E\varepsilon_{11}{}^{n}, \quad \text{(Леонов М.Я., Беспалько С.А., 1955 р.)} \tag{4}$$

$$\sigma_{11} = E\varepsilon_{11} \pm \lambda\gamma f\left(\frac{\varepsilon_{11}}{\varepsilon_{11}{}^{*}}\right)\varepsilon_{11}{}^{*n}, \quad \text{(Хільчевський В.В., 1969 р.)} \tag{5}$$

де λ – поправочний коефіцієнт, за допомогою якого враховується вплив різних чинників на величину внутрішнього тертя).

$$\overleftrightarrow{\sigma_{11}} = E\left[\varepsilon_{11} \pm \alpha\left(\varepsilon_2{}^{*} - \varepsilon_{11} - \frac{\varepsilon_{11}{}^{2}}{\varepsilon_2{}^{*}}\right)\right], \quad \text{(Писаренко Г.С., 1971 р.)} \tag{6}$$

$$\overrightarrow{\sigma_{11}} = E\left\{\varepsilon_{11} - \alpha\left[\varepsilon_{11} - \varepsilon_2{}^{*} + \frac{(\varepsilon_{11} - \varepsilon_0{}^{*})^2}{\varepsilon_2{}^{*} - \varepsilon_0{}^{*}}\right]\right\},$$

$$\overleftarrow{\sigma_{11}} = E\left\{\varepsilon_{11} - \alpha\left[\varepsilon_{11} - \varepsilon_1{}^{*} - \frac{(\varepsilon_{11} - \varepsilon_0{}^{*})^2}{\varepsilon_2{}^{*} - \varepsilon_0{}^{*}}\right]\right\}, \quad \text{(Писаренко Г.С., 1972 р.)} \tag{7}$$

де $\alpha = \frac{3}{8}\delta, \varepsilon_2{}^{*}, \varepsilon_1{}^{*} \quad \varepsilon_0{}^{*} = \frac{\varepsilon_1{}^{*} + \varepsilon_2{}^{*}}{2}.$ (8)

Слід підкреслити, що не зважаючи на достатню кількість технічних теорій внутрішнього тертя, розвиток існуючих теорій та розробка нових є актуальною задачею для сучасного машинобудування.

Список посилань

1. Бабенко А.Є Коливання неконсервативних механічних систем: Монографія / А.Є. Бабенко, О.О. Боронко, Я.І. Лавренко, С.І. Трубачев. – Нац.техн.ун-т України «КПІ імені Ігоря Сікорського». – Київ: А, 2020. – 153 с. [Електронний ресурс]. Режим доступа: https://ela.kpi.ua/handle/123456789/38187

2. Василенко М.В. Теорія коливань і стійкості руху[Текст]: Підручник. / Василенко М.В., Алексейчук О.М. – К.: Вища школа, 2004. – 525 с.

УДК 621.9.04:533.9: 621.791.947.55

Нечаєв В.П., канд. техн. наук
Рязанцев А.О., канд. техн. наук
Криворізький національний університет, anton.ryazancev87@gmail.com

ВСТАНОВЛЕННЯ РЕЖИМІВ ПЛАЗМОВО-МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ З УРАХУВАННЯМ НАКОПИЧЕНОГО ТЕПЛА В ЗАГОТОВЦІ

Розвиток машинобудування вимагає від вчених і інженерів пошуку нових високоефективних методів обробки матеріалів, створення надійних технологічних процесів і найбільш ефективного застосування їх в виробничих умовах [1,2].

Одним з таких процесів є плазмово-механічна обробка (ПМО). З'явившись в середині минулого століття, вона до цих пір є предметом вивчення, в наукових лабораторіях, розкриваються її нові можливості та перспективи. ПМО – досить складний процес, кількість керованих параметрів якого велике, що ускладнює ефективно застосовувати процес без попередніх досліджень для визначення раціональних режимів обробки [1,2]. Він являє собою комбінований процес, при якому механічна енергія та енергія низькотемпературної плазми сумісно використовується для підвищення ефективності процесу різання при виготовленні деталей машин із сучасних важкооброблюваних матеріалів [3,4]. Нагрівання заготовки плазмовою дугою спричиняє чотири основні явища: зниження міцності оброблюваного металу; виникнення системи структурних перетворень і термічних напруг у поверхневих шарах заготовки; розплавлювання частини металу, що підлягає зрізу, і зміна параметрів тертя на поверхнях контакту нагрітих металів заготовки та різального інструменту [1].

Авторами був розроблений спосіб механічної обробки з плазмовим нагріванням зони різання. Даний спосіб вирішується за рахунок способу плазмового нагрівання припуску, яке включає плазмове нагрівання поверхні різання без оплавлення, при регульованій силі струму, термічне знеміцнення матеріалу припуску та переміщення його в зону обробки зі швидкістю різання для наступного видалення різцем.

Технічний результат від використання даного способу обробки з плазмовим нагріванням зони різання литих, кованих злитків і заготовок із твердою ливарною кіркою або з важкооброблюваних сплавів забезпечує поліпшення їх оброблюваності шляхом створення по всьому перетину припуску, за рахунок термічного впливу, структури, яка має значно більш низькі фізико-механічні властивості, чим вихідний матеріал заготовки. Внаслідок цього також підвищується період стійкості різального інструменту.

Щоб уникнути перегрів припуску та розташованих нижче шарів заготовки, силу струму плазмової дуги встановлюють з урахуванням накопиченого тепла в заготовці:

$$I \approx \frac{\theta_H \times b \times \lambda \times L \times \sqrt{k_1} \times \exp\left[0{,}01 \times k_1 \times a^2\right]}{\beta \times C_H} \qquad (1)$$

де θ_H – середня температура нагрівання припуску по перетину шару, що зрізується, на ріжучій кромці інструмента, ºС;

a, b – товщина та ширина перетину шару, що зрізується, мм;

λ – коефіцієнт теплопровідності, Вт/см·ºС;

L – відстань між опорною плямою нагрівання та ріжучою кромкою, мм;

C_H – масштабна характеристика плазмової дуги залежно від виду плазмоутворювального газу (C_H = 60 – для аргону; C_H = 90 – для повітря);

k_1 – розмірний комплекс, що враховує параметри режиму різання та теплофізичні властивості матеріалу заготовки;

β – коефіцієнт, що враховує накопичення тепла в заготовці в процесі механічної обробки з плазмовим нагріванням зони різання.

$$k_1 = \frac{100 \times V}{24 \times \omega \times L}, \quad (2)$$

де V – швидкість різання, м/хв;

ω – коефіцієнт температуропровідності см^2/с.

$$\beta = 1 + \frac{\theta_{НД}}{\theta_{Н}}, \quad (3)$$

де $\theta_{НД}$ – додаткова температура нагрівання припуску, викликана накопиченням теплоти в заготовці, ºС.

При цьому в заготовку вноситься певна кількість теплоти, яка не повністю видаляється разом зі стружкою. За експериментальним даними, при чорновій обробці видаляють 70…80 % теплоти, при чистовій обробці – 20…30%, отже, значна частина теплоти, внесена плазмотроном, може залишатися в заготовці та приводити до виникнення деформацій та структурних змін обробленої поверхні.

При реалізації даного способу для обробки заготовок з легованих сталей, жароміцних і корозійностійких титанових сплавів, при встановленні параметрів нагрівання при механічній обробці з плазмовим нагріванням зони різання, а саме – сили струму плазмової дуги, враховуючи, що кінцева температура припуску в зоні контакту з ріжучою кромкою буде вище на величину залишкової температури від попереднього циклу обробки, значення сили струму плазмової дуги обмежують залежно від коефіцієнта накопиченого тепла β (β = 1,1…1,2 – чорнова обробка при великих перетинах зрізу, та для матеріалів з більшим значенням коефіцієнта теплопровідності (леговані сталі); β = 1,25…1,5 – для чистової обробки при знятті тонкої стружки, а також для матеріалів з меншим значенням коефіцієнта теплопровідності (титанові, жароміцні сплави)). У результаті цього, внесена кількість тепла дозволяє нагрівати заготовку без оплавлення її поверхні, здійснювати достатнє зниження міцності матеріалу припуску, і забезпечує якість обробленої поверхні.

У результаті на оброблюваній поверхні заготовки виникає область термічно знеміцненого металу, що дозволяє збільшити продуктивність механічної обробки різцем при забезпеченні стабільності параметрів процесу плазмового нагрівання внаслідок відсутності оплавлення поверхні заготовки, зменшенні ступеня перегріву різця та, внаслідок цього, збільшенні його періоду стійкості.

Використання запропонованого способу механічної обробки з плазмовим нагріванням зони різання забезпечує підвищення продуктивності обробки заготовок з важкооброблюваних матеріалів, які використовуються в суднобудуванні, важкому машинобудуванні.

Список посилань

1. Нечаєв, В.П. Дослідження впливу технологічних факторів на стійкість ріжучого інструменту при плазмово-механійчній обробці. [Текст] / В.П. Нечаєв, А.О. Рязанцев, С.В. Реброва Д.О. Лавриненко // Вісник Криворізького національного університету. – 2021. – Вип. 52. – С. 39 – 44.

2. Нечаєв, В.П. Вплив параметрів процесу плазмово-механічної обробки на якість поверхневого шару деталей [Текст] / В.П. Нечаєв, А.О. Рязанцев, О.В. Чернявська, Л.І. Лаухіна, Д.О. Лавриненко // Вісник Криворізького національного університету. – 2019. – Вип. 49. – С. 105 – 113.

3. Sun, S. Thermally Enhanced Machining of Hard-to-Machine Materials [Текст] / S. Sun, M. Brandt, M.S. Dargusch // International Journal of Machine Tools and Manufacture. – 2010. – Vol. 50(8). – P. 663 – 680.

4. Kitagawa, T. Plasma Hot Machining for New Engineering Materials [Текст] / T. Kitagawa, K. Maekawa // Wear. – 1990. – Vol. 139(2). – P. 251–267.

УДК 621.833.6

Авраменко С.Є., аспірант,
Дегтярьов І.М., канд. техн. наук,
Сумський державний університет, s.avramenko@tmvi.sumdu.edu.ua

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ЦИКЛОЇДАЛЬНИХ РЕДУКТОРІВ В ТЕХНОЛОГІЧНОМУ ОСНАЩЕННІ ВИРОБНИЦТВ

Сучасні технологічні процеси все більше і більше потребують автоматизації, механізації та збільшення рівня технологічності, при цьому із збереженням чи навіть підвищенням якості продукції та зниження її собівартості, а оскільки на неї дуже впливають час виготовлення та затрачені енергоресурси то використання більш сучасного і ефективного обладнання це прямий шлях до зниження кінцевої ціни продукції. Зараз в виробничому та технологічному обладнанні широко застосовують високомоментні сервоприводи чи крокові двигуни які мають високий ККД, можуть керуватися як за допомогою окремих плат керування, так і при підключенні до верстатів чи загальної системи лінії виробництва. Вони є більш ефективними від пневматичних чи гідравлічних привідних пристроїв за рахунок того що електрична енергія відразу перетворюється на механічну, без втрат на компресорах, гідростанціях та їх підвідних лініях. Але є і недолік – крокові двигуни високої потужності коштують дорого, а меншої просто не мають достатнього крутного моменту. Вирішенням даного недоліку є застосування крокового двигуна в парі з циклоїдальним редуктором.

Циклоїдальні приводи є високоефективними компактними механічними редукторами з високим передатним співвідношенням. Їх характеристики, такі як високий ККД (близько 93%), 500% ударна перевантажувальна здатність, тривалий термін служби, мінімальне технічне обслуговування та доступність у кількох конфігураціях – усі вони мають діапазон високих передатних чисел (зазвичай до 119:1 на одному ступені зниження швидкості – що неможливо за допомогою звичайних приводів без багатоступінчастих варіантів), у компактному виконанні, робить їх більш привабливими до застосування ніж звичайні аналоги. Вони використовуються не тільки в техніці, яка потребує зниження швидкості, а й у високотехнологічних пристроях для точного руху, високий крутний момент, малі розміри, умови роботи з перевантаженнями чи ударами таких як автоматизація, затискні пристрої верстатів та шарнірні приводи роботів [1].

Дослідження [2,3] стверджують, що циклоїдні приводи можуть бути ефективними засобами механічної передачі потужності в умовах динамічного навантаження, де динамічні умови характеризуються високошвидкісними, високочастотними залежними від часу зусиллями. Основною причиною наукового інтересу є те, що дані редуктори мають великий потенціал у практичному застосуванні. Зараз виробництво циклоїдальних редукторів стало дешевим і нескладним за рахунок автоматизованого проектування та виготовлення на верстатах з ЧПК.

Список посилань

1. Kumar N. A new method to estimate effective elastic torsional compliance of single-stage Cycloidal drives [Електронний ресурс] / Naren Kumar, Vladis Kosse, Adekunle Oloyede // Mechanism and Machine Theory. – 2016. – Т. 105. – С. 185–198.

2. Lin W.-S. Design of a two-stage cycloidal gear reducer with tooth modifications [Електронний ресурс] / Wan-Sung Lin, Yi-Pei Shih, Jyh-Jone Lee // Mechanism and Machine Theory. – 2014. – Т. 79. – С. 184–197.

3. Efficiency Analysis of New Two-Stage Cycloid Drive Concept [Електронний ресурс] / M. Matejić [та ін.] // Tribology in Industry. – 2020. – Т. 42, № 2. – С. 337–343. – Режим доступу: https://doi.org/10.24874/ti.880.05.20.06

УДК 621.9-1

Авраменко С.Є., аспірант
Дегтярьов І.М., канд. техн. наук, ст. викладач,
[1]Сумський державний університет, м. Суми, s.avramenko@tmvi.sumdu.edu.ua

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ХВИЛЬОВИХ ПЕРЕДАЧ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ У ЗАТИСКНИХ ВЕРСТАТНИХ ПРИСТРОЯХ З ЕЛЕКТРИЧНИМ ПРИВОДОМ

Застосування верстатних пристроїв у машинобудівному виробництві є невід'ємною частиною виробничого процесу та наряду з іншими виробничими факторами визначає його ефективність. Тому варто підходити до проєктування верстатних пристроїв (ВП) з точки зору компактності, енергоефективності та зручності у користуванні.

Зупинимось на затискних ВП для свердлильно-фрезерно-розточувальних верстатів, адже на даному обладнанні виконується оброблення деталей широкої номенклатури різної конфігурації та типорозмірів. Найбільш розповсюдженим та універсальним затискним ВП є прихват. Прихвати можуть мати різний тип приводу, але принцип їх дії однаковий. Недоліками автоматизованих прихватів на основі гідро- та пневмоприводів є необхідність наявності робочого середовища під тиском для можливості закріплення та великі габарити. Недоліками ручних прихватів є складність контролю сили затиску та необхідність застосування ручної праці, що виключає можливості до автоматизації.

Тому пропонується концепція розроблення універсального затискного ВП на основі приводу від крокового двигуна та одного з видів хвильових передач – гвинтової або зубчастої. Спільним для двох видів хвильових передач є наявність генератора хвиль та гнучкої ланки, що здатна до пружного деформування. Загалом застосування хвильової передачі у механізмі затиску ВП обумовлено їх високим передатним відношенням при достатній компактності та міцності, що як раз і необхідно для універсального затискного ВП. Переваги та недоліки двох видів хвильових передач наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Порівняння видів хвильових передач

Вид хвильової передачі	Переваги	Недоліки
Гвинтова	Малі габарити у діаметральних розмірах	Великі габарити у довжину
	Високе передатне відношення	Низький КПД (при застосуванні пари «гвинт-гайка» ковзання
		Сприймають навантаження на кручення гвинта
Зубчаста циліндрична	Малі габарити у довжину	Великі габарити у діаметральних розмірах
	Високий КПД	Сприймають навантаження на згин та зминання зубців
	Високе передатне відношення	

Виходячи із табл. 1 за перевагами та недоліками обидва види передачі приблизно рівнозначні, проте застосування зубчастої циліндричної передачі саме у механізмі лінійного руху робочої частини прихвату буде потребувати додаткових деталей, що збільшує складність, вартість та габарити.

Тому в основу технічного рішення універсального затискного ВП буде покладено застосування гвинтової хвильової передачі, обгінної муфти та крокового двигуна з контролером, що дозволить автоматизувати процес затискання деталей.

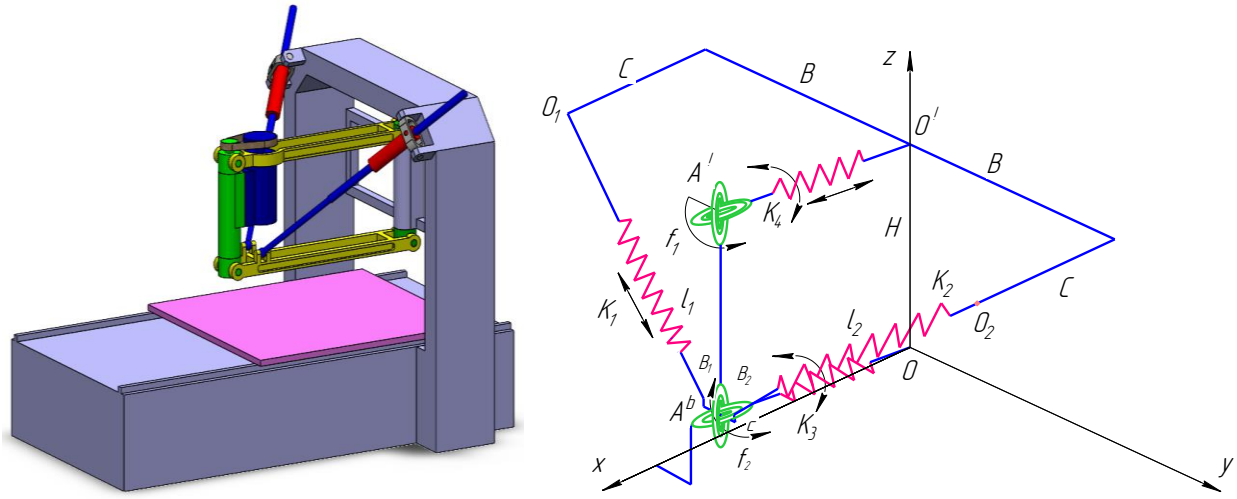
УДК 62-231:621.9.04

Кропівний О.О., аспірант
Кириченко А.М., докт. техн. наук, професор
Гречка А.І., канд. техн. наук, доцент
Центральноукраїнський національний технічний університет, kyrychenkoam@kntu.kr.ua

ТЕОРЕТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ПРОСТОРОВОЇ ЖОРСТКОСТІ ВЕРСТАТА З МЕХАНІЗМОМ ПАРАЛЕЛЬНОЇ СТРУКТУРИ «БІПОД»

Верстат з механізмом паралельної структури «біпод» [1] має відносно просту конструкцію і може використовуватися для обробки виробів великої довжини з легких сплавів та неметалевих матеріалів, оскільки дозволяє отримати робочу зону необмеженої довжини. Теоретичне визначення та дослідження просторової жорсткості механізму паралельної структури «біпод» має ключове значення для раціонального проектування та вдосконалення конструкції верстата на його основі.

Для визначення матриці просторової жорсткості верстата з механізмом «біпод» (рис 1, а) можна скористатися методом синтезу [2], згідно з яким матриця жорсткості визначається як сума матриць жорсткості його ланок $K = \sum_{i=1}^{n} K_i$, причому для ланки з поступальною жорсткістю $K_i = k_{\text{пі}} \mathbf{N}_i \mathbf{N}_i^T$, а для ланки з крутильною жорсткістю $K_{\text{i}} = k_{\text{Ki}} \mathbf{N}_{\text{Ki}} \mathbf{N}_{\text{Ki}}^T$, де $k_{\text{Пі}}$ та k_{Ki} – коефіцієнти поступальної та крутильної жорсткості ланок, $\mathbf{N}_i$ – вектор 6х1 плюкерових координат ланки, $\mathbf{N}_{\text{Ki}} = \begin{bmatrix} 0 \\ \mathbf{n}_{\text{Ki}} \end{bmatrix}$, $\mathbf{n}_{\text{Ki}}$ – одиничний вектор *i*-ї ланки.



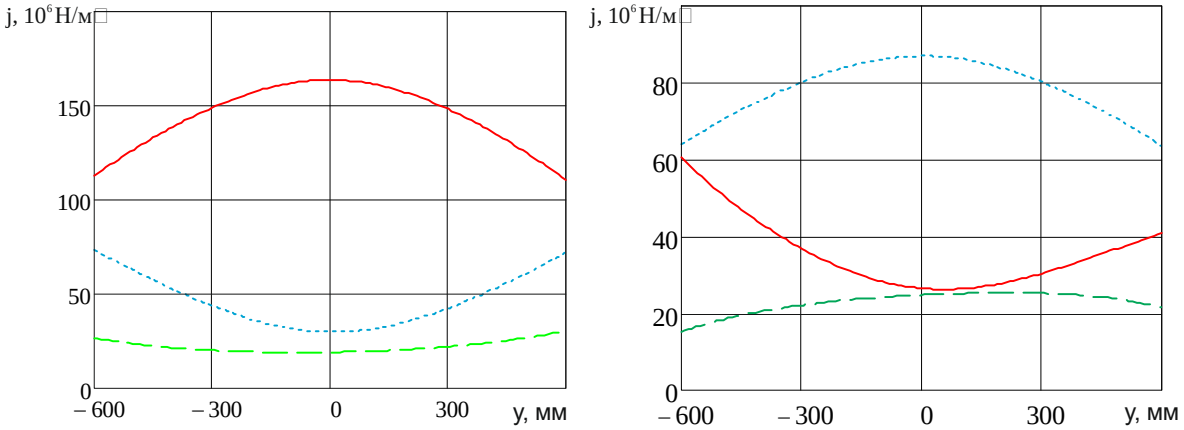
а) б)

Рис. 1 – Компоновка верстата з механізмом «біпод» а) і розрахункова схема жорсткості б)

Відповідно до розрахункової схеми (рис. 1, б) та кінематичних залежностей [3] визначено нормальні вектори осей ланок, вектори 6х1 плюкерових координат ланок та розраховано матриці жорсткості ланок верстата з врахуванням коефіцієнтів поступальної та крутильної жорсткості ланок, що дозволило отримати загальну матрицю просторової жорсткості механізму у вигляді

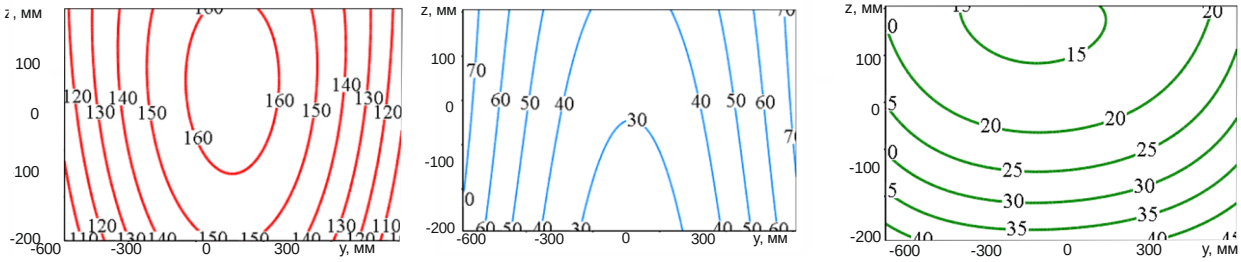
$$K = \begin{pmatrix} 163{,}762 & 11{,}254 & -15{,}743 & -7{,}121 & 92{,}326 & 0{,}615 \\ 11{,}254 & 32{,}528 & 1{,}684 & -3{,}38 & 5{,}534 & 33{,}329 \\ -15{,}743 & 1{,}684 & 21{,}15 & 5{,}41 & -14{,}418 & 1{,}888 \\ -7{,}121 & -3{,}38 & 5{,}41 & 6{,}64 & -6{,}151 & -2{,}705 \\ 92{,}326 & 5{,}534 & -14{,}418 & -6{,}151 & 86{,}112 & 0{,}019 \\ 0{,}615 & 33{,}329 & 1{,}888 & -2{,}705 & 0{,}019 & 35{,}027 \end{pmatrix} \cdot 10^6.$$

Результати розрахунку просторової жорсткості дозволили побудувати графічні залежності (рис. 2) жорсткості від координати Y розміщення робочого органа вздовж поперечної осі верстата, а також встановити розподіл жорсткості у напрямках координатних осей у робочій зоні верстата (рис. 3).



а) б)

Рис. 2 – Залежності поступальної а) і крутильної б) жорсткості від координати Y



а) б) в)

Рис. 3 – Розподіл жорсткості у напрямках координатних осей X а), Y б), Z в) у робочій зоні верстата

Аналіз показаних графічних залежностей дозволяє зробити висновок, що жорсткість у напрямку осі X максимальна і в 2-3 рази перевищує жорсткість у напрямках осей Y та Z. Проведене дослідження дозволило визначити зони з максимальною та мінімальною жорсткістю, окреслити напрямки подальших досліджень жорсткості та сформулювати рекомендації з підвищення жорсткості верстата.

Список посилань

1. Пат. № 35361 Україна. МПК B23B 41/00. Верстат / А. М. Кириченко, Ю. В. Лєбєдєв, С. М. Заїка, Л. В. Ленченко. – № u200805562 ; заявл. 29.04.2008 ; опубл. 10.09.2008, Бюл. № 17.

2. Кириченко А. М. Матриця жорсткості просторових механізмів паралельної структури з пружними ланками / А. М. Кириченко // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кіровоград: КНТУ, 2010. – Вип. 40, ч. І. – С. 256-262.

3. Кириченко А. М. Аналіз кінематики верстата з двохкоординатним механізмом паралельної структури «біпод» / А. М. Кириченко, Л. В. Ленченко, А. М. Заїка // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – Тернопіль : ТДТУ, 2008. – № 2. – С. 74-81.

УДК 621.371

Філатов Ю.Д., докт. техн. наук, професор
Сідорко В.І., докт. техн. наук, доцент
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, м. Київ, filatov@ism.kiev.ua
Ковальов С.В., канд. техн. наук
Ковальов В.А., канд. техн. наук, доцент
Юрчишин О.Я., канд. техн. наук, доцент
Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського»,
urchyshynoks@ukr.net

ПОЛІРУВАННЯ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ З ПОЛІМЕРНИХОПТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

Підвищення якості полірованих поверхонь оптико-електронних елементів з полімерних оптичних матеріалів та забезпечення їх відповідності сучасному рівню розвитку науки і техніки можливі лише за удосконалення технології їх механічної обробки та розробки нових полірувальних дисперсійних систем, які б забезпечували високу якість обробки та повну відсутність дефектів на оброблених поверхнях за достатньої швидкості зняття оброблюваного матеріалу [1–2].

Метою даного дослідження є вивчення закономірностей впливу фізико-хімічних властивостей оброблюваного матеріалу та дисперсної системи на продуктивність полірування та шорсткість полірованих поверхонь оптико-електронних елементів з полімерних оптичних матеріалів.

Дослідження закономірностей полірування елементів оптоелектроніки за допомогою дисперсних систем з мікро- та нонопорошків здійснювалось при поліруванні плоских поверхонь деталей з оптичних полімерних матеріалів діаметром 60 мм на верстаті мод. 2ШП-200М за допомогою притиру з пінополіуретану діаметром 100 мм при зусиллі притискання деталі до притиру 50 Н, частоті обертання притиру 90 об/хв., зміщенні 30 мм та довжині штриха 80 мм, середній температурі в зоні контакту оброблюваної деталі та притиру 298 *К*. Оброблювались полімерні матеріали, які використовуються для виготовлення сцинтиляторів з полістиролу ПС (густина ρ_1=1,06 г/см^3, діелектрична проникність ε_1=2,5, коефіцієнт теплопровідності λ_1=0,15 Вт/(м·*К*)), контактних та інтраокулярних лінз з поліметилметакрилату ПММА (ρ_1=1,18 г/см^3, ε_1=3,9, λ_1=0,19 Вт/(м·*К*)), лінз для окулярів з поліаллілдігліколькарбонату CR-39 (ρ_1=1,32 г/см^3, ε_1=10,0, λ_1=0,20 Вт/(м·*К*)). Полірування здійснювалось за допомогою дисперсної системи з мікро- та нанопорошків (ДС1) (ρ_2=3,86 г/см^3, ε_2=6,1, λ_2=1,0 Вт/(м·*К*)) та водяної суспензії двооксиду церію (ДС2) (ρ_2=6,62 г/см^3, ε_2=21,2, λ_2=3,0 Вт/(м·*К*), яка традиційно застосовується для полірування оптичних матеріалів. Підготовка плоских поверхонь оптичних деталей під полірування здійснювалась за допомогою традиційних методів тонкого та надтонкого шліфування. Частоти власних коливань молекулярних фрагментів частинок полірувального порошку дисперсної системи ДС1, визначені за спектрами ІЧ-поглинання (Фур'є-спектрометр Nicolet 6700), складали (см$^{-1}$): 597, 733, 777, 850, 870, 943, 984, 1085, а дисперсної системи ДС2 – 465, 521, 848. Досліджувані полімерні оптичні матеріали характеризувались частотами власних коливань молекулярних фрагментів, які визначались за відповідними ІЧ-спектрами: ПС – 537, 696, 753, 905, 1027 (см$^{-1}$), ПММА – 481, 750, 840, 960, 1065 (см$^{-1}$), CR-39 – 495, 621, 792, 839 (см$^{-1}$). Довжина шляху тертя частинки полірувального порошку по оброблюваній поверхні і швидкість відносного переміщення деталі та притиру, усереднювались за кінематичними параметрами налагодження верстату (зміщення та довжини штриха). Середні розміри частинок полірувального порошку визначались за зображеннями, отриманими за допомогою растрового електронного мікроскопу Zeiss-EVO50 з системою мікроаналізу AZtec, і

складали 409 нм – для ДС1 і 910 нм – для ДС2. Зняття оброблюваного матеріалу визначалось ваговим методом за допомогою аналітичних терезів в мг/30 хв. Параметри шорсткості полірованих поверхонь визначали методом комп'ютерного моделювання та контролювали за допомогою безконтактного інтерференційного 3D профілографа Micron-alpha.

Результати визначення показників полірування – продуктивності зняття оброблюваного матеріалу та параметрів шорсткості оброблених поверхонь наведено в таблиці.

Таблиця 1 – Показники полірування полімерних оптичних матеріалів

Показники полірування	Оброблюваний матеріал					
	ПС	ПММА	CR-39	ПС	ПММА	CR-39
Дисперсна система	ДС1			ДС2		
Продуктивність полірування, мг/хв. мкм/год.	0,25 5,0	1,10 19,8	0,04 0,6	0,002 0,03	2,57 46,0	0,06 0,9
Параметри шорсткості поверхні						
Ra, нм	8,9±0,4	12,0±0,8	7,3±0,2	5,2±0,2	29,1±2,1	7,6±0,3
Rq, нм	9,6±0,4	12,8±0,9	7,7±0,3	5,5±0,2	31,3±2,8	7,9±0,4
*R*max, нм	17,1±1,7	20,3±2,2	13,0±1,4	9,6±0,9	51,1±8,6	13,1±1,9

В результаті досліджень вивчено механізм міжмолекулярної взаємодії оброблюваної поверхні з частинками дисперсної фази полірувальної дисперсної системи [3], встановлено, що перенос енергії між ними відбувається за ферстерівським механізмом [4] і показано, що на показники полірування полімерних оптичних матеріалів найбільше впливають реологічні властивості дисперсної системи [5], параметри структури оброблюваного матеріалу [6] та спектроскопічні характеристики оброблюваного матеріалу та дисперсної системи з мікро- та нанопорошків [7].

Список посилань

1. Filatov Yu.D. Modeling and experimental study of surfaces optoelectronic elements from crystal materials in polishing. Simulation and Experiments of Material-Oriented Ultra-Precision Machining. Springer Tracts in Mechanical Engineering / eds. J. Zhang, Springer Nature Singapore Pte Ltd., 2019. P. 129–165.

2. Filatov Yu.D. Polishing of precision surfaces of optoelectronic device elements made of glass, sitall, and optical and semiconductor crystals: A review. J. Superhard Mater. 2020. Vol. 42, no. 1. P. 30–48.

3. Filatov Yu.D., Sidorko V.I., Kovalev S.V., Kovalev V.A., Effect of Interaction between Polishing Powder Particles and a Treated Material on Polishing Characteristics of Optical Surfaces. J. Superhard Materials, 2021, Vol. 43, no. 4. P. 296–302.

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

5. Filatov Yu.D., Sidorko V.I., Kovalev S.V., Kovalev V.A., Effect of the Rheological Properties of a Dispersed System on the Polishing Indicators of Optical Glass and Glass Ceramics. J. Superhard Materials, 2021, Vol. 43, no. 1. P. 65–73.

6. Filatov Yu.D., Sidorko V.I., Kovalev S.V., Kovalev V.A., Effect of the Processed Material Structure on the Polishing Quality of Optical Surfaces. J. Superhard Materials, 2021, Vol. 43, no. 6. P. 435–443.

7. Filatov Yu.D., Sidorko V.I., Boyarintsev A.Y., Kovalev S.V., Garachenko V.V., Kovalev V.A., Effect of the Spectroscopic Parameters of the Processed Material and Polishing Powder on the Parameters of Polishing. J. Superhard Materials, 2022, Vol. 44, no. 1. P. 37–45.

УДК 631.331

Зданевич С.В., канд. техн. наук
Дніпровський державний аграрно-економічний університет, zdanevych.s.v@dsau.dp.ua

ПАРАМЕТРИЧНА КІНЦЕВО-ЕЛЕМЕНТНА МОДЕЛЬ ТА ІМІТАЦІЙНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ НАВАНТАЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ НЕСУЧОЇ КОНСТРУКЦІЇ ПРИЧІПНОГО ШИРОКОЗАХВАТНОГО ПОСІВНОГО КОМПЛЕКСУ

Впровадження причіпних широкозахватних посівних комплексів (ПШПК) [1] суттєво збільшує продуктивність сучасних технологій зернового рослинництва та забезпечується за рахунок використання тракторів збільшеної ефективної потужності (до 500 к.с.). Сівалки сучасних ПШПК здатні швидко трансформуватися з транспортного положення в робочий стан, мають значну масу і габарити.

ПШПК ATD 18.35 виробництва «Агро-Союз – HORSCH» [2] (ширина захвату 18,2 м, кількість сошників – 52, маса – 14800 кг) у транспортному положенні являє собою причіпний екіпаж з незалежною жорсткою підвіскою двох здвоєних передніх опорних коліс і задніх коліс ґрунтоущільнювача. Несуча конструкція (НК) ПШПК являє собою складну просторову зварену металоконструкцію, що складається з п'яти секцій, та зроблена з квадратної стальної профільної труби (100х100 мм) з різною товщиною стінки.

Додаткові інерційні навантаження в транспортному положенні ПШПК обумовлені істотною масою агрегату і значною вертикальною складовою пришвидшення при наїзді екіпажа на перешкоду, що може привести до руйнування елементів підвіски опорних коліс [3].

З урахуванням натурних досліджень розроблена для подальшого комп’ютерного моделювання параметрична кінцево-елементна модель НК ПШКП, задані механічні властивості матеріалів металоконструкцій НК, зв'язків, просторова схема технологічних навантажень, характеристики динамічних впливів, а також взаємозв'язків між навантаженнями (у режимі сівби, транспортному положенні, при операціях складання - розкладання секцій) для визначення їх найбільш небезпечних комбінацій для окремих елементів НК.

Модель НК ATD 18.35 була представлена у вигляді об'єднаних секцій для кожного з функціональних положень та являє собою п’яти блочну систему, симетричну щодо поздовжньої осі центральної секції, просторових рам з'єднаних між собою трьох і чотирьох рухливими шарнірами. Кожен блок, що відповідає секції НК, складається з елементів (стрижнів заданого перерізу), пов'язаних в просторову раму вузлами, без урахування місцевих підсилень та являє собою багаторазово статично невизначену систему, навантажену відповідно до режиму експлуатації. Моделювання напружено-деформованого стану НК здійснювалось з урахуванням розподіленої маси металоконструкції та зосереджених мас вузлів сошників.

Проаналізовані розрахункові дані напружено-деформованого стану елементів НК, визначені їх запаси міцності, виявлені елементи і з'єднання, що підлягають підсиленню.

Список посилань

1. Герук С.М. Тенденції розвитку конструкцій посівних агрегатів [Текст] / С.М. Герук, Є.А. Петриченко//Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. – 2014. - №1. – С.31-45.

2. Посевной комплекс ATD 11.35, ATD 18.35: [Електронний ресурс] Проспект фирмы «Horsch - Агро-Союз», Германия – Украина, 2006. – 7 с.– Режим доступу: https://docplayer.com/80071859-Horschagro-soyuz-posevnoy-kompleks-atd-atd-18-35.html.

3. Зданевич С.В. Экспериментальное исследование и моделирование динамики экипажа с безрессорной независимой подвеской колес при наезде на препятствие [Текст] / С.В. Зданевич, Р.П. Погребняк // Підйомно-транспортна техніка. - 2010. - №2. – С.81-86.

УДК 681.2

Заєць С.С. асистент
Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського»,
zssvp0204@gmail.com

СИСТЕМА ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ОБРОБКИ НА ФРЕЗЕРНИХ ВЕРСТАТАХ З ЧПК

На сучасному етапі розвитку приладобудування для виготовлення складних деталей використовується фрезерні верстати з числовим програмним керуванням - ЧПК, обробляючі центри. Вони володіють вельми великими можливостями по обробці складних по конструкції деталей, за допомогою багатьох різальних інструментів в автоматичному режимі без посереднього втручання робітників. Завдяки звільненню людини від безпосередньої участі у виробничих процесах, а також високій концентрації основних операцій значно поліпшуються умови праці та економічні показники виробництва [1].

Щоб уникнути таких проблем та підвищити якість виготовлення деталей пропонується система підвищення надійності обробки на основі технічної діагностики і прогнозування виникнення відмов, яка за рахунок моніторингу, в реальному часі, відслідковує технічний стан механічної обробки деталей, на багатоцільових верстатах, по результатам роботи якої, і робиться прогнозування вірогідності відмови обладнання чи інструмента.

Основними видами відмов різального інструменту при фрезеруванні є: зношування різальної кромки, викришування, сколювання і поломки фрез. В наслідок відмови різального інструмента підвищується відповідно відсоток браку й зменшується продуктивність всього технологічного процесу, що приводить до зростання витрат на відновлення порушень у технологічній системі. [2]

Крім руйнування інструмента, на надійність процесу фрезерування може вплинути зниження якості обробленої поверхні. Найбільш важливим параметром якості обробленої поверхні є шорсткість. Для досягнення при обробці необхідних показників шорсткості, підбирають рижими різання з урахуванням періоду стійкості різального інструмента. Однак дія випадкових факторів може привести до збільшення шорсткості понад припустиму межу й, отже, до браку, що виник до встановленого періоду стійкості різального інструмента.

Для формулювання завдань, пов'язаних з проектуванням і вибором методів розрахунку систем підвищення надійності механічної обробки на фрезерних верстатах з ЧПК, необхідно зупинитися на фізичній суті най технологічно іншого процесу і встановити причини і закономірності явищ, якими він супроводжується. Об'єктом підвищення надійності для системи є верстат спільно з процесом різання. На вихідних характеристиках об'єкту відбуваються зміни параметрів як управляючого пристрою так і підвищення надійності.

Незмінною частиною пристрою, що підвищення надійності, є ПЧПП, в яку вводять програму і є набором окремих чисел, цифр і букв, наступних в певному порядку. Ця програма закодована в певній системі числення і нанесена на програмо носій. Після зчитування з програмо носія закодована програма зазнає в ПЧПП зворотний процес декодування, тобто систему прогнозування відрізняє дискретний характер завдання і проходження сигналів. У програмі містяться всі відомості про такий процес обробки, який гарантує дотримання в допустимих нормах всіх заданих вихідних параметрів: точності, продуктивності, собівартості, стійкості інструменту і т. д. Проте максимальна ефективність використання верстата не завжди співпадає з виконанням цих норм. Часто потрібен достатньо високий рівень одного або декількох показників процесу за умови, що рівні інших не вийдуть за допустимі межі. Наприклад, потрібно одержати високу продуктивність при певній точності або собівартості або знайти деякі компромісні значення продуктивності

і економічній стійкості інструменту. Іншими словами, слід оптимізувати процес обробки відповідно до поставленої мети [3,5].

Оптимізація процесу обробки вимагає чіткого визначення критерію і вибору стратегії прогнозування, що забезпечує досягнення оптимуму цього критерію.

Відхилення розмірів деталей від вказаних на кресленні при обробці на верстатах відбуваються внаслідок похибок, обумовлених недосконалістю механічної частини верстата, інструменту і робочих механізмів, а також внаслідок похибок, пов'язаних з системою прогнозування. Розглянемо докладніше складові похибок, розділивши їх в першу чергу на похибки пристрою, прогнозування і похибки об'єкту прогнозування.

Похибки пристрою, що прогнозує, складаються з трьох складових:

1) похибок відтворення (статичні і динамічні помилки приводів подачі);

2) похибок програми;

3) похибок, що вносяться шумами каналів зв'язку.

Похибки програми можна, у свою чергу розділити на похибки апроксимації і похибку, пов'язану з дискретизацією. Ці похибки для різних випадків детально розглянуті в роботі [4, 6].

Зупинимося докладніше на похибках об'єкту прогнозування, який є специфічним як з погляду технологічного процесу, так і з погляду виду навантаження на приводи. Одна з основних частин об'єкту прогнозування - процес різання (стружко утворення) – є складним фізичним процесом, при якому мають місце пружні і пластичні деформації. Він супроводжується великим тертям, тепловиділенням, наростоутворенням, усадкою стружки, зміцненням, зношуванням різального інструменту.

Стратегія прогнозування верстатом спільно з процесом обробки на ньому, побудована із застосуванням прогнозуючої моделі, повинна передбачати організацію прогнозування за наступним ієрархічним принципом.

1. На верхньому рівні ієрархії обчислюють критерій прогнозування, йдучи на компромісне рішення при виборі точності, продуктивності і собівартості, і видають завдання на уставки регуляторів. Періодично на верхньому рівні в мікро-ЕОМ обробляють статистичний матеріал в цілях корекції як математичної моделі, так і рівня стабілізації параметрів.

2. На нижньому рівні ієрархії проводиться зміна керівників змінних в цілях оптимізації технологічного процесу, що визначає вихідні властивості верстата. Ці зміни здійснюються по уставкам, що видаються верхнім рівнем з умови екстремуму критерію оптимізації.

Список посилань

1. Тверской М.М. Автоматическое управление режимами обработки деталей на станках / М.М. Тверской. – М.: Машиностроение, 1982. – 236 с.

2. Коробов В.А. «Адаптивное управление в станках с ЧПУ» : Обзор./ В.А. Коробов – М.: НИИмаш, 1979. – 76 с.

3. Бесекерский В.А. Цифровые автоматические системы / В.А. Бесекерский – М.: Наука, 1976. – 576 с.

4. Ратмиров В.А. Основы программного управления станками / В.А. Ратмиров – М.: Машиностроение, 1978. – 240 с.

5. Заєць С.С. Система діагностування стану обладнання в процесі виготовлення деталей приладів / С.С. Заєць // XIX Міжнародна науково-технічна конференція “ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: стан і перспективи”, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна. – с. 43-45.

6. Шевченко В.В. Система діагностики працездатності різального інструменту на верстатах із ЧПК / В.В. Шевченко, С.С. Заєць, Є.В. Богачов, Є.І. Коробцов // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. – 29 (68). – № 2 – с. 198-202.

УДК 539.432

Гладський М.М., канд. техн. наук, доцент
Барандич К.С., канд. техн. наук, доцент
Фролов В.К., канд. техн. наук, доцент
Юренко С.Ю., студент
Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»
v.k.frolov@gmail.com

ВТОМНА МІЦНІСТЬ КОНСТРУКТИВНОЇ СТАЛІ ЗА УМОВИ КОНЦЕНТРАЦІЇ НАПРУЖЕНЬ

Однією з найпоширеніших причин виникнення втомного руйнування в конструктивних компонентах є концентратори напружень. Пази, отвори, галтелі, різьбові та зварні з'єднання – все це концентратори. Навіть під час номінальної пружної поведінки можуть виникати пластичні відхилення в межах концентратора напружень [1-2].

Для визначення ефекту концентрації напружень на циклічну міцність в даній роботі використовувались зразки зі сталі 20. Використовувалась одна базова геометрія для двох різних типів зразків з товщиною стінки 1,1 мм, внутрішнім діаметром 22 мм і довжиною робочої частини 40 мм. Один тип зразків являв собою трубчасті суцільні тонкостінні зразки, інший – такі самі зразки з додатковим круглим наскрізним отвором діаметром 3,4 мм посередині робочої частини.

Для кореляції експериментальних даних втомної довговічності при одновісному циклічному навантаженні і знакозмінному крученні було використано два різних підходи. А саме, критерій Мізеса було у комбінації з S-N методом в наступній формі:

$$\bar{\sigma}_a = \sqrt{3}\left(K_{fT} \cdot S_{aT}\right) \tag{1}$$

де S_{aA} і S_{aT} – амплітуда номінальних значень нормальних і дотичних напружень.

Також в роботі для кореляції даних було використано інший підхід, зокрема, параметр критичної площини Фатемі-Сосі у формі зсуву

$$\frac{\Delta\gamma_{\max}}{2}\left(1+k\frac{\sigma_{n,\max}}{\sigma_y}\right)=\left[\left(1+\nu_e\right)\frac{\sigma'_f}{E}(2N_f)^b+\left(1+\nu_p\right)\varepsilon'_f(2N_f)^c\right]\cdot\left[1+k\left(\frac{\sigma'_f}{2\sigma_y}\left(2N_f\right)^b\right)\right], \tag{2}$$

де $\nu_e = 0.3$ та $\nu_p = 0.5$, пружний і пластичний коефіцієнт Пуассона, відповідно.

Отримано задовільні результати кореляції експериментальних даних для зразків з концентратором напружень з використанням критерію максимальних головних напружень. Проте, спостерігається суттєве відхилення аналітичних розрахунків для зразків без концентратору в умовах одновісного навантаження та знакозмінного кручення. В ході проведення досліджень було виявлено зсувний механізм руйнування зразків зі сталі 20, що також підтверджується аналітичними розрахунками з використанням МКЕ. Було встановлено, що найкращий збіг результатів аналізу дає метод із використанням параметру Фатемі-Сосі як для суцільних зразків, так і для зразків з концентратором.

Список посилань

1. Tipton SM, Nelson DV. Advances in multiaxial fatigue life prediction for components with stress concentrations // International Journal of Fatigue. – 1997. – №19. – С. 503-515.

2. Ohkawa C, Ohkawa I. Notch effect on torsional fatigue of austenitic stainless steel: Comparison with low carbon steel // Engineering Fracture Mechanics. – 2011. – №78. – С. 1577-1589.

УДК 621.773.9

Приходько В.П., канд. техн. наук, доцент
Національний технічний університет України «КПІ ім. І. Сікорського», privas@bigmir.net

ОЦІНКА ТОЧНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РОЗМІРІВ З УРАХУВАННЯМ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЇХ ФОРМУВАННЯ

При проектуванні технологічних процесів (ТП) виготовлення деталей машин, у всьому комплексі робіт значне місце займають розмірні розрахунки основних вихідних параметрів технологічного процесу, а також оцінка точності технологічного процесу в цілому, що базується на оцінці точності конструкторських (КР) і технологічних розмірів (ТР). При виконанні розмірного моделювання та аналізу технологічних процесів оцінка точності технологічних розмірів (ТР), що забезпечується при обробленні є одним із важливих завдань. Якість його вирішення в значній мірі визначатиме достовірність результатів моделювання, обґрунтованість висновків щодо можливостей технологічного процесу (ТП) забезпечити необхідну точність конструкторських розмірів. Точність технологічних розмірів, що забезпечуються при обробленні, оцінюється величиною поля розсіювання ωF_i. Для оцінки точності здебільшого використовуються експериментальні дані. Зокрема статистичні дані, які характеризують середню економічну точність розмірів $\omega_{ек}$, що забезпечується процесом оброблення з використанням відповідної технологічної обробляючої системи (ТОС) [1, 2, 3, 4]. При цьому $\omega_{ек}$ є величиною, що характеризує точність розміру, одержану з використанням типової ТОС за умови, що похибки базування, закріплення і верстатного пристрою мали значення: $\varepsilon_б = 0$, $\varepsilon_з \neq 0$, $\varepsilon_{пр} \neq 0$. Визначення прогнозних величин ωF_i пропонується виконувати з урахуванням особливостей формування розмірів. У залежності від схем формування, технологічні розміри поділяються на 2 типи [1]: розміри 1 типу - одержують обробленням однієї поверхні, заданої технологічним розміром від технологічної чи налагоджувальної баз (опосередковане формування); розміри 2 типу - одержують прямим формуванням – шляхом паралельного чи послідовного оброблення, в одному установі, двох поверхонь, зв'язаних технологічним розміром (розміри, що забезпечуються інструментом, набором інструментів, програмою ЧПУ чи верстатним пристроєм).

Отже, при використанні статистичних даних оцінка точності технологічного розміру може бути представлена у вигляді залежності, яка буде характеризувати величину поля розсіювання з урахуванням основних факторів $\omega F_i = f\left(\omega_{ек} F_i; \varepsilon_{у F_i}; \Delta\rho_{ТБ F_i}\right)$

Для розмірів 2 типу похибки установки заготовок дорівнюватимуть нулю, а просторові відхилення будуть входити в $\omega_{ек Fi}$, тому для таких: $F_i = \omega_{ек} F_i$

При оцінці точності технологічних розмірів першого типу, у зв'язку із відмінністю реальних умов оброблення від тих, в яких одержано значення $\omega_{ек} F_i$ крім $\omega_{ек} F_i$ необхідно додатково враховувати вплив стану бази та величину похибки установки для чого розрахунок ωF_i пропонується [1] виконувати з використанням формули (1).

$$\omega F_i = \omega_{ек} F_i + \Delta\varepsilon_{у F_i} + \Delta\rho_{ТБ Fi} \qquad (1)$$

де $\Delta\varepsilon_{y F_i}$, – найчастіше приймається рівною похибці базування;
$\Delta\varepsilon_{y F_i} = \varepsilon_{\delta F_i}$. $\Delta\rho_{ТБ Fi}$ – частка величини просторового відхилення технологічної бази, що не входить в $\omega_{ек} F_i$яку необхідно врахувати додатково.

В проектних розрахунках доцільно прийняти:

$$\rho_{ТБ Fi} = k\rho_{ТБ Fi} - k1 \cdot \omega_{ek} \cdot F_i, \qquad (2)$$

якщо $\Delta\rho_{ТБ Fi} > 0$ (різниця більше нуля); і $\Delta\rho_{ТБ Fi} = 0$, якщо різниця менше або дорівнює нулю.

Формула (2) враховує додатковий вплив на величину ωF_i: стану технологічної бази, зокрема похибок її розташування чи форми; виду технологічної бази (установча чи опорна або направляюча) та схеми її конструктивної реалізації- $k=1...2$; точності одержуваного розміру - k1=0,25…0,6.

З урахуванням недостатності, а у деяких випадках і суперечливості, рекомендацій у наукових працях, наприклад [1, 2, 3, 4] та інших, завданням цього дослідження було визначення особливостей та умов оцінки розмірів 1 типу. У результаті встановлено, що при використанні у якості ТБ необроблених поверхонь заготовок, завжди, а при використанні начорно оброблених поверхонь, у багатьох випадках, буде виконуватись нерівність $\Delta\rho_{\text{ТБ}Fi} > 0$ що вказує на необхідність розрахунку та урахування $\Delta\rho_{\text{ТБ}Fi}$. При використанні у якості ТБ начисто оброблених поверхонь або поверхонь, що пройшли викінчувальне оброблення $\Delta\rho_{\text{ТБ}Fi} = 0$, отже розрахунок згідно (2) виконувати не потрібно.

Список посилань

1. Приходько В.П. Розмірне моделювання та аналіз технологічних процесів. [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 249 с.

2. Матвеев В.В. Размерный анализ технологических процессов. / Матвеев В.В., Тверской М.М., Бойков Ф.И. и др. – М.:Машиностроение, 1982 – 264с.

3. Бондаренко С.Г. Розмірні розрахунки механоскладального виробництва: навч. посібник / С.Г. Бондаренко – Київ: ІСДО, 1993. – 544 с.

4. Біланенко, В. Г. Проектування технологічних процесів. Частина 1. Оброблення деталей-тіл обертання. [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка», спеціалізацій «Технології машинобудування» та «Технології виготовлення літальних апаратів» / В. Г. Біланенко, В. П. Приходько, О. О. Мельник. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 232с.

УДК 621.773.9

Приходько В.П., канд. техн. наук, доцент
Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», privas@bigmir.net

ОСОБЛИВОСТІ ТА МОЖЛИВОСТІ БАЗУВАННЯ ЗАГОТОВОК З ВИКОРИСТАННЯМ КОНТАКТНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ

Використання контактних вимірювальних систем (КВС) на основі вимірювальних головок (ВГ) на сучасних верстатах з ЧПУ створює нові можливості та особливості реалізації принципів базування, для вирішення задачі забезпечення заданої точності розмірів і взаємного розташування поверхонь. У той же час використання ВГ не приводить до зміни основних принципів базування - сталості технологічних баз та суміщення технологічних і вимірювальних баз, а лише надає нові можливості для їх реалізації. Дотримання принципу суміщення баз забезпечує усунення похибок базування і при традиційних підходах до базування, та з урахуванням того, що розміри в конструкціях деталей, у більшості випадків задаються від декількох вимірювальних баз, дотримання його означало б необхідність переустановлення заготовок із зміною ТБ, а отже і верстатних пристроїв, що суперечило б, як правило, принципу сталості ТБ. Така ситуація мала місце у більшості випадків реалізації технологічних процесів, адже одночасне дотримання принципів сталості та суміщення ТБ могло мати місце тільки у випадку коли всі розміри деталі у відповідному координатному напрямку були б задані від одної вимірювальної бази, у практиці оброблення деталей така ситуація зустрічається не часто, а отже в залежності від особливостей вирішуваних задач, перевага, у більшості випадків, віддавалась дотриманню одного із зазначених принципів.

Використання КВС на верстатах з ЧПУ дозволяє забезпечити одночасне виконання принципів сталості та суміщення вимірювальних і технологічних баз, без переустановлення заготовок і таким чином використати у повній мірі переваги їх дотримання, зокрема спростити конструкцію верстатних пристроїв, усунути похибки базування та установки заготовок, забезпечити досягнення необхідної точності розмірів з мінімальними витратами ресурсів. При такому підході, базування заготовки реалізується не як задання необхідного положення у системі координат верстата, а як задання необхідного положення системи координат верстата, з урахуванням фактичного положення заготовки, визначеного за допомогою КВС. Правило базування відоме як "правило 6 точок", що реалізують певний комплект ТБ, залишається в силі, тобто реалізується повна схема базування. Зауважимо, що, за наявності відповідних технологічних і конструктивних можливостей верстата, теоретично можлива заміна усього комплекту реальних ТБ (установча, направляюча, опорна) на віртуальні ТБ. Як правило, це можна реалізувати на 5-координатних верстатах. У той же час, у необхідних випадках, віртуальні технологічні бази можуть використовуватись в якості окремих ТБ, для виконання певних локальних завдань. Наприклад, при токарному обробленні заготовки ступінчастого вала, у якого положення торцевих поверхонь ступеней задано лінійними розмірами від різних торців вала, які попередньо оброблені на фрезерно-центрувальній операції, доцільно використати віртуальну опорну ТБ. При установленні заготовки в центрах в якості опорної ТБ буде використовуватись лівий торець, а розміри необхідно забезпечити від поверхні правого торця, який для відповідних розмірів буде вимірювальною базою. У цьому випадку буде мати місце похибка базування, яка дорівнюватиме допуску на довжину вала і яка може перевищувати допуски відповідних лінійних розмірів, які задані від правого торця. Вирішення цієї проблеми можливо за рахунок визначення, за допомогою КВС, фактичного положення правого торця та використання його у якості віртуальної опорної технологічної бази для одержання відповідних розмірів. При такому варіанті оброблення похибки базування лінійних розмірів, заданих від правого торця вала будуть дорівнювати нулю, що вирішить проблему забезпечення необхідної точності.

Для реалізації віртуального базування [1, 2] верстат повинен бути оснащений OMV-вимірювальною системою (On-Machine Verification-котроль на верстаті), яка включає контактний вимірювальний датчик, наприклад, тензодатчик моделі OMP400 або OMP700 компанії Renishaw, приймачем сигналу та інтерфейсу для зв'язку з системою ЧПУ верстату. Для програмування таких вимірювань система управління верстату повинна бути оснащена спеціалізованою CAI-системою (CAI, Computer Aided Inspection), наприклад Power INSPECT OMV фірми Delcam, яка забезпечує програмування необхідних вимірювань та визначення траєкторій переміщення вимірювального щупу. Такі вимірювання забезпечують контроль дійсного просторового положення заданих поверхонь заготовки, передачу результатів цих вимірювань у систему управління верстату, яка за їх результатами вносить зміни в управляючу програму оброблення заданої деталі.

Наявність відповідного програмного забезпечення та вимірювальних засобів є необхідною умовою, але можливості реалізації різних видів віртуальних ТБ будуть визначатись кількістю і видами керованих координат верстата з ЧПУ. Зокрема, на 3-х координатних верстатах можуть бути реалізовані: опорна і подвійна опорна ТБ, які, відповідно, визначають положення заготовки по одній і по двох лінійних координатах. Реалізація віртуальної направляючої ТБ (визначає положення по одній лінійній координаті та одне кутове) можлива на 4-х координатному верстаті, який може забезпечити зміну необхідного кутового і лінійного положення заготовки. Реалізація віртуальних установчої і подвійної направляючої ТБ, які визначають положення заготовок, крім лінійних, по двох кутових координатах, можлива при обробленні на верстатах з ЧПУ, які мають 5 керованих координат.

Список посилань

1. Біланенко, В. Г. Проектування технологічних процесів. Частина 1. Оброблення деталей-тіл обертання. [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка», спеціалізацій «Технології машинобудування» та «Технології виготовлення літальних апаратів» / В. Г. Біланенко, В. П. Приходько, О. О. Мельник. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 232с.
2. «Технология адаптивной механообработки», Delcam, 2014.

УДК 621.91.002

Стецько А.Є., канд. техн. наук, доцент
Українська академія друкарства, м. Львів, andrew73@ukr.net

КОМПЛЕКСНИЙ МЕТОД ФОРМУВАННЯ НАНОКОМПОЗИТНИХ ЗМІЦНЕНИХ ЗНОСОСТІЙКИХ ШАРІВ НА ЩВИДКОЗНОШУВАЛЬНИХ ДЕТАЛЯХ МАШИН ХІМІЧНИМ ОСАДЖЕННЯМ І ДИФУЗІЙНИМ НАСИЧЕННЯМ

Формування поверхневих шарів деталей машин потрібних кісних параметрів потребує нових методів зміцнення [1–3]. Підвищення довговічності деталей машин методами поверхневого зміцнення ускладнюється дією двох факторів. По-перше, для виготовлення деталей вітчизняних машин переважно використовують вуглецеві сталі та сірі чавуни, які характеризуються невисоким комплексом механічних властивостей. Отже, невисока працездатність деталей багато в чому обумовлена застосуванням неякісних матеріалів. Тому необхідно вишуковувати способи підвищення довговічності недефіцитних та широко застосовуваних у машинобудуванні матеріалів. По-друге, можливості застосовуваних у промисловості традиційних методів поверхневого зміцнення достатньо добре вивчені та досягли своєї фізичної межі. І ці традиційні методи вже не задовольняють вимоги, що ставляться до нової техніки.

Оптимальним є комплексний метод хімічного осадження і дифузійного насичення [4, 5], який не потребує великих капіталовкладень. Метод складається із дифузійного насичення визначеними хімічними елементами за спеціальними режимами термічної обробки, перед яким проводять хімічне осадження згідно запатентованих рецептур. Після комплексного методу хімічного осадження і дифузійного насичення одночасно бором і титаном отримано зміцнені покриття з надзвичайними якісними та кількісними характеристиками.

Хімічне осадження проводять у розчинах з наявністю нікелю, який дуже добре впливає на морфологічні особливості зміцненого шару. Дифузійне насичення бором та титаном проводять у ретортах з плавким затвором згідно спеціальних термічних режимів.

Отриманий зміцнений шар на поверхнях деталей машин після Комплексного методу зміцнення має велику товщину до 500 мкм та значну твердість і зносостійкість.

Комплексний метод не потребує вартісного обладнання та висококваліфікованого персоналу, що робить його надзвичайно конкурентноздатним.

Список посилань

1. Azouani, O., Keddam, M., Allaoui, O. et al. Prot Met Phys Chem Surf (2017) 53: 306.
2. Oberg E. (2017) Heat-treatment of steel-a comprehensive treatise on the hardening. Read Books Ltd.
3. Campbell F.C. (2008) Surface hardening of steel. In: Elements of metallurgy and engineering alloys. ASM International, Materials Park.
4. 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.

5. 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 681.587.72

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

МОДЕЛЮВАННЯ МЕХАТРОННОГО МОДУЛЯ ПЕРЕМІЩЕННЯ

Створення сучасного виробництва неможливо без використання світових досягнень науки і техніки. Основою такого процесу є всебічна і комплексна автоматизація процесів від ідеї створення продукту, його паковання і постачання, аналізу його використання з метою поліпшення та постійного контролю якості.

Сучасні системи переміщення широко використовують обладнання на основі мехатронних пристроїв, таких як, транспортні роботи, транспортні засоби з автоматичним керуванням, транспортно-розподільче обладнання, засоби ідентифікації та параметризації об’єктів, тощо.

Для дослідження мехатронних систем на основі мехатронних пристроїв часто використовують стенди, які формуються з діючих макетів, та дозволяють будувати моделі мехатронних систем з метою вивчення та їх дослідження.

Задача дослідження полягала у визначенні точності позиціонування механізму захоплення, підйому та переміщення.

Для проведення дослідження роботи маніпулятора був розроблений макет що складається з маніпулятора, контролера Arduino UNO R3, та модуля дистанційного керування HC-05. Приводами робочих вузлів використовуються сервоприводи MG-995 та MG90S.

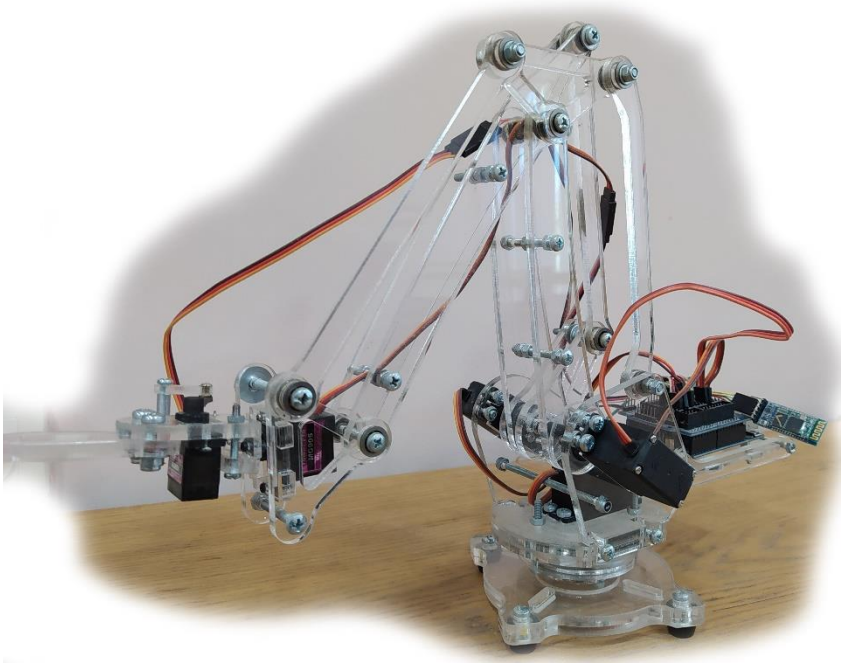


Рис.1 – Загальний вигляд мехатронного модуля переміщення.

Стенд на основі даного модуля переміщення дозволить здійснити дослідження алгоритмів керування мехатронними пристроями з метою визначення оптимальних режимів роботи.

Список посилань

1. Валецький Б.П. Транспортне обладнання гнучких виробничих систем пакування / Б.П. Валецький // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник. – Випуск 54. – Луцьк, 2016. – С.53-58.

2. Валецький Б.П. Механонотроніка складу / Б.П. Валецький // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник. – Випуск 66 . – Луцьк, 2019. – С.46-52

УДК 621.7.0142:669.112

Миронова Т.М., докт. техн. наук, професор
Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро,
t.myronova.myh@gmail.com
Чухліб В.Л., докт. техн. наук, професор
Ашкелянець А.В., канд. техн. наук, доцент
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
ashkelianets@gmail.com

ВПЛИВ СХЕМИ ДЕФОРМУВАННЯ НА РОЗПОДІЛ ДЕФОРМАЦІЇ ПРИ ГАРЯЧОМУ КУВАННІ ДАКТИЛЬОВАННОГО ЧАВУНУ

Одним із методів підвищення пластичності сплавів є ініціювання фазових перетворень в структурних складових. В сплавах евтектичного типу, до яких належать білі чавуни найбільш крихкою складовою в структурі є ледебурит - евтектика на базі карбіду заліза. При легуванні карбідоутворюючими елементами, що розчиняються в евтектичному цементиті, завдяки попередньому відпалу вдається спровокувати карбідні перетворення, які під час гарячого деформування активізуються і сприяють підвищенню пластичності чавуну. Такий ефект впливу фазових переходів на поведінку структурних складових був названий дактилюванням [1].

В роботі проводили дослідження особливостей деформування литих стрижнів із білого чавуну, що містив 2,8…3,.2%C; 2,7%V; 0,65% Si[2]. В процесі високотемпературного відпалу в поверхневому шарі чавунної заготівки відбувається зневуглецевування, в результаті якого евтектичний цементит розпадається на аустеніт та карбіди ванадію. Тобто утворюється двошарова заготівка. Глибина зневуглецьованого шару після відпалу 3…7 год в атмосфері CO_2 складає 2…5 мм. Мікроструктура поверхневого шару при нагріві складається з аустеніту та дрібних карбідів ванадію, а внутрішнього - з аустеніту і колоній ледебуриту. В перехідному шарі спостерігаються залишки цементиту, що не встиг розпастись [2].

Деформування проводили на пневматичному молоті з вагою падаючих рухомих частин 2000 кг, призначеного для ковальських робіт в умовах дрібносерійного виробництва двома методами: методом ковальської витяжки та методом осадки всієї заготовки. Для дослідження розподілу деформації за обома методами використовували програмне забезпечення Q-Form [3]. За обома методами кування в двошаровій заготовці розподіл деформації носить досить рівномірний характер (рис.1). Середнє значення пластичної деформації складає 5,53

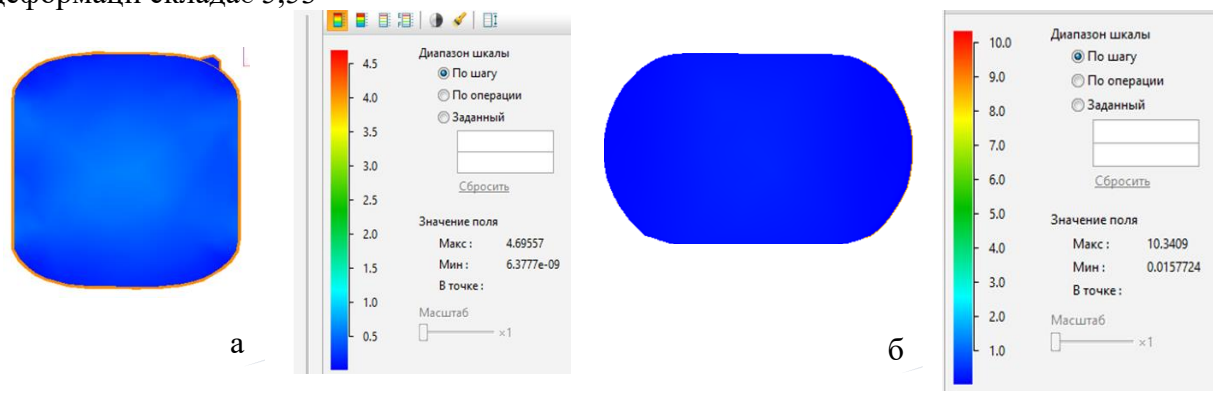


Рис. 1 – Розподіл деформації: а) - при протяжці; б)- при осадці

Розподіл деформації відбувається рівномірно, проте в локальних точках при осадці сягає підвищених значень. Кування шляхом осадки має більші переваги в якості поверхні

поковки, проте деформування шляхом витяжки досягається отримання розмірів поковки по кутам в перетині, що є важливим фактором при куванні поковки.

Список посилань

1. Миронова Т.М. О механизмах влияния фазовых переходов на поведение эвтектических карбидов при деформировании / Т. М. Миронова, Т. Р. Донская, А. Ю. Сидорова // Вісн. Дніпропетр. ун-ту. Сер. : Фізика, Радіоелектроніка. – Д., 2012. – Т. 20, № 2. – с. 97–104.

2. Дослідження особливостей Поведінки двошарових чавунних заготівок в процесі кування / Миронова Т.М., Ашкелянець А.В., Петруша А.А., Бояркін В.В., Моргун І.В. // Обработка металлов давлением: Тематич. Сб. научн. тр. №2(49) – Краматорск: ДГМА. - 2020. – С. 76-81.

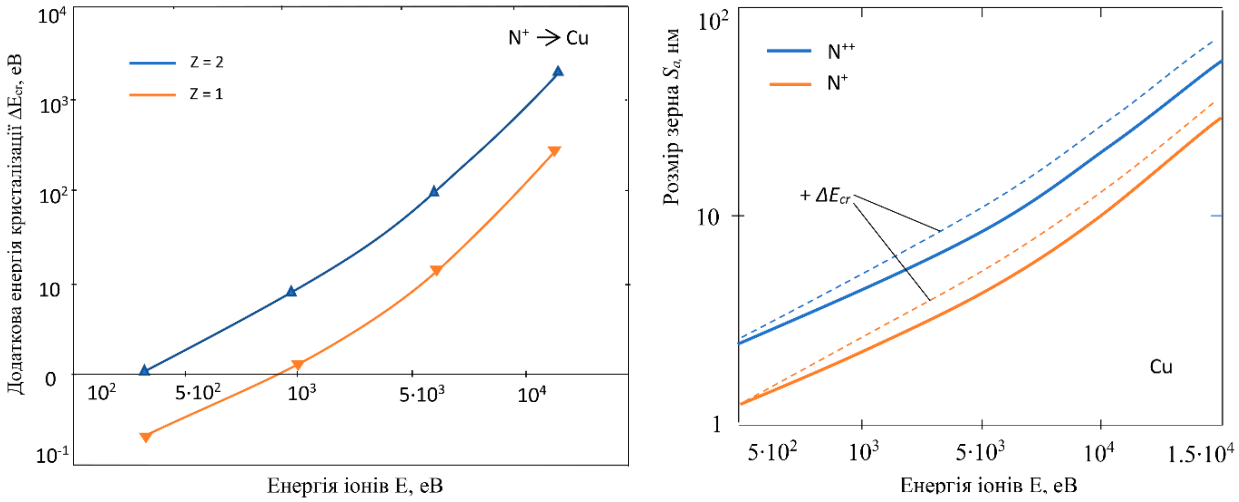
3. Nikolay Biba, Alexander Maximov, Sergei Stebunov, Alexey Vlasov. The model for simulation of thermally, mechanically and physically coupled problems of metal forming. URL: http://www.qform3d.co.uk/publications // Article. - Metal Forming, 2012.

УДК 621.793

Мигловець І. М.,
Широкий Ю.В. канд. техн. наук, доцент,
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ»,
i.shyrokyi@khai.edu

ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕНЕРГІЇ КРИСТАЛІЗАЦІЇ НА ФОРМУВАННЯ НАНОСТРУКТУР ПРИ ІОНО-ПЛАЗМОВІЙ ОБРОБЦІ МІДІ

При дослідженні енергії необхідної для створення наноструктур у деяких конструкційних матеріалах не проводилась оцінка енергії, що витрачаться на кристалізацію при отримані наноструктур іонно-плазмовим методом [1]. Це призводить до зниження точності розрахунків енергії необхідної для отримання наноструктур вище зазначеним методом. Для вирішення цієї проблеми було взято моделі [1], де проводиться вирішення спільної задачі теплопровідності й термопружності в зоні дії індивідуального іона відповідної енергії, заряду і сорту. В цю модель було додано елемент який враховує енергію кристалізації [2]. Це дозволило більш точніше обчислити сумарну енергію атомізації зерна та прийнявши енергію створення зерна як E_c = 1,1E_{ac} знайти уточнене значення енергії необхідної для утворення наноструктур (рис.1).



а) б)

Рис. 1 – Залежність енергії кристалізації від енергії іонів N^+ діючих на мідь а) та залежність розміру зерна від енергії іонів різних зарядів б)

Проведені теоретичні дослідження показали, що енергія кристалізації збільшує енергію іонів необхідну для отримання наноструктур. Енергією кристалізації, при значеннях в

межах від 0,1 до 7 еВ, що відповідає енергії іонів близько 300 еВ, можна знехтувати а при енергіях іонів $2 \cdot 10^3$ - $2 \cdot 10^4$ еВ її необхідно враховувати енергію кристалізації тільки

Список посилань

1. Kostyuk G. Prospects for producing nanostructures in the volume of parts under the action of plasma flows / G. Kostyuk, O. Melkoziorova, E. Kostyuk, Iur. Shirokiy.// Development and tools in technological systems, KhNTU "KhPI", 2020. – Вып 92. – С. 107–121.

2. Shyrokyi Y. Investigation of the Influence of Crystallization Energy on the Size of Nanostructures During Copper Ion-Plasma Treatment. / Y. Shyrokyi, G .Kostyuk // In: eds Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering - 2021. Lecture Notes in Networks and Systems, 2022. – № 367.– С. 57–66.

УДК 621.923

Стрельчук Р. М., канд. техн. наук, доцент
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
r.m.strelchuk@gmail.com

МОДЕЛЮВАННЯ ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХНІ ПРИ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОМУ ШЛІФУВАННІ ЗІ ЗМІНОЮ ПОЛЯРНІСТЮ ЕЛЕКТРОДІВ

Для визначення шорсткості поверхні виконувалося імовірнісно-статистичне моделювання. При електроерозійному шліфуванні шорсткість оброблюваної поверхні формується в результаті утворення окремих лунок, котрі перекривають одна одну [1]. Кожна лунка може бути представлена у вигляді шарового сегмента. Оскільки шаровий сегмент має геометричну симетрію щодо вертикальної осі, завдання утворення лунок розглядалося у двомірній площині. Перетин лунки є: коловий сегмент, радіус дуги якого дорівнює радіусу шарового сегмента.

Зважаючи на стохастичний характер процесу утворення лунок, для визначення шорсткості поверхні використовувався метод імовірнісно-статистичного моделювання (метод Монте-Карло), який полягає в наступному [2]. Окрема вершина та впадина нерівностей оброблюваної поверхні формуються при накладенні двох лунок (рис. 1), яке моделювалося багаторазово. Для цього розігрувалися за допомогою датчика випадкових чисел згідно із законом нормального розподілу значення геометричних параметрів лунок (*dл* і *hл*) та величини параметрів перетину лунок та виходили їх крайові значення.

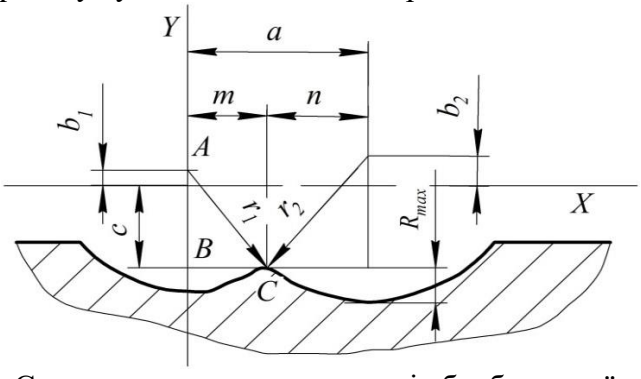


Рис. 1 – Схема розрахунку шорсткості оброблюваної поверхні

Шорсткість оброблюваної поверхні R_{max} розраховувалася за формулою:

$$R_{max} = r_{max} - b_{max} - c_{min}, \quad (1)$$

де r_{max} – найбільше значення радіусу дуги;
b_{max} – найбільше значення відстані між віссю *X* та центром більшої дуги з усіх реалізацій;
c_{min} – найменше значення відстані між точкою перетину дуг та віссю *X* з усіх реалізацій.

Розроблена модель, що враховує просторове становище ерозійних лунок, їх статистичні розміри, дозволяє розраховувати параметри шорсткості, які, зрештою, дають можливість прогнозувати довговічність деталі, що формується.

Список посилань

1. Montes, J., Cuevas, F., Reina, F. Modelling and Simulation of the Electrical Resistance Sintering Process of Iron Powders // Met. Mater. Int. 26, p. 1045–1059 (2020).

2. D'Urso, G., Maccarini, G., Ravasio, C. Influence of electrode material in micro-EDM drilling of stainless steel and tungsten carbide // Int J. Adv. Manuf. Technol. 85, p. 2013–2025 (2016).

УДК 621

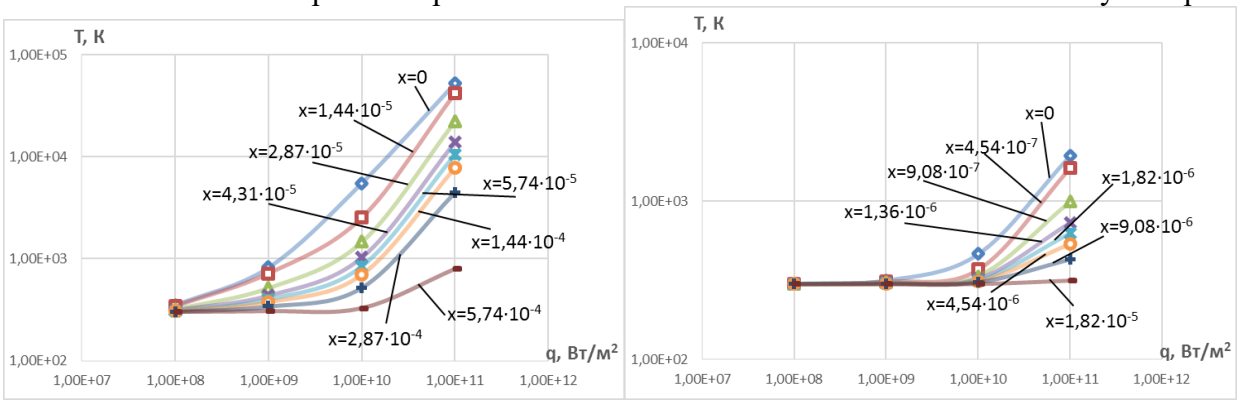
Панченко Ю.С., аспірантка

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», y.panchenko@khai.edu

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ ОТРИМАННЯ НАНОСТРУКТУР НА ІНСТРУМЕНТАЛЬНІЙ СТАЛІ У12 ЗА РАХУНОК ДІЇ ІОНІЗОВАНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Методом подвійної прогонки вирішувалася спільна задача теплопровідності та термопружності, причому на першому півкроці розраховувалися температури, далі за цими температурами визначалися температурні напруги й енергія деформування, з урахуванням якої визначалася температура наприкінці першого кроку. На кожному етапі процедура повторювалася [1-3]. В результаті розв'язання цього завдання отримано поля температур, температурні напруження та швидкості зростання температури; з урахуванням їх значень та критеріїв утворення наноструктур (НС) оцінювалася область деталі, де утворюються НС [4-6].

На основі дослідження температурних полів отримано залежності максимальної температури від щільності теплового потоку (10^8...10^{11} Вт/м^2) та при дії лазерного випромінювання (ЛВ) за час t: 10^{-4} с; 10^{-5} с; 10^{-6} с; 10^{-7} с; 10^{-8} с; 10^{-9} с; 10^{-10} с. При великих часах дії 10^{-4}, 10^{-5} с існує досить широка область щільностей теплових потоків, для яких є можливість реалізації НС на різних глибинах, тоді як зниження часу дії до 10-7 с ця область переміщається у бік великих теплових потоків 10^{10}, 10^{11} Вт/м^2 (рис. 1). Подальше зниження часу дії призводить до того, що практично тільки при дії з щільністю теплового потоку 10^{11} Вт/м^2 є невисока ймовірність отримання НС і тільки на невеликій глибині поблизу поверхні.



а) б)

Рис. 1 – Залежність максимальної температури в зоні дії лазерного випромінювання на У12 від щільності теплового потоку на різних глибинах за час дії: а – t=10^{-4} с, б – t=10^{-7} с

Досліджено залежності температурних напружень у зоні дії ЛВ на сталь У12 від щільності теплового потоку на різних глибинах за часу дії t: 10^{-4} с; 10^{-5} с; 10^{-6} с; 10^{-7} с; 10^{-8}

с; 10^{-9} с; 10^{-10} с. При великому часі дії 10^{-4}, 10^{-5} с є режими при теплових потоках 10^{10} і 10^{11} Вт/м^2, коли можливо отримання НС за рахунок дії температурних напружень (рис. 2).

Для вирішення питання щодо вибору технологічних параметрів для отримання НС було побудовано залежності обсягу нанокластеру від мінімальної і максимальної глибини його залягання при дії ЛВ з різною щільністю теплового потоку на У12 при радіусі плями $1\cdot10^{-6}$ та $5\cdot10^{-7}$ м. При радіусі плями 5 10^{-7} м є найбільш реальна можливість отримання НР (рис. 3).

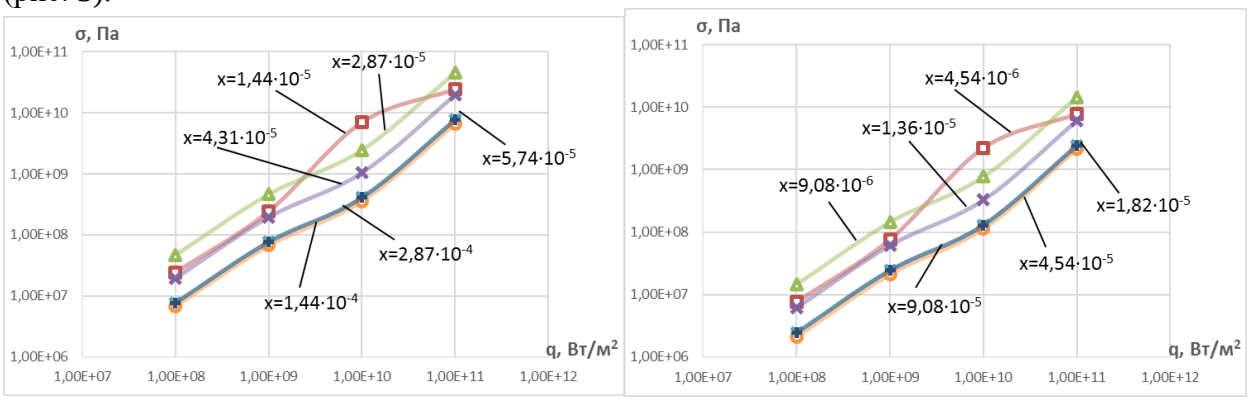


Рис. 2 – Залежність температурних напружень у зоні дії лазерного випромінювання на У12 від щільності теплового потоку на різних глибинах при часі дії: а - t = 10^{-4} с; б - t = 10^{-5} с

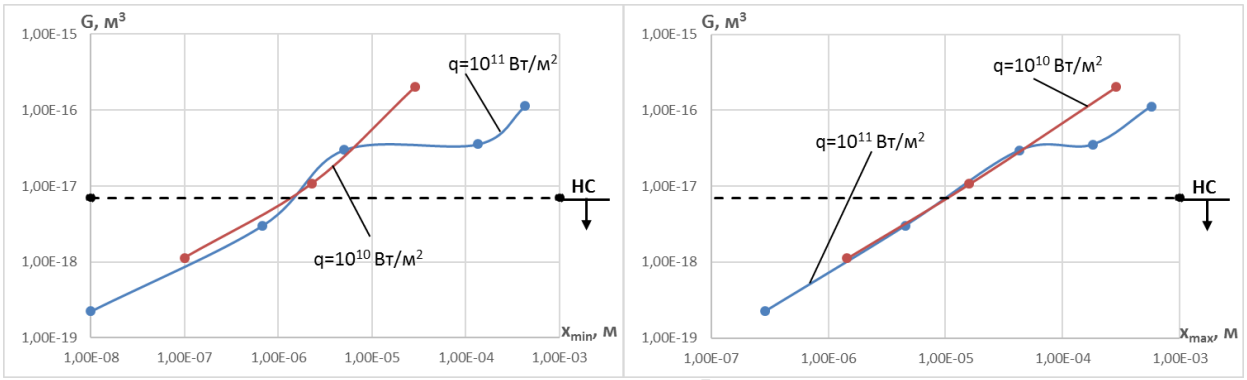


Рис. 3 – Залежність обсягу нанокластера R = $5\cdot10^{-7}$ м від мінімальної (а) та максимальної (б) глибини при дії лазерного випромінювання з різною щільністю теплового потоку q

Список посилань

1. Костюк Г. И Эффективный режущий инструмент с нанопокрытиями и наноструктурными модифицированными слоями: монография-справочник : в 2 кн. / Г. И. Костюк – Харьков : Планета-Принт, 2016. – Кн. 1. Плазменно-ионные и ионно-лучевые технологии. – 735 с., Кн. 2. Лазерные технологии. – 507 с.

2. Костюк, Г. И. Нанотехнологии: теория, эксперимент, техника, перспективы [Текст]: моногр. / Г. И. Костюк. – К.: Изд. центр Междунар. академии наук и инновац. технологий, 2012. – 648 с

3. Prospects for producing nanostructures in the volume of parts under the action of plasma flows / G. Kostyuk, O. Melkoziorova, E. Kostyuk, I. Shirokiy / Різання та інструменти в технологічних системах. – Х.: НТУ «ХПІ», 2020. – № 92.– С. 107-121. https://doi.org/10.20998/2078-7405.2020.92.12

4. Костюк, Г.И. Эффективность получения наноструктур на инструментальной стали У12 за счет действия лазерного излучения [Текст] / Г.И. Костюк, Ю.С. Панченко / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні. – Х.: НТУ «ХПІ», 2017. – № 17(1239). – С. 61-66. http://library.kpi.kharkov.ua/files/Vestniki/2017_17.pdf

5. Костюк, Г. И. Нанотехнологии: выбор технологических параметров и установок, производительность обработки, физико-механические характеристики наноструктур [Текст]: моногр. / Г. И. Костюк. – К.: Изд. центр Междунар. академии наук и ин-новац. технологий, 2014. – 472 с.

6. Костюк, Г. И. Эффективный режущий инструмент с покрытием и упрочненным слоем [Текст]: моногр.-справ. / Г. И. Костюк. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2007. – 633 с.

УДК 621.6 - 004.9

Бабенко М.О., канд. пед. наук, ст. викладач
Вірич М.В., студент
Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет»,
maryna.babenko@donntu.edu.ua

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ САПР AUTOCAD INVENTOR ПРИ ПРОЕКТУВАННІ РОБОТИЗОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

При плануванні роботизованих технологічних комплексів (РТК) окрім технологічних чинників необхідно враховувати такі складові, як цехові робочі обсяги, наявність вільних площ для розташування додаткового обладнання, забезпечення мінімальних шляхів руху елементів робота, забезпечення проходів для обслуговування обладнання, можливість огляду оператором усього комплексу обладнання, максимально ефективне використання робочих площ, можливість розміщення огороджень робочої ділянки. При проектуванні РТК необхідно передбачати також вільний та безпечний доступ до усіх технологічних складових процесу а також до органів управління та аварійного відключення.

Забезпечення таких заходів неможливе без урахування габаритних параметрів та конструктивних особливостей обладнання. Стосовно технологічних роботів це наступні технічні показники: структурна функціональна схема робота, система координатних переміщень, робочий простір та робоча зона, зона обслуговування та ін. [1].

Автоматизація процесів розроблення РТК є проблемою на часі, оскільки дозволяє не тільки економити час проектування, але й підвищувати зручність візуального уявлення про розроблений РТК та забезпечення необхідних вимог ергономічності та безпеки праці.
Сьогодні одним із світових лідерів зі створення систем автоматизованого проектування (САПР) у галузі машинобудівних технологій є компанія Autodesk, одним із програмних продуктів якої є програмний комплекс Inventor дозволяє використовувати креслення виробів для створення повноцінних робочих 3-D-моделей для демонстрації їхніх експлуатаційних характеристик. На відміну від САПР AutoCAD Inventor призначений для здійснення імітації руху створених об’єктів. З цієї причини Inventor є зручним комп’ютерним інструментом при проектуванні роботизованих машин та комплексів [2].

Особливістю роботи маніпулятора промислового робота, є зміна у часі його положення, що ускладнює передбачення робочих зон під час роботи РТК. Частіш за все, роботу маніпулятора у складі технологічного комплексу представляють у вигляді креслень, огляд яких ускладнює уявлення про наявність небезпечних зон простору робочої ділянки.

Використання Autodesk Inventor надає можливість визначити на стадії проектування РТК мінімальну безпечну дальність роботи робота, визначити раціональне розташування технологічного обладнання у складі РТК [3]. Для машин із великою кількістю динамічних рухів можливим є використання демонстрації повних траєкторій. Це надає можливість уникання зіткнень та проблем безпеки при роботі РТК.

Список посилань

1. Пелевін Л.Є. Синтез робототехнічних систем в машинобудуванні : Підручник Л. Є. Пелевін, К. І. Почка, О. М. Гаркавенко, Д. О. Міщук, І. В. Русан. – К. : ТОВ «НВП «Інтерсервіс»», 2016. – 258 с.

2. You asked: What is the difference between Inventor and AutoCAD? [Електроний ресурс]. – Режим доступу : https://mgtuts.com/housing-planning/you-asked-what-is-the-difference-between-inventor-and-autocad.html.

3. Showing Machine Envelopes During your Factory Design Process [Електроний ресурс]. – Режим доступу : https://knowledge.autodesk.com/support/inventor/learn-explore/caas/simplecontent/content/showing-machine-envelopes-during-your-factory-design-process.html.

УДК 539.213:621.778.011

Шепеленко І.В., докт. техн. наук, доцент
Гуцул В.І., канд. техн. наук, доцент
Магопець М.С., студент
Центральноукраїнський національний технічний університет, kntucpfzk@gmail.com

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ АНТИФРИКЦІЙНИХ ПОКРИТТІВ

Розвиток сучасного машинобудування нерозривно пов'язано зі створенням захисних покриттів, які за своїм призначенням поділяються на такі категорії: зносостійкі, корозійностійкі, антифрикційні, жаростійкі, теплозахисні, ущільнювальні та ін. [1]. Особливе місце серед покриттів займають антифрикційні, нанесені на поверхню тертя з метою забезпечення сприятливих антифрикційних властивостей.

Великий вибір матеріалів, що використовуються для створення антифрикційних покриттів, дозволяють забезпечувати задані властивості поверхні або комплекс властивостей для будь-яких деталей сучасного машинобудування [2]. Причому вибір матеріалу визначається способом та технологією формування покриття, його призначенням та областю використання та ін. На наш погляд, доцільним виглядає вибір матеріалів покриття з позиції оцінки їх напружено-деформованого стану (НДС).

В роботі [3] розглянуто поверхню чавунної гільзи з тонким покриттям, на яку діють нормальні q та дотичні τ контактні напруження (рис. 1).

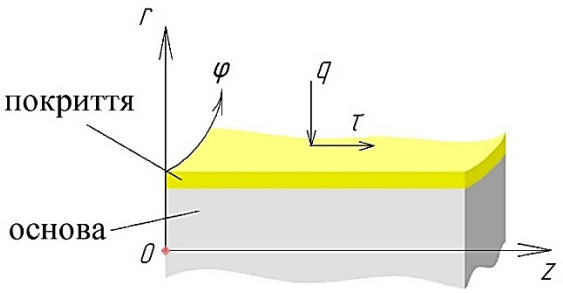


Рис. 1 – Розрахункова схема покриття

У системі координат $r0z\varphi$ (рис. 1) представлено: r – радіальна координата; z – осьова координата; φ – окружна координата.

Отримано система рівнянь дозволила визначити напруження в покритті за умови, що напруження на поверхні основи відомі [3]:

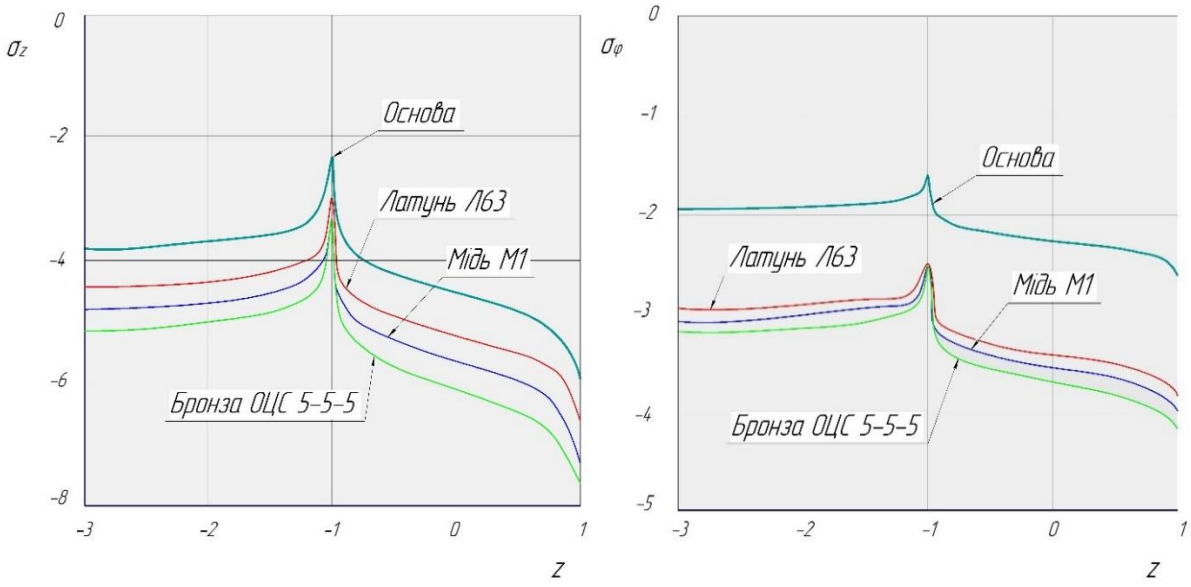
$$\sigma_{zn} = -\frac{\mu_n}{1-\mu_n} q + \frac{1}{1-\mu_n^2}\frac{E_n}{E_г}\left[\left(\mu_n - \mu_г\right)\sigma_{\varphi г} + \left(1-\mu_n\mu_г\right)\sigma_{zг} + \mu_г\left(1+\mu_n\right)q\right]; \quad (1)$$

$$\sigma_{\varphi n} = -\frac{\mu_n}{1-\mu_n} q + \frac{1}{1-\mu_n^2}\frac{E_n}{E_г}\left[\left(\mu_n - \mu_г\right)\sigma_{zг} + \left(1-\mu_n\mu_г\right)\sigma_{\varphi г} + \mu_г\left(1+\mu_n\right)q\right], \quad (2)$$

де μ_n, $\mu_г$ – коефіцієнт Пуассона покриття та основи;
E_n, $E_г$ – модуль пружності покриття та основи;
$\sigma_{\varphi г}$, $\sigma_{zг}$ – окружні та осьові напруження основи.

Рішення (1), (2) використано автором [3] для розрахунку НДС латунного покриття на чавунній поверхні. Такий підхід можна використати для визначення напруження для інших антифрикційних матеріалів.

Розглянемо характер напружень, що виникають при фрикційному методі нанесення покриттів із пластичних матеріалів – фінішної антифрикційної безабразивної обробки. В якості матеріалу покриття обрано: латунь Л63, мідь М1, бронза ОЦС 5-5-5. Графічна інтерпретація розподілу напружень представлена на рис. 2.



а) б)

Рис. 2 – Епюри осьових σ_z (а) і окружних σ_φ (б) напружень для основи і покриття

Отримані дані дозволяють стверджувати про створення в зоні тертя між антифрикційним покриттям та чавунної основи сприятливих напружень стискання. Отже, відомо [4], що при від'ємних значеннях σ вірогідність руйнування або накоплення мікродефектів мала. Як можна побачити (рис.2) антифрикційні покриття на основі латуні Л63, міді М1 і бронзи ОЦС 5-5-5 мають саме такі напруження. З точки зору створення більших напружень стискання деяку перевагу мають покриття на основі бронзи.

Список посилань

1. Черновол М.И. Способы формирования антифрикционных покрытий на металлические поверхности трения/ М.И. Черновол, И.В. Шепеленко// Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету», Кіровоград, – 2012. – Вип.25 (1). – С.3–8.

2. Чернец М.В. Трибомеханика, триботехника, триботехнологии/ / М.В. Чернец, Л.П. Клименко, М.И. Пашечко. – Т.1. Механика трибоконтактного взаимодействия при скольжении. – Николаев: Изд-во НГТУ им. Петра Могилы, 2006. – 476 с.

3. Шепеленко І.В. Наукові основи технології нанесення антифрикційних покриттів з використанням пластичного деформування: Автореф. дис....д-ра техн. наук: 05.02.08 / НТУУ „КПІ ім. І. Сікорського". – К., 2021. – 43 с.

4. Посвятенко Е.К. Інженерія деталей, оброблених протягуванням: монографія/ Е.К. Посвятенко, Я.Б. Немировський, С.Е. Шейкін, І.В. Шепеленко, О.В. Чернявський. Кропивницький: Видавець Лисенко В.Ф., 2021. – 466 с.

УДК: 669.1.017:621.78

Кушнірчук А.С., аспірант
Хмельницький національний університет, kyshnir98@gmail.com

АДИТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЛИВАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Лиття - один з основних способів виробництва заготовок в машинобудуванні, який дозволяє одержати відливок практично будь-якої форми і маси з необхідними фізико-механічними властивостями. Лиття часто не тільки простіший, але й економічніший за інші спосіб виробництва (литі деталі складають близько 50 % маси машини, а частина витрат на них 15 — 25 %).

З метою скорочення витрат на підготовку та виготовлення ливарних моделей в цеху ТОВ «ЄВРОПА-ЕКСПОРТ ПЛЮС» м. Хмельницький, запропоновано використати технології

адитивного виробництва. Необхідно виготовити комплект ливарних моделей для отримання заготовки деталі «Рамка», методом лиття в землю. Для створення 3D моделі використано програмний продукт SOLIDWORKS, модель створена з урахуванням усадки під час лиття, припусків на механічну обробку, а також враховано усадку пластикової моделі після друку



а) б) в)

Рис. 1 –Випробування а) майстер-модель б) відливок в) готова деталь

Матеріалом для моделі обрано пластик CoPET, це зносостійкий поліетилентерефталат модифікований гліколем для поліпшення температурних і фізико-механічних властивостей. Перевагами CoPET при 3D друку є: низька усадка як у PLA, але на відміну від PLA більш гнучкий і ударостійкий, більш термостійкий, більш тривалий термін життя. Жорсткість майже як у ABS, але на відміну від ABS менша усадка, більш висока спеченість шарів.

Використання технології адитивного виробництва для створення майстер-моделі, показало свою ефективність, вдалось значно скоротити час на підготовку лиття заготовок малих партій. Матеріал CoPET виявився достатньо зносостійким для багаторазового використання моделі, шорсткість поверхні моделі забезпечила безперешкодне виймання з формувальної суміші.

Список посилань

1. Ahn D, Kim H, Lee S (2007) Fabrication direction optimization to minimize post-machining in layered manufacturing. Int. J. Machine Tools Manuf 47:593–606;

2. Дослідження якості поверхні при виготовленні моделей на 3D-принтері / Е. Я. Чонка, О. Г. Новаковський, В. В. Сєров // Процеси механічної обробки,верстати та інструмент: збірник наукових праць X Всеукраїнської науково-технічної конференції – Житомир: Державний університет «Житомирська політехніка», 2019. – С. 201-202.

УДК 621.923

Денисюк В.Ю., канд. техн. наук, доцент
Луцький національний технічний університет, v.denysiuk@lntu.edu.ua

МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ ТОРЦІВ КІЛЕЦЬ РОЛИКОПІДШИПНИКІВ ЗАСОБАМИ АКТИВНОГО КОНТРОЛЮ

Сучасні тенденції у створенні засобів активного контролю полягають у автоматичному управлінні верстатами, що передбачають автоматичне управління за допомогою команд, які формуються цими засобами. Останнім часом широке поширення у засобах активного контролю отримав електронний принцип вимірювання [1]. Це забезпечує високу швидкодію, можливість перетворення сигналу в необхідну та зручну форму, добре розвинута елементна база для створення приладів, а також наявність стандартизованих вторинних засобів проміжних перетворень та отримання відліку, сигналів та команд у необхідній формі.

Торцеві поверхні роликопідшипників є базовими на подальших операціях механічного оброблення доріжок кочення та в значній мірі визначають клас точності роликопідшипника й ряд його експлуатаційних властивостей [2]. Тому забезпечення точності та якості обробки торцевих поверхонь кілець роликопідшипників при шліфуванні є одним з найважливіших і важких завдань при їх виготовленні. Завдання підвищення точності даних деталей необхідно вирішувати комплексно, тобто забезпечувати високу точність не тільки при чистовому, але і при чорновому шліфуванні відразу обох торців кілець роликопідшипників.

Основною умовою забезпечення точності при шліфуванні є сталість припуску на чистову операцію і рівномірне знімання металу з обох торців кілець. Процес обробки кілець на торцешліфувальних верстатах вимагає високого забезпечення підтримки ріжучої поверхні базового (нижнього або лівого) круга в площині, по якій деталі надходять в зону шліфування і базової площини при виході із зони обробки. Зміщення ріжучих поверхонь кругів вгору або вниз від базової площини призводить до появи невиправного браку. Підтримка ріжучих поверхонь кругів у базових площинах столиків верстата перед входом у зону обробки і при виході з неї вимагає від вимірювальних систем високої надійності видачі підналагоджувальних імпульсів для управління процесом шліфування, компенсуючого зносу кругів і вимірювання висоти кілець із заданою точністю.

Основною задачею є підналагодження положення кругів в процесі оброблення деталей для здійснення розмірних зворотних зв'язків на шліфувальних верстатах. Метою підналагодження є компенсація зносу ріжучих поверхонь шліфувальних кругів.

Відомо, що зношення шліфувальних кругів веде до збільшення розмірів деталей, то підналагодження найчастіше ведеться в одну сторону. Величина підналагоджувального імпульсу повинна бути пропорційна величині, викликаної швидкістю зносу кругів. Вимірювальна система встановлює граничну межу розміру деталі, і при виході контрольованого параметра за цю межу видається команда виконавчому механізму на переміщення круга на величину імпульсу пропорційного зміні розміру.

Залежно від методу формування імпульсу на підналагодження розрізняють наступні види підналагоджень: а) підналагодження за поточним значенням розміру; б) підналагодження за середнім значенням вибірки; в) підналагодження за медіаною; г) підналагодження за результатами декількох вимірювань поспіль.

У всіх вищенаведених системах імпульс на підналагодження виробляється при появі однієї або декількох підряд активних деталей, тобто деталей, розмір яких виходить за налагоджувальну межу. Похибка обробки деталей визначається залежністю:

$$\delta = A + 6\sigma + B + E\,, \tag{1}$$

де A – величина підналагоджувального імпульсу;

σ – гранична величина розсіювання розміру;

B – інтервал, у межах якого ймовірність підналагодження змінюється в межах від 0 до 1;

E – випадкова похибка самого вимірювального приладу.

Параметр B визначається зі співвідношення:

$$B = 6U^{0,75} \cdot U^{0,25}, \tag{2}$$

де U – величина зношення шліфувального круга, яка припадає на одну деталь.

З виразу (2) випливає, що для зменшення похибки під налагодження слід зменшувати величину підналагоджувального імпульсу A. За дискретною схемою вимірювання величина підналаджувального імпульсу повинна бути не менше, ніж величина (U_{max}). В іншому випадку система не зможе компенсувати функціональні похибки обробки, які змінюються у часі. У разі рівномірного зносу круга ідеальним підналагодженням є таке, при якому після обробки кожної деталі виконавчий орган верстата переміщається на величину $A = U$. При цьому повністю компенсуються функціональні похибки. Однак такий процес неможливий,

тому що значення параметра U змінюється.

Тому, розробляючи вимірювальні системи, необхідно, щоб підналагоджувальні імпульси малої величини вироблялися безперервно, протягом усього часу поки розмір деталей лежить в межах допуску. Сигнал на припинення підналагодження повинен надходити в систему тоді, коли розмір деталі вийде за нижню налагоджувальну межу. В цьому випадку підналагодження повинно припинятися, а функціональна зміна положення ріжучої кромки шліфувального круга призводить до поступового збільшення розміру деталей. Як тільки розміри деталей стануть більше, ніж нижня налагоджувальна межа, підналагодження включається знову.

Через зношення круга його різальна кромка опускається вниз, і відповідно збільшується розмір кілець. Приймемо, що круги зношуються рівномірно, тоді

$$U_1 = k_1 \cdot t; \qquad U_2 = k_2 \cdot t, \tag{3}$$

де U_1 – зношення розмірного круга;

U_2 – зношення базового круга;

k_1 і k_2 – швидкості зношення розмірного і базового кругів.

Процес зміни положення базового круга залежить від: A_1 – величини імпульсу підналагодження розмірного круга; A_2 – величини імпульсу підналагодження базового круга; n_1 – числа імпульсів підналагодження розмірного круга за цикл ($n_1 + n_2$) імпульсів; n_2 – числа імпульсів підналагодження базового круга за цикл ($n_1 + n_2$) імпульсів; t_i – час одного імпульсу.

Розглянуті чинники та похибки, що впливають на точність формування торцевих поверхонь кілець підшипників дозволили визначити величину підналагоджувального імпульсу для компенсації зношення шліфувальних кругів. Розроблена система управління процесом шліфування підвищила точність вимірювання висоти кілець підшипників і дозволила з високою точністю управляти технологічним процесом при торцешліфуванні, компенсуючи при цьому похибки, що виникають внаслідок нерівномірного зношення різальних поверхонь шліфувальних кругів.

Список посилань

1. Денисюк В. Ю. Метрологічне забезпечення точності приладів активного контролю в процесі обробки. / Денисюк В. Ю., Симонюк В. П., Лапченко Ю. С., Новосад Б. І. // «Перспективні технології та прилади»: зб. статей. – 2020. – Вип. 16. – С. 38-47.

2. Денисюк В.Ю. Технологічне забезпечення точності деталей підшипників засобами активного контролю. / Денисюк В.Ю., Симонюк В.П., Лапченко Ю.С. //«Прогресивні напрямки розвитку технологічних комплексів»: зб. наук. праць VI Міжнар. наук.-техн. конф. м. Луцьк, 2-4 черв.2020 р. – Луцьк, 2020. – С. 148-149.

УДК 621.798

Залета О.М., канд. техн. наук, доцент
Луцький національний технічний університет, olga_zaleta@ukr.net

ПРОБЛЕМИ УЗГОДЖЕННЯ РОБОТИ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОДУЛІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАШИН

В умовах сформованих економічних відносин справедливо висуваються вимоги виробників продукції до максимальної ефективності використання відповідного технологічному процесу технологічного обладнання. До такого обладнання відносяться агрегатно-модульні технологічні машини (ТМ), а також потокові та автоматичні лінії, скомпоновані з них. В основу агрегатно-модульного принципу покладено можливість на основі стандартних, нормалізованих чи уніфікованих вузлів – функціональних модулів

(ФМ) – компонувати технологічне обладнання будь-якого рівня спеціалізації та автоматизації [1, 2].

Між ФМ при цьому існують зв'язки, які поділяють на матеріальні, енергетичні, інформаційні, організаційні. Зі зв'язки повинні забезпечувати злагоджене функціонування технологічної машини для отримання виробів належної якості, а також безпечність експлуатації цієї машини людиною [3, 4].

Наявність зокрема інформаційних зв'язків між ФМ викликає необхідність узгодження результатів їх автономного функціонування.

Для того, щоб процес узгодження був керованим, доцільно використовувати організаційні зв'язки між елементами керування, котрі виконують взаємопов'язані операції і які входять до складу відповідних ФМ. Ці зв'язки в процесі проєктування визначають "канали" організаційного (адміністративного) керування процесом узгодження результатів автономного функціонування ФМ, причини розузгодженості яких визначаються інформаційними зв'язками.

Організаційні структури, в тому числі й технологічні машини, як правило, є деревовидними і взаємодія їх елементів – ФМ – може відбуватися або строго по структурних зв'язках (по підпорядкованості), або по горизонталі, але тільки між елементами, які мають спільну найближчу вершину. Це забезпечує отримання остаточного вирішення проблем узгодженості [5].

Інформаційні та організаційні зв'язки зазвичай не співпадають. Залежно від співвідношення між цими двома видами зв'язку організаційні зв'язки між ФМ можна розділити на дві групи. До першої з них відносяться зв'язки, які співпадають з організаційними зв'язками (т.з. прості зв'язки), а також між ФМ, у яких співпадають найближчі вершини в організаційній структурі. Проблеми узгодження, спричинені наявністю такого роду інформаційних зв'язків, в межах заданої оргструктури допускають їх безпосереднє вирішення.

Всі інші зв'язки відносяться до другої групи інформаційних зв'язків – комплексних. Особливістю узгодженості результатів роботи ФМ, які знаходяться в комплексній взаємодії, є різнопідпорядкованість. Ця обставина не дозволяє розраховувати на регулярне отримання остаточних результатів вирішення відповідних проблем узгодженості і вимагає зведення комплексних інформаційних зв'язків до сукупності простих. Таке зведення завжди є можливим, в тому числі шляхом перетворення кожного комплексного зв'язку в горизонтальний, який поєднує модулі.

Принципово можливі і інші трансформації комплексних зв'язків в сукупності простих. Стосовно формування ФМ важливим є той факт, що в основу узгодження результатів автономного функціонування ФМ завжди можуть бути покладені задачі, породжені простими інформаційними зв'язками. Ці зв'язки можуть бути двох видів – вертикальні і горизонтальні [6].

Специфіка задач узгодження, які виникають через вертикальні зв'язки, полягають в тому, що:

– результати виконання операцій на вищих рівнях є директивною інформацією для ФМ, що виконують операції нижчих рівнів;

– інформація з нижніх рівнів деталізації носить загальний характер і, як правило, є прогнозною.

Основним змістом такого роду задач – задач вертикальної узгодженості, є ітераційне визначення прогнозованих рішень таким чином, щоб вони відповідали раціональним рішенням операцій наступних рівнів деталізації.

Специфіка задач горизонтальної узгодженості, які виникають через горизонтальні зв'язки, полягають в тому, що:

– пріоритети між завданнями виконання різних ФМ відсутні;

– інформація, що передається від одного ФМ до іншого в процесі узгодження, безпосередньо описує розглядувані при функціонування цих модулів проєктні рішення.

Основний зміст задач горизонтальної узгодженості полягає в пошуках компромісу між результатами функціонування «рівноправних» ФМ з можливістю підключення до цих робіт вищого в організаційній структурі ФМ у випадку неможливості досягнення компромісу [7].

Наведений опис процесу проєктування, що визначає цей процес як автономне виконання роботи інформаційно і організаційно пов'язаних між собою ФМ з наступним узгодженням отриманих при цьому результатів, дозволяє перейти до безпосереднього формування послідовності процесу автоматизованого проєктування технологічниї машини на основі її функціонально-модульної будови [8].

Список посилань

1. Агрегатно-модульне технологічне обладнання: у 3-х част. Частина 1. Принципи побудови агрегатно-модульного технологічного обладнання. Під ред. Ю.М. Кузнєцова. Навч. посібник для ВНЗ.– Кіровоград, 2003. – 422 с.

2. Дащенко А.И. Технологические основы агрегатирования сборочного оборудования / А.И. Дащенко, И.И. Ламин, Ю.М. Золотаревский. – М: Машиностроение, 1990.

3. ДСТУ EN 292-1-2001 "Безпечність машин. Основні поняття, загальні принципи проектування. Частина 1. Основна термінологія, методологія (EN 291-1:1991, IDT)".

4. ДСТУ EN 292-1-2001 "Безпечність машин. Основні поняття, загальні принципи проектування. Частина 2. Технічні принципи та технічні умови (EN 291-1:1991, IDT)".

5. Божко А.Н. Структурный синтез на элементах с ограниченной сочетаемостью / А.Н. Божко, А.Ч. Толпаров // Инженерное образование. – 2004. – № 5. – С. 18−26.

6. Томашевський В.М. Моделювання систем / В.М. Томашевський. – К.: Видавнича група BHV, 2007. – 352 с.

7. Сергиенко И.В. Задачи дискретной оптимизации. Проблемы, методы решения, исследования: монография / И.В. Сергиенко, В.П. Шило. – К: Наук. думка, 2003.

8. Романенко В.Д. Методи автоматизації прогресивних технологій: Підручник / В.Д. Романенко. – К.: Вища школа, 1995. – 519 с.

УДК 620.136.3

Заїка О.М., аспірант
РудьВ.Д., докт. техн. наук, професор
СамчукЛ.М., канд. техн. наук, доцент
Луцький національний технічний університет, samchuk204@gmail.com

ВИГОТОВЛЕННЯ ПОЛІМЕРНИХ ДЕТАЛЕЙ 3Д ДРУКОМ

Підприємство Krombergand Shubert спеціалізується на виготовленні систем електрозабезпечення автомобілів різних моделей. При виготовленні електропроводки в якості допоміжних пристроїв використовують тримачі різних конструктивних елементів.На сьогоднішній день заміна тримачів здійснювалася шляхом замовлення на підприємствах, що спеціалізуються на виготовленні запасних частин для різних підприємств електротехнічної галузі, використовуючи металеві матеріали. Недоліком такої технологічної схеми для Krombergand Shubert є: висока вартість тримачів і значні часові затримки – від замовлення до отримання запчастин проходить 2-3 місяці.

Враховуючи вище наведене було прийнято рішення виготовляти тримачі з полімерних матеріалів використовуючи 3D друк [1, 2]. Для виготовлення прототипу даного тримача використовували матеріал XT. Конструкцію тримача модернізовано в програмі Autodesk Inventor, також використовувалися симуляції із прорахунку найбільш вразливих зон в конструкції. Маючи також детальну дефектоскопію із 179 зламаних тримачів, визначено в яких зонах утворюються тріщини в конструкції. З цих причин, додано ребра жорсткості по

плоским частинам конструкції, для збільшення жорсткості конструкції на злам. Додано 4 вертикальних і 2 горизонтальних ребра жорсткості. Встановлено та погоджено збільшити температуру столу із 75 на 80 градусів для кращої адгезії із основою деталі [3] для друку даного тестового тримача.

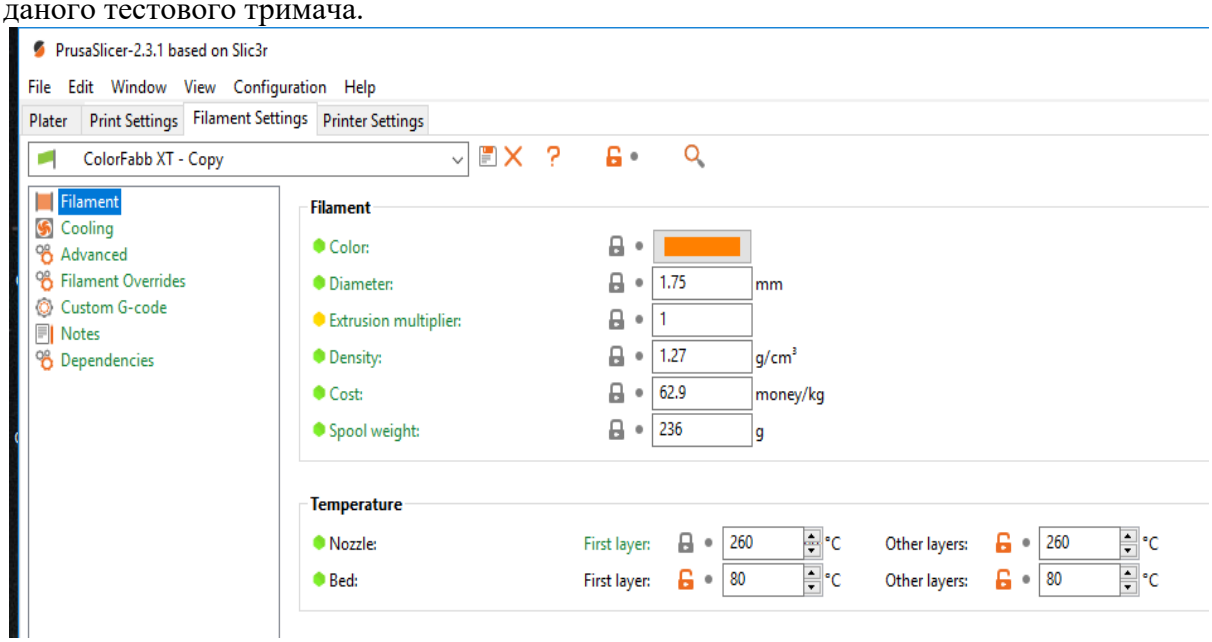


Рис. 1 – Вікно програми AutodeskInventor

Використання пластикових тримачів на підприємстві це перспективне рішення, яке економить кошти та дозволяє зменшити часові витрати на заміну пошкоджених деталей, контролювати випуск даних тримачів не чекаючи замовлень від фірм постачальників. Головне це контролювати стік пластикового прутка для друку, щоб уникнути затримок з постачанням та якістю [4].

Маючи проблеми із пластиковим тримачем, його завжди можна модернізувати і роздрукувати нові тестові зразки. Дані затрати на заміни деталей є в 2-3 рази меншими порівнюючи із металевими тримачами, для обробки яких необхідно безліч різнотипних станків, або замовляти данні деталі по цінам набагато більшим ніж пластиковими тримачами.



Рис. 2 –Пластиковий тримач

Список посилань

1. Адитивні технології: перспективи і проблеми 3D-друку (II частина) / Андрощук Г. О. // Рецензований журнал «Наука, технології, іновації» №2 2017 рік – С.29-36

2. 3D-принтеры с разной кинематикой: сравнение, плюсы и минусы // [Електронний ресурс] – режим доступу: https://top3dshop.ru/blog/types-of-fdm-3dprinter.html

3. Яригін В.А. Особливості отримання прототипів за допомогою 3d друку / В.А Яригін., С.П Вислоух. // Збірник наукових праць XIII Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 13-14 травня 2020 р. м. Київ, – К: К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. Центр учбової літератури. – 2020. – С. 139 – 142.

4. Яригін В.А. Дослідження параметрів якості деталей, отриманих шляхом 3d друку / В.А Яригін., С.П Вислоух // Збірник тез всеукраїнської науково-практичної on-line конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених, присвяченої Дню науки, 11-15 травня 2020 року м. Житомир, – К.: Державний університет «Житомирська політехніка» – С. 125 – 126.

УДК 621.9

Приходько О.В., ст. викладач
Малигін М.О., аспірант
Корсун В.А., асистент
Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, olegvictorovi4@ukr.net

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ЛИТОГО БАЗОВОГО ВУЗЛА СТАНИН ВАЖКИХ ВЕРСТАТІВ

Нестандартне конструкторське виконання базового вузла зварнолитої станини верстатного обладнання потребує коректного інженерного опрацювання технології виготовлення виливка. Запропоновано виготовлення базових вузлів конструкції станини металообробного верстата гравітаційним литтям в разові піщані форми.

При розробці технологічного процесу виготовлення литої заготовки базового вузла станини (рис. 1), виготовленої з вуглецевої ливарної сталі 25Л [1], було обрано конструкцію та розміри виробу, показаного на рис. 1.

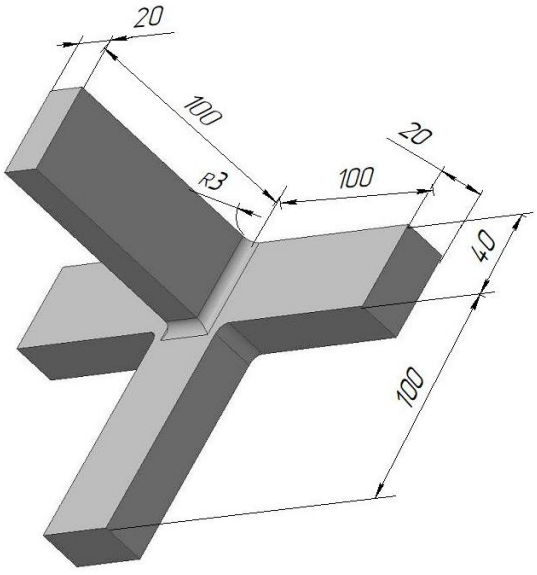


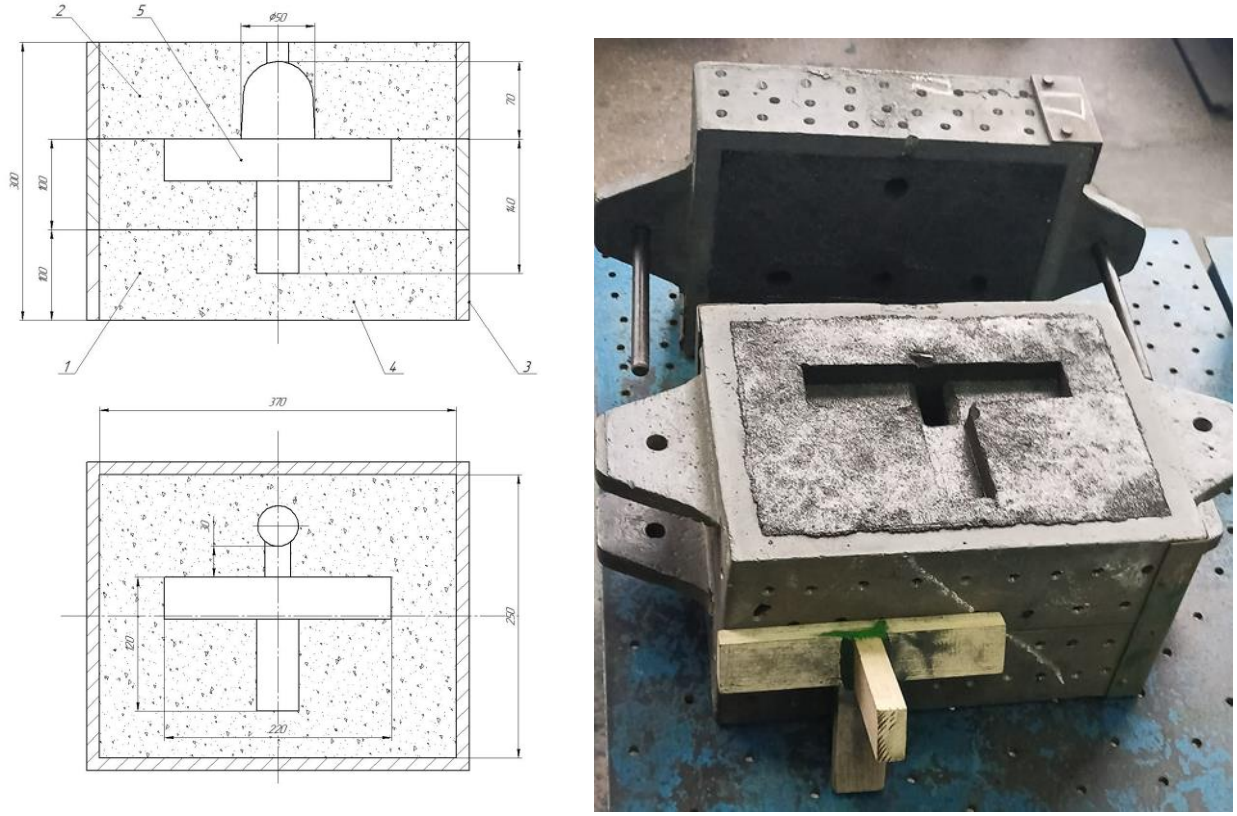
Рис. 1 – Базовий вузол конструкції станини металообробного верстата (виливок «Тавровий кут»)

Було виконано повне відтворення проектованої технології виготовлення литого виробу із застосуванням, сучасних CAD-CAE – систем. Ці системи можуть бути використані для створення 3D-моделей та моделювання процесів заливання та кристалізації рідкого металу [2, 3, 4].

Результати моделювання кристалізації та усадки сплаву у формі при затвердінні показали доцільність обраного розташування виливка у формі і конструкції ливниково-живильної системи, оскільки дозволяють отримати виливок без дефектів усадкового походження.

З метою перевірки результатів моделювання було виготовлено експериментальний екземпляр виробу. Ливарну форму (рис. 2) для дослідної виливки виготовляли по дерев'яній моделі формуванням по - сирому із застосуванням піщано-глинистої формувальної суміші.

Виплавку вихідної сталі проводили методом переплаву в індукційній печі високої частоти з ємністю тигля 16 кг, футерованій кварцитом. В якості основних шихтових матеріалів для плавки використовувати сталевий брухт (відходи сталі 25), вуглецевий бій і феросплави.



а) б)

1 – напівформа низу, 2 – напівформа верху, 3 – опока, 4 – формувальна суміш, 5 – порожнина ливарної форми

Рис. 2 – Схема (а) виготовлення виливки та ливарна форма з моделлю (б)

Після заливання форма охолоджувалася і при температурі 600 ... 700 ^{0}С виконувалось вибивання виливка. Після повного охолодження від отриманої заготівлі механічною різкою відокремлювалися елементи ливниково-живильної системи, поверхня виливка була очищена від залишків формувальної суміші та механічного пригару.

Після візуального контролю зовнішніх дефектів усадкового характеру виявлено було. Зважування отриманої заготівлі показало відсутність внутрішніх усадкових порожнин, що відповідає результатам моделювання.

Список посилань

1. Федоров Г. Е., Ямшинский М. М., Платонов Е. А., Лютый Р. В. Стальное литье. Монография. 2013. *НТУУ «КПИ»*. 896с. ISBN 976-966-646-130-5.

2. Большаков В. П. Твердотельное моделирование деталей в CAD-системах: AutoCAD, КОМПАС-3D,SolidWorks, Inventor, Creo. / В. П. Большаков, А. Л Бочков., Ю. Т. Лячек. – СПб.: Питер, 2014. – 304 с. ISBN: 978-5-496-01179-2

3. Новые функции в LVM FlowCV 4.6 [Електроний ресурс]. – Режим доступу: \www/ URL:http://wp_lvm.mkmsoft.ru/

4. Приходько О. В., Линник И. Е., Абдулов А. Р. Разработка литейной технологии: от рабочего чертежа к моделированию процессов в форме / О. В. Приходько, И. Е. Линник, А. Р. Абдулов // Восточноевропейский журнал передовых технологий. — 2013. — № 6/1(66). — С. 44–47.

УДК 621.9.08:62.187.4

Динник О.Д., канд. техн. наук
Приходько О.М., викладач
Грищенко Б.А., студент
Відокремлений структурний підрозділ «Класичний фаховий коледж» Сумського державного університету, odkonotop39@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АБРАЗИВНОГО ІНСТРУМЕНТУ НА ЯКІСТЬ ОБРОБЛЕНОЇ ПОВЕРХНІ

Гільза блоку циліндрів є найбільш відповідальною деталлю циліндропоршньової групи (ЦПГ) двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ). Гільза займає особливе місце серед навантажених деталей двигуна, як по виконуваним функціям, так і по вимогам щодо точності та якості робочої поверхні [1].

Забезпечення як необхідних механічних властивостей, так і форми та взаємного розташування поверхонь гільзи є однією з основних умов довговічності роботи ЦПГ. Величини відхилення форми і взаємного розташування поверхонь впливають на характер сполучення деталей, рівномірність натягів, зазорів і, отже, зношування-стійкість ЦПГ.

Серед сучасних способів фінішної обробки гільз циліндрів ДВЗ одне з провідних місць займає хонінгування, яке є однією з остаточних операцій технологічного процесу обробки та забезпечує якість поверхні готової деталі, а також значній мірі впливає на довговічність деталей двигуна, які працюють в умовах високотемпературного тертя [2].

Створення конкурентоспроможної продукції вимагає вдосконалення існуючих та створення нових, більш прогресивних і ефективних способів фінішної обробки робочих поверхонь гільз циліндрів ДВЗ. Підвищення точності та якості робочих поверхонь гільз циліндрів шляхом удосконалення процесу хонінгування є важливим науково-практичним завданням, вирішення якого дозволить підвищити стійкість абразивного інструменту, а отже, продуктивність обробки та якість і надійність відповідальних деталей ДВЗ.

Тому підвищення якості обробленої поверхні гільз циліндрів ДВЗ і зниження ступеню зношування абразивного інструменту шляхом створення нового способу хонінгування з безперервно зростаючою швидкістю різання протягом часу процесу обробки є головною метою сучасних машинобудівних підприємств [3].

Метою дослідження було підвищення якості обробленої поверхні гільз циліндрів ДВЗ і зниження ступеню зношування абразивного інструменту шляхом застосування способу хонінгування з безперервно зростаючою швидкістю різання протягом часу процесу обробки.

В ході дослідження застосовувався спосіб хонінгування з безперервно зростаючою швидкістю різання. Особливістю цього способу є те, який полягає в тому, що за умови постійної швидкості зворотно-поступального руху хонінгувальної головки швидкість обертання інструменту безперервно збільшується протягом часу циклу обробки в заданих межах. Всі інші режими протягом циклу обробки залишаються незмінними.

Підвищення функціональності робочих поверхонь відповідальних деталей ДВЗ можна досягти тільки шляхом підвищення якості обробленої поверхні. Необхідний рівень прецезійності досягається завдяки високій точності розмірів, форми і розташування поверхонь, високим відсотком виходу графіту на оброблену поверхню. Для сучасного виробництва з високими стандартами якості неприпустимо, щоб розміри партій, коливання якості матеріалу та попередньої обробки, а також інші фактори, що впливають на процес обробки, впливали на його точність. Тому на фінішних операціях необхідно враховувати вплив параметрів обробки, перш за все, на показники шорсткості [4].

В ході дослідження було проаналізовано ступінь впливу основних характеристик абразивного інструменту (зокрема, твердості і зернистості) на якість обробленої поверхні під час хонінгування із зростаючою швидкістю різання та за допомогою регресійного аналізу побудовані адекватні математичні моделі впливу основних параметрів хонінгування зі зростаючою швидкістю різання на якість обробленої поверхні.

Графік залежності параметра шорсткості Ra від зернистості абразивних брусків наведений на рисунку 1

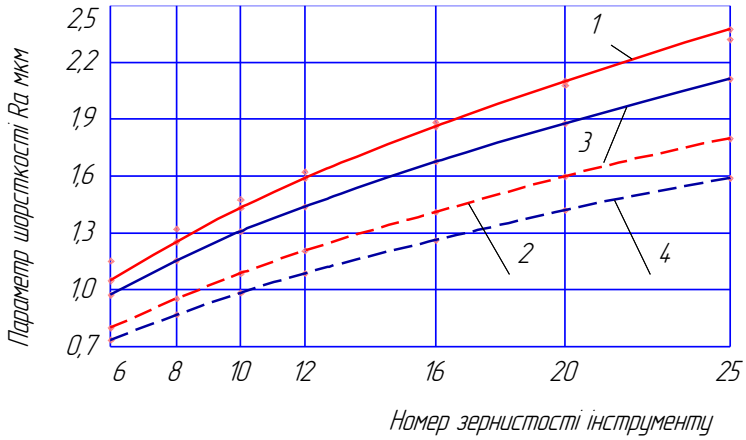


Рис. 1 – Залежність параметра шорсткості Ra від зернистості абразивних брусків під час хонінгування чавунів: 1 – спеціальний легований чавун, швидкість різання постійна ($V_{об}$ = const); 2 – спеціальний легований чавун, швидкість різання зростає; 3 – сірий чавун СЧ20, $V_{об}$ = const; 4 – сірий чавун СЧ20, швидкість різання зростає

В ході дослідження отриманих залежностей було виявлено та обґрунтовано вплив основних параметрів хонінгування на величину параметру шорсткості Ra обробленої поверхні. З графіків також видно падіння шорсткості поверхні деталі при обробці хонінгуванням зі зростаючою швидкістю різання.

З проведених досліджень можна зробити висновки, що зі збільшенням зернистості брусків значно збільшується шорсткість поверхні деталі. Твердість абразивних брусків негативно позначається на якості поверхні, тому на чистових операціях з метою отримання високої якості слід застосовувати інструмент з низькою зернистістю і твердістю. Зі збільшенням інтервалу зміни швидкості обертання хонінгувальної головки параметр шорсткості Ra падає, що дозволяє говорити про зменшення висоти мікронерівностей. Це обґрунтовано з точки зору фізики процесу.

Список посилань

1. Yousfi, M. // Tribological performances of elliptic and circular texture patterns produced by innovative honing process/ M. Yousfi, S. Mezghani, I. Demirci, M. El Mansori // Trobology International. – URL : www://elsevier.com/locate/triboint. –

2. Буюкли И.М. Повышение точности хонингования отверстий / И.М. Буюкли, В.М. Колесник // Праці Одеського політехнічного університету, Одеса, 2015. – Вип.1(45). – С. 34 – 43.

3. Gerhard FloresTobias AbelnUlrich Klink. Funktionsgerechte Endbearbeitung von Zylinderbohrungen aus Gusseisen //MTZ - Motortechnische Zeitschrift – March 2007, Volume 68, Issue 3, pp 180–185.: URL

: https://docplayer.org/105958482-Funktionsgerechte-endbearbeitung-von-zylinderbohrungen-aus-gusseisen.html

4. Новиков Ф.В. Исследования шероховатости поверхности при алмазно-абразивной обработке методами теории вероятности / Ф.В. Новиков, В.Г. Шкурупий // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків : НТУ «ХПІ», 2004. – № 44. – С. 135-146.

УДК 621.794.61

Повстяной О.Ю., докт. техн. наук, професор
Імбірович Н.Ю., канд. техн. наук, доцент
Луцький національний технічний університет, povstjanoj@ukr.net

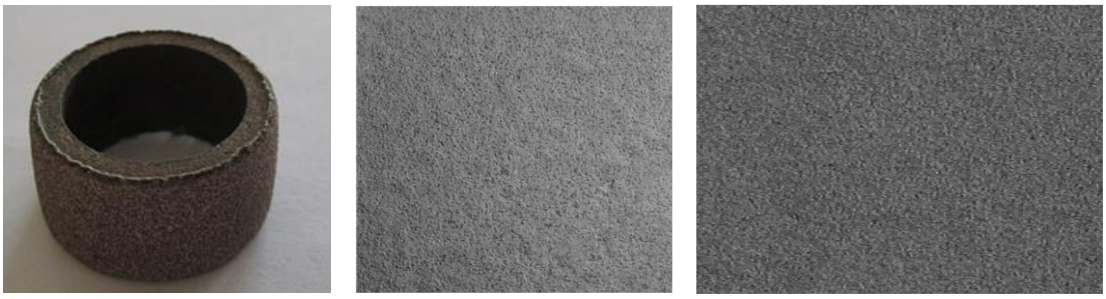
ДОСЛІДЖЕННЯ КОРОЗІЙНОЇ ТРИВКОСТІ ПОРИСТИХ ПРОНИКНИХ МАТЕРІАЛІВ ЗІ ЗАХИСНИМИ ПОКРИТТЯМИ

Відомо, що пористі проникливі матеріали (ППМ) під час фільтрування та очищення агресивних середовищ піддаються корозії, що призводить до виходу їх з ладу. Саме тому актуальним завданням є підвищити їх корозійну стійкість.

Тому дослідження корозійної стійкості ППМ з нанесеними на їх поверхню комбінованими захисними покриттями в розчинах кухонної солі та соляної кислоти є важливою та актуальною задачею сучасного матеріалознавства.

Для нанесення корозійностійкого захисного електрометалізаційного покриття на деталях конструкційного призначення широко використовують метод вакуумно-дугового напилення та плазмоелектролітного оксидування (ПЕО). Комбінація покриттів дає можливість підвищити твердість, зносо-, корозійну стійкість, пластичність, відпірність контактним, динамічним навантаженням та вібрації.

Метод ПЕО дозволяє створювати на деталях і елементах конструкцій зносо- і корозійностійкі оксидокерамічні діелектричні покриття товщиною до 200 мкм і твердістю до 20 ГПа.



а) б) в)

Рис.1 – Зразок ППМ з комбінованим покриттям (а), загальний вигляд оксидокерамічного покриву на ППМ після корозії в середовищах 10%NaCl (б), та 10%HCl (в)

За допомогою поляризаційних кривих, знятих в потенціодинамічному режимі було встановлено, що потенціали корозії в розчині кухонної солі посуваються в позитивну сторону за умови нанесення на поверхню ППМ комбінованого покриття, що свідчить про зниження корозійної активності поверхні. Струми корозії комбінованого захисного покриття для всіх досліджуваних систем понижуються на 3 порядки, а підвищення співвідношення густини струмів катодного до анодного понижує швидкість корозії покриву ще в п’ять разів.

Список посилань

1. Rud, V.D., Imbirovych, N.Y., Halchuk T.N., . Chetverzhuk T.I., Smal M.V., Dziubynskyi A.V. Optimization of the Properties of Multilayer Porous Permeable Materials. Mater Sci, 56, pp.530–535 (2021).

УДК 621.941

Четвержук Т.І., канд. техн. наук, доцент
Полінкевич Р.М., канд. тех. наук, доцент
Зубовецька Н.Т., канд. тех. наук, доцент
Редько Р.Г., канд. тех. наук, доцент
Луцький національний технічний університет, eti_tar@ukr.net

ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУЮВАННЯ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ СТАНИН МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ

В даний час при проектуванні станин металорізальних верстатів переважно використовуються розрахункові схеми, в яких реальні конструкції металорізальних верстатів представлені у вигляді найпростіших балкових і пластинчастих моделей, а також загальні емпіричні рекомендації, отримані на основі експериментальних досліджень існуючих конструкцій. Такий підхід не дозволяє точно обґрунтувати доцільність застосування тієї чи іншої конструкції окремих частин і значно ускладнює оцінку нових конструкцій станин, по яким відсутні експериментальні дані.

Основні типи перерізів горизонтальних станин наведено на рисунку 1. Перерізи, показані на рис. 1, а, застосовують при необхідності відведення великої кількості стружки, переважно у верстатах токарної групи. У верстатах традиційного компонування середніх розмірів зі станинами на ніжках найчастіше застосовують перерізи типу (рис. 1, а) для підвищення жорсткості конструкції стінки виконують подвійними (П-подібного перерізу). Перерізи, показані на рис. 1, б (із замкнутим контуром), застосовують у високопродуктивних верстатах, при цьому площина напрямних може бути орієнтована по-різному.

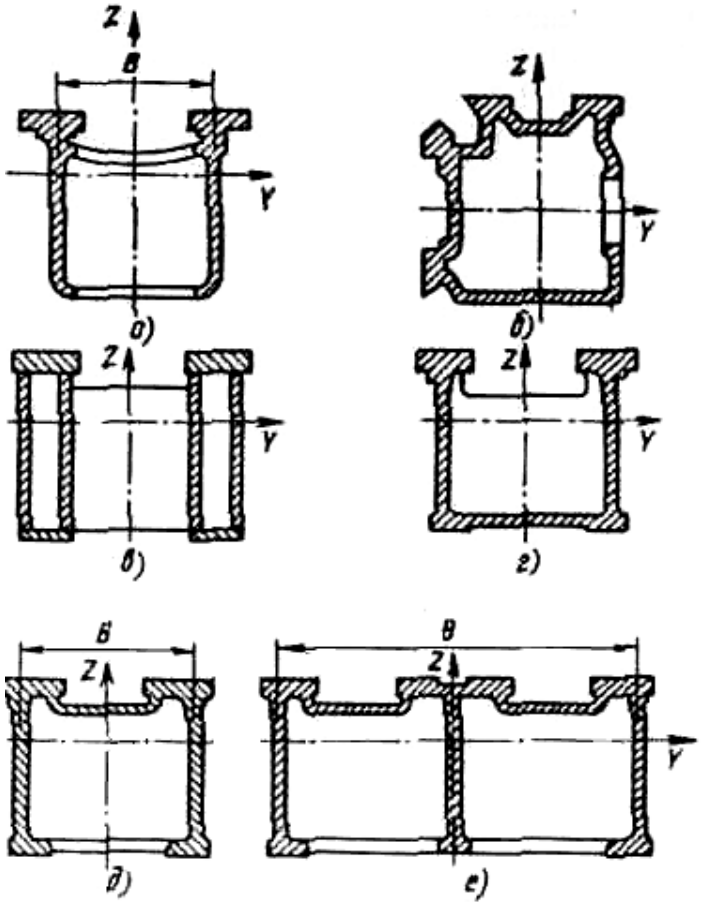


Рис. 1 – Основні типи перерізів горизонтальних станин

Перерізи, показані на рис. 1, широко застосовують у важких токарних верстатах. Перерізи, (рис. 1, г) застосовують при необхідності використання станини щодо збільшення площі для розміщення у верстаті додаткових механізмів і при неможливості попадання стружки між напрямними. Такі перерізи застосовують зазвичай у малонавантажених верстатах, наприклад шліфувальних.

Перерізи, показані на рис. 1, д застосовують за відсутності необхідності у відведенні стружки в невеликих безконсольно-фрезерних, поздовжньо-стругальних, поздовжньо-фрезерних, довбальних, розточувальних і т. п. верстатах.

Перерізи, показані на рис. 1, е застосовують у станинах важких верстатів (подовжньо-стругальних, поздовжньо-фрезерних, розточувальних і т.п.). При конструюванні станин їм має бути забезпечена необхідна жорсткість, насамперед при крученні. Крім того, повинні бути зведені до мінімуму зміни контуру та місцеві деформації.

Підвищення жорсткості станини при крученні досягається шляхом введення замкнутого контуру перерізу, а мінімальне спотворення контуру забезпечується шляхом використання суцільних стінок та введення достатньої кількості суцільних перегородок.

Для забезпечення високої жорсткості при крученні станин на ніжках ширина перерізу станини приймається максимально допустимою з конструктивних міркувань. Висоту перерізу станини у такому разі приймають приблизно рівну або в кілька більшу ширини

Кількість перегородок у станині рекомендується вибирати так, щоб відстань між ними була приблизно дорівнювала ширині станини, причому на довжині вузла, що передає навантаження на станину, при будь-якому його положенні має бути не менше двох перегородок. У литих станинах необхідно виконання вікон у перегородках або стінках для кріплення стрижнів.

Виходячи з експериментальних досліджень та розрахунків спрощених моделей окремих стінок, використовуються рекомендації, відповідно до яких найбільш оптимальною формою вікон є трикутна або кругла, так як при ній забезпечується більш висока жорсткість у порівнянні з прямокутними вікнами. У цих випадках більш висока жорсткість стінки забезпечується за рахунок створення розміщення вікон у стінці, що забезпечує умови її роботи, близькі до умов роботи конструкції типу ферми.

Горизонтальні станини, зазвичай, мають одну чи кілька систем напрямних. Конструктивна форма приєднання напрямних впливає на місцеві деформації станини і навіть на технологічність її виливки через нерівномірність розподілу товщин перерізів, що в своєю чергою, призводить до різної швидкості охолодження напрямних і стінок станини під час її лиття.

Як правило, горизонтальні станини опираються на фундамент (по окремих ланках або по всій довжині). Для встановлення використовуються спеціальні опорні елементи. До горизонтальних станин кріплять основні нерухомі вузли: коробки швидкостей, шпиндельні бабки, стійки тощо.

Для підвищення місцевої жорсткості зазначених з'єднань бічні стінки зазвичай підсилюють ребрами та перегородками, які слід розміщувати безпосередньо в площині осей гвинтів.

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. Бочков В.М. Розрахунок та конструювання металорізальних верстатів: Підручник. / В.М. Бочков, Р.І. Сілін, О.В. Гаврильченко. За ред. Р.І. Сіліна. – Львів: Видавництво «Бескид Бід», 2008. – 448с.

3. Мехатронні засоби підвищення енергоефективності верстатів / Д. Ю. Федориненко, В. М. Безручко, О. П. Космач, С. П. Сапон, В. М. Чуприна // Матеріали XXI Міжнародної науково-технічної конференції “Гідроаеромеханіка в інженерній практиці ” – Київ: НТУУ “КПІ”, 2016. – С. 100-103.

УДК 628.54.(075.8)

Чухно С.І., канд. техн. наук, доцент,
Чернишов О.В., ст. викладач
Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське, avch2006@ukr.net

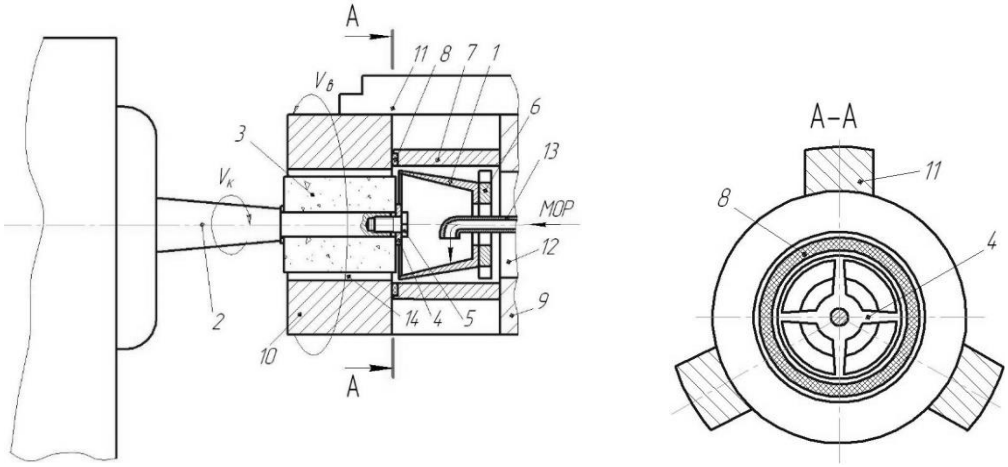
ПРИСТРІЙ ДЛЯ ОХОЛОДЖЕННЯ ВИРОБУ РОЗПИЛЕНОЮ МАСТИЛЬНО-ОХОЛОДЖУВАЛЬНОЮ РІДИНОЮ ПРИ ВНУТРІШНЬОМУ ШЛІФУВАННІ

В машинобудуванні при обробці металів шліфуванням із застосуванням мастильно-охолоджувальних рідин (МОР) постає питання в розробці пристроїв для подачі МОР в зону різання з метою інтенсифікації теплообміну між поверхнею виробу і розпиленою МОР при одночасному зниженні її витрати.

Автори пропонують пристрій який може бути використаний на операціях внутрішнього шліфування виробів з різних матеріалів як по зустрічній, так і по попутній схемах з наскрізними циліндровими отворами [1].

Завдяки наявності у запропонованому пристрої чаші у формі усіченого конуса, під дією відцентрових сил потік МОР прискорено рухається від центру до периферії, розподіляючись по внутрішній поверхні конуса і переміщуючись вздовж неї у бік більшої основи, де зривається з торцевої кромки чаші, розпилюючись на дрібні краплі. Завдяки наявності вентилятора забезпечується нагнітання розпиленої МОР у зазор між шліфувальним кругом та оброблюваною поверхнею, що призведе до випарювання МОР на цій поверхні, внаслідок чого забезпечується інтенсифікація теплообміну між поверхнею виробу і розпиленою МОР.

На рис.1 показана конструкція пристрою для охолодження виробу розпиленою мастильно-охолоджувальною рідиною при внутрішньому шліфуванні.



1 – чаша, 2 – шпиндель, 3 – шліфувальний круг, 4 – хрестовина, 5 – гвинт, 6 – вентилятор, 7 – корпус, 8 – ущільнення, 9 – шпиндель, 10 – виріб, 11 – патрон, 13 – патрубок,

Рис.1 – Пристрій для охолодження виробу

Пристрій для охолодження виробу розпиленою мастильно-охолоджувальною рідиною при внутрішньому шліфуванні складається з чаші 1 для розпилювання МОР, закріпленій на шпинделі 2 шліфувального кругу 3 за допомогою хрестовини 4 та гвинта 5. Чашу 1 для розпилювання МОР виконано у вигляді усіченого конуса, більша основа якого розташована з боку шліфувального круга 3. З боку меншої основи встановлений вентилятор 6, корпус 7 якого має ущільнення 8 і закріплений на шпинделі 9 виробу 10, що встановлений в патроні 11. В шпинделі 9 виробу 10 виконаний осьовий отвір 12 для подачі мастильно-охолоджувальної рідини через патрубок 13 в чашу 1. Зазор між шліфувальним кругом 3 та оброблюваною поверхнею виробу 10 позначений позицією 14.

Пристрій працює таким чином.

Виріб 10 встановлюється в патроні 11, притискаючись до ущільнення 8 корпусу 7 вентилятора 6. Шліфувальний круг 3 разом з чашею 1 для розпилювання МОР та вентилятором 6, що обертаються із швидкістю $V_к$, вводиться в оброблюваний отвір виробу 10. Після цього включається обертання шпинделя 9 виробу 10, який починає обертатися спільно із корпусом 7 вентилятора 6 із швидкістю $V_д$. МОР у невеликій кількості подається вільним поливом через нерухомий патрубок 13 та попадає на внутрішню конічну поверхню чаші 1 для розпилювання МОР. За рахунок кінетичної енергії рідини внаслідок дії відцентрових сил МОР розподіляється тонким шаром по внутрішній поверхні чаші 1. Завдяки конусності чаші шар рідини переміщується уздовж її внутрішньої поверхні у напрямку шліфувального круга 3 та зривається з торцевої кромки чаші 1, розпилюючись на дрібні краплі. Повітряний потік, що створює вентилятор 6, спрямовує розпилений потік МОР у зазор 14 між шліфувальним кругом 3 та оброблюваною поверхнею. Внаслідок вентиляційного ефекту від шліфувального круга 3 краплі розпиленої МОР потрапляють на оброблювану поверхню виробу 10 і випарюються.

Таким чином, запропонована конструкція пристрою для охолодження виробу розпиленою мастильно-охолоджувальною рідиною при внутрішньому шліфуванні підвищує якість обробки за рахунок інтенсифікації теплообміну між поверхнею виробу і розпиленою МОР при одночасному зниженні її витрати.

Список посилань

1. Патент 136683 України на корисну модель МПК(2006.01) B24B 5/06, B24B 55/02. Пристрій для охолодження виробу розпиленою мастильно-охолоджуючою рідиною при внутрішньому шліфуванні. / С.І. Чухно, О.В. Чернишов. Заявник та патентовласник ДДТУ №u 2019 02916, заявл. 25.03.2019. опубл. 27. 08.2019, бюл. №16.

УДК 662.613.13.507

Морозова І.В., канд. техн. наук, доцент
Морозов В.І., канд. техн. наук, доцент
Національний авіаційний університет, м. Київ, iramoro@ukr.net

ЗАСТОСУВАННЯ АВІАЦІЙНОГО ПАЛИВА З ПОКРАЩЕНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ДЛЯ ЗАБЕСПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АВІАЦІЙНОГО ДВИГУНА

У паливних системах авіаційних газотурбінних двигунів для подачі палива в камери згорання та агрегати системи управління широко застосовуються плунжерні насоси, у яких знос пар, що труться дуже сильно залежить від якості палива. Аналіз відмов свідчить, що однією з основних причин виходу з ладу паливної апаратури є підвищене зношування прецизійних пар, де паливо є змащувальним середовищем. Тому завдання дослідження полягало в оцінці зміни протизносних властивостей палива внаслідок електрофізичного впливу (ЕФВ) на його фізико-хімічні властивості.

На паливо впливали електрофізичним способом, тобто вплив на паливо відбувався двома постійними магнітами при включених генераторах. При цьому відбувалося поглинання електромагнітної енергії коливального контуру системою ядерних спінів водню, тобто відбувалася інверсія та, спостерігався сигнал абсорбції. Швидкість течії палива контролювали по максимуму сигналу абсорбції. Застосування електрофізичного впливу при сигналі абсорбції покращує протизносні властивості палива та зменшує знос контактуючих поверхонь сталі у паливі на 26…30 %.

Під час вивчення протизносних властивостей палив виявлено явище, що характеризується «ефектом післядії», тобто збереженням певних властивостей поверхнею,

захищеною плівкою, металу протягом тривалого часу після виведення палива, підданого ЕФВ, із системи.

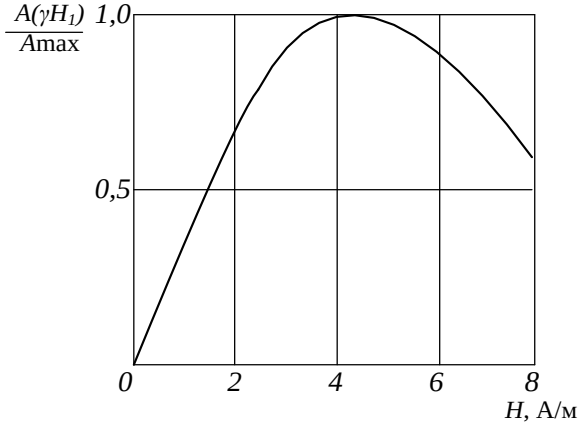


Рис. 1 – Залежність амплітуди сигналу абсорбціївід величини змінного електромагнітного поля

Список посилань

1. Теорія теплових двигунів. Газодинамічний розрахунок елементів газотурбінних двигунів: навч. Посібник / [Терещенко Ю. М., Кулик М. С., Мітрахович М. М. та ін]; за ред. Ю. М. Терещенка. – К.: НАУ, 2015. – 292 с.

2. Morozova I.V. Influence on the energy efficiency of hydrocarbon fuels // I.V. Morozova, V.I. Morozov // Springer, 2017, P. 319-330, https://doi.org/10.1007/978-94-024-1304-5_24

УДК 621.396

Банзак О.В., докт. техн. наук, професор,
Банзак Г.В., канд. техн. наук, доцент
Державний університет інтелектуальних технологій та зв'язку, м. Одеса
banzakoksana@gmail.com

МОДЕЛЬ БЕЗВІДМОВНОСТІ ОБ'ЄКТУ, ЩО НЕ ВІДНОВЛЮЄТЬСЯ МАШИНОБУДІВНОГО ОБЛАДНАННЯ

Модель, що розроблюється призначена для отримання функцій ймовірності безвідмовної роботи $P(t)$ (або функції розподілу напрацювання повністю $F(t)=1-P(t)$) для об'єкта в цілому і всіх його конструктивних елементів за наявною інформацією про показники безвідмовності елементів, що комплектуються. Функції $P(t)$ та $F(t)$ є показниками безвідмовності об'єктів, що не відновлюються, тому і модель називатимемо моделлю безвідмовності (МБ) об'єкта, що не відновлюються.

Об'єкт у цілому розглядається як елемент нульового рівня E^0. Він завжди єдиний і не входить до жодних інших елементів. На рис. 1 зображено фрагмент ієрархічної конструктивної структури об'єкта.

Кожен конструктивний елемент деякого u-го рівня E^u_{ijk} може включати конструктивні елементи наступного (u+1)-го рівня E^{u+1}_{ijkr}. На рис. 1 елементи нижнього рівня позначені колами, решта елементів – прямокутниками.

Термін конструктивний елемент будемо застосовувати у тому випадку, коли потрібно звернути увагу на місце, яке займає конструктивна структура об'єкта. Конструктивні елементи нижнього рівня, слідуючи термінології, прийнятій у [1, 2, 3], умовимося називати виробами нульового рангу (ВНР). ВНР може бути як дуже складний пристрій, так і складатися з єдиного найпростішого елемента (це, наприклад, резистор, мікросхема,

трансформатор, підшипник і т.п.). ВНР є нерозбірним елементом і завжди сприймається як одне ціле.

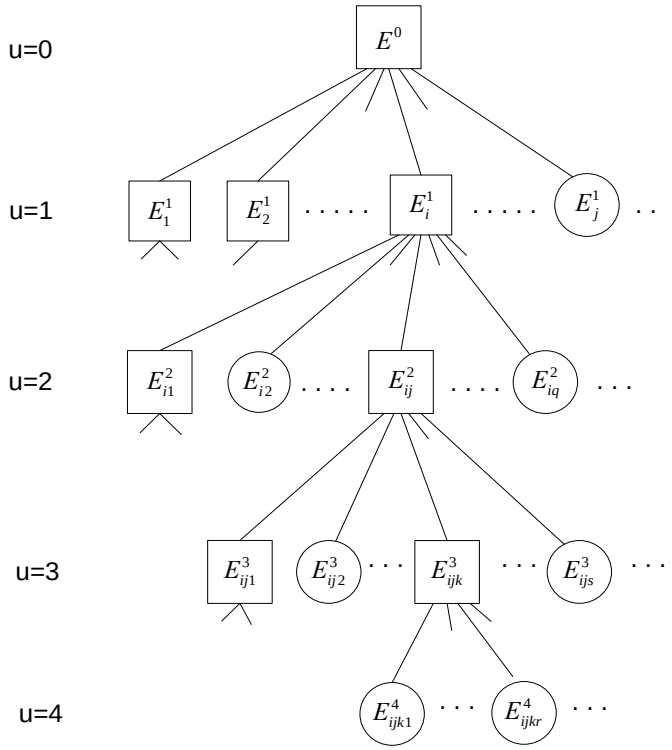


Рис.1 – Фрагмент ієрархічної конструктивної структури

Конструктивну структуру об'єкта формально представлятимемо ієрархічною списковою структурою. Кожен конструктивний елемент $E_{ij\ldots r}^{u}$ сприймається як список

$$E_{ij\ldots r}^{u} = \{E_{ij\ldots r0}^{u+1}, E_{ij\ldots r1}^{u+1}, \ldots, E_{ij\ldots rs}^{u+1}, \ldots\};\ \ s = \overline{0, \left|E_{ij\ldots r}^{u}\right|};\ \ u = \overline{0, U}, \qquad (1)$$

де $E_{ij\ldots rs}^{u+1}$ - елемент (u+1)-го рівня, що входить до складу елемента $E_{ij\ldots r}^{u}$;

U – максимальний рівень (вкладеності) конструктивних елементів даного об'єкта РЕТ.

Об'єкт загалом є списком елементів 1-го рівня:

$$E^0 = \{E_0^1, E_1^1, \ldots, E_i^1, \ldots\};\ \ i = \overline{0, \left|E^0\right|}. \qquad (2)$$

Елементи-ВНР є порожніми списками.

Сукупність всіх вкладених списків виду (1) є математичною моделлю конструктивної структури об'єкта.

Модель безвідмовності (МБ) дозволяє отримувати оцінки показників безвідмовності (ПБ) окремих конструктивних елементів та об'єкта загалом за інформацією про ПБ елементів нижнього конструктивного рівня. У МБ представляється ієрархічна конструктивна структура об'єкта. Конструктивні елементи деякого u-го конструктивного рівня є послідовним (у сенсі надійності) з'єднанням елементів, що входять до нього (u+1)-го рівня. Окремі конструктивні елементи можуть бути резервованою групою (паралельне з'єднання) однотипних елементів. Таким чином, за допомогою МБ поєднується уявлення ієрархічної конструктивної структури з довільною послідовно-паралельною надійністю структури об'єкта, що є прийнятним уявленням для більшості технічних об'єктів, що зустрічаються на практиці.

Як модель відмов для всіх елементів та об'єкта загалом використовується *DN*-розподіл. *DN*-розподіл вважається адекватною моделлю поступових відмов як виробів електронної

техніки, так різних механічних вузлів і елементів. Важливою перевагою *DN*-розподілу також є те, що його вид зберігається при перетвореннях надійної структури системи. Саме ця особливість *DN*-розподілу дозволила застосувати його до системи, що має ієрархічну структуру.

Список посилань

1. Банзак Г.В. Методика определения оптимальных параметров стратегии технического обслуживания “по состоянию” с адаптивным изменением периодичности контроля объекта / Селюков А.В., Цыцарев В.Н. // Вісник державного університету інформаційно-комунікаційних технологій. – К., 2011. – Том 9, № 4. – С.342 – 349.

2. Forecasting to reliability complex object radio-electronic technology and optimization parameter their technical usage with use the simulation statistical models: [monography] in English / Sergey Lenkov, Konstantin Borjak, Gennady Banzak, Vadim Braun, etc.; under edition S. V. Lenkov. – Odessa: Publishing house «ВМВ», 2014. – 252 p.

3. Ленков С.В. Моделирование и оптимизация процесса технического обслуживания по ресурсу сложных технических объектов / Цыцарев В.Н., Банзак Г.В. // Вісник інженерної академії України. – 2011. - № 3-4. – С.94 – 100.

УДК 004.896:621.7.044 (075.8)

Третяк В. В., канд. техн. наук, доцент
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», v.tretyak@khai.edu
Цивінда Н. І., канд. техн. наук, доцент,
Зуєв І. О., студент,
Криворізький національний університет, civinda.n@knu.edu.ua
Міхненко О.С., головний спеціаліст з програмного забезпечення,
Верстюк О.М., технічний спеціаліст з програмного забезпечення,
ТОВ «Інформаційні технології САПР, am@itsapr.com

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ МЕТОДУ СИНТЕЗА БЕЗ АНАЛОГІВІ МОЖЛИВОСТІ ЇЇ РЕАЛІЗАЦІЇ В СУЧАСНИХ САПР СИСТЕМАХ

Застосування нових підходів до проєктування технологічних процесів потребує використання оригінальних математичних моделей, які забезпечують вирішення технічних завдань технологічної підготовки виробництва в стислі терміни при мінімальних витратах на проєктування і підготовку виробництва.

У процесах проєктування ТП принципово вирішуються дві основні проблеми: формування його структурної моделі та визначення параметрів елементів.

В сучасних САПР системах найчастіше використовують такі процедури вибору рішень: можливі рішення в системі подано відповідними алгоритмами і синтезу, можливі рішення компонуються з елементів шляхом побудови зв'язків між ними за сукупністю правил.

Самим простим є метод адресації, який базується на принципі уніфікації. Склад і структура ТП визначається відповідно до стану і структури уніфікованого ТП послідовним уточненням формованих рішень при суворому дотриманні порядку переходу з більш високих рівнів декомпозиції на нижчі. У цьому випадку ТП-аналог повинен мати всі елементи, які використовуються у робочому ТП.

У літературі метод адресації добре формалізований і поданий в багатьох САПР системах. Використання ж методу синтезу, особливо без аналогів, потребує системної формалізації знань. Найскладнішим є алгоритм безаналогового синтезу. У такому випадку процес проєктування має складніший характер. Потрібно також зазначити, що метод синтезу без аналогів застосовують лише на верхньому рівні формування ТП. Метод синтезу без аналогів характеризується тим, що всі складові технологічного процесу на всіх рівнях декомпозиції, окрім базового, синтезуються з елементів базового (елементарного) рівня

декомпозиції. Як правило при цьому виділяють декілька проміжних ієрархічних рівнів. Окрім розчленовування описів за ступенем деталізації віддзеркалення властивостей об'єкта, що породжує ієрархічні рівні, використовують декомпозицію описів за характером властивостей об'єкта, що відображаються.

Алгоритми формування послідовності етапів, операцій і переходів ТП складаються з фаз структурного і параметричного синтезу. Структурний синтез установлює послідовність елементів і етапів на відповідному рівні .

На рівні структурного синтезу легко адаптуються структурно-аналітичні (С-А) алгоритми розпізнавання подоби. Для формування С-А правил класифікації розроблено ряд програмних комплексів, які можуть бути використані, як в навчальному, так і в науковому процесі. Початковою інформацією для класифікації є таблиця емпіричних даних (ТЕД) у формі матриці «об'єкти – ознаки», які становлять реалізації з найменуваннями класів.

За допомогою С-А алгоритмів реалізується класифікаційна обробка даних. При параметричному синтезі формуються властивості елементів, які вже включено у технологічний процес. Математична модель об’єкта має включати інформацію, необхідну для формування ТП, тому використовується схема спрощення ознак для елементів деталі (рис. 1).

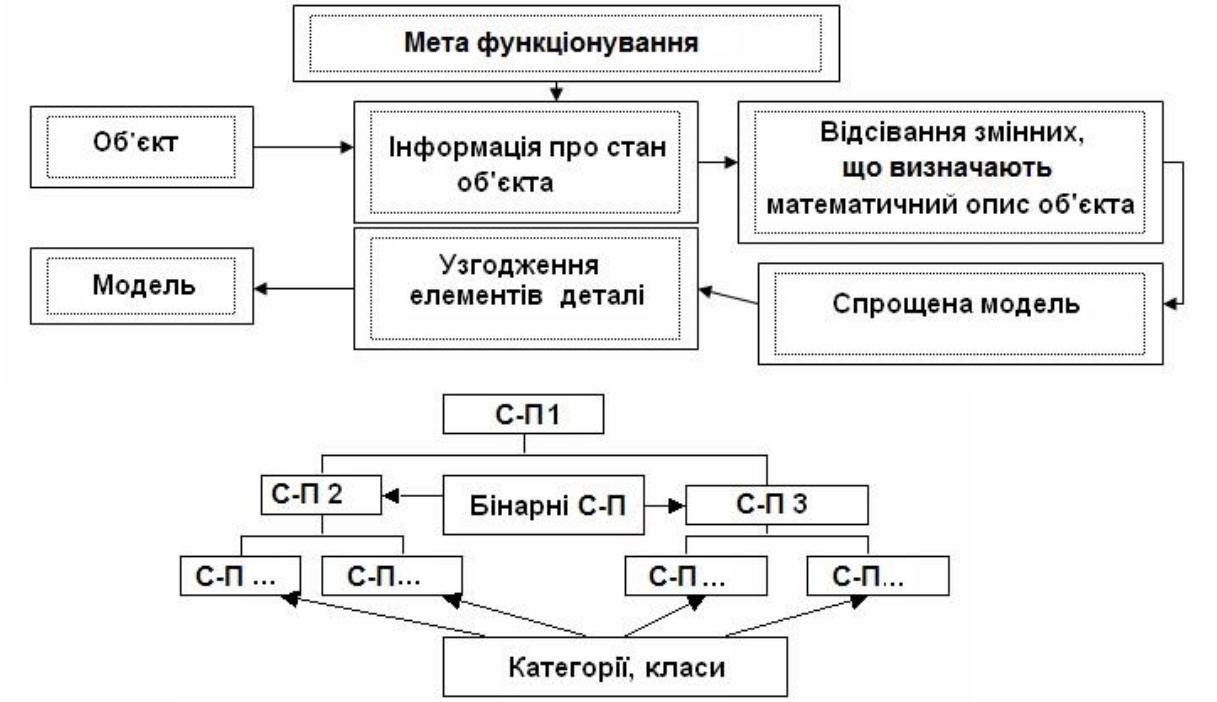


Рис. 1 – Структурна модель класифікаційного графа

Вихідною інформацією є відомості про структурну повноту ознак ТЕД, їх роздільну здатність та інформативність, про можливість безпомилкової класифікації до побудови граматичного ПК, а також саме С-А правило класифікації у вигляді деревовидної вирішальної структури, що самоаналізується.

Для формування С-А правил класифікації в ХАІ розроблено і адаптовано програмний комплекс ІПК «КОД-Т». Результатом його роботи є сформовані правила класифікації для синтезуючого пакета прикладних програм [1].

Для формування класифікаційних рішень можна використовувати розроблений комплекс «Класифікатор». Результатом його роботи є тести сформованих правил класифікації на новій ТЕД.

Для реалізації результатів роботи цих математичних моделей в імпульсній металообробці розроблено програмний комплекс «Імпульс». Розроблені програмні комплекси можуть бути реалізовані в сучасних САПР системах з відповідними базами знань.

Список посилань

1. Третяк, В. В. Проектування технологічних процесів імпульсного оброблення методами синтезу і адресації [Текст]: навч. посіб. до дипл. проектування / В. В. Третяк, А. В. Онопченко. – Харків: Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2020. – 72 с.

УДК 621.7(075.8)

Романенко В.В., канд. техн. наук, доцент
Головко Л.Ф., докт. техн. наук, професор
Блощицин М.С., канд. техн. наук
Савченко О.А., магістр
Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського»,
leongolovko@gmail.com

ЗАСТОСУВАННЯ СПЕЦІАЛЬНИХ УТРИМУЮЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ БІМЕТАЛЕВИХ МАТЕРІАЛІВ

Представлено аналіз існуючих методів та новий комбінований процес виготовлення біметалу, згідно з яким на поверхні його функціональної складової за допомогою лазерного або дугового зварювання створюється спеціальна закономірна конструкція тримачів, при цьому підготовлений біметалевий компонент поміщається у форму піску. Розплав структурної складової біметалу подається на поверхню функціонального компонента через отвір у вигляді спеціального пристрою з заданою швидкістю потоку. Тримачі виготовляють з дроту. Тримачі розташовуються по поверхні робочої пластини під кутом чи перпендикулярно основі з наступним загинанням після складання. Кількість тримачів, їх геометрія та взаємне розташування по поверхні визначаються розмірами біметалу. Можна змінювати необхідні параметри міцності зчеплення на різних ділянках. Повне заповнення технологічного простору між тримачами залитим металом гарантує надійне кріплення біметалічних пластин. Для здешевлення технології отримання біметалів розроблено й реалізовано різні варіанти. Є варіанти де заливається не вся поверхня, а лише задані ділянки підготовлених отворів. Це дає змогу реалізувати багатошарові металеві конструкції. Дешевий та простий метод отримання біметалевих пластин без потреби в ливарних операціях та обладнанні, це застосування технології зварювання. Доведено, що для забезпечення високої міцності зчеплення біметалічних компонентів та рівномірного розподілу по площині з'єднання необхідно, щоб частота тримачів і крок між ними мали оптимальне значення. Продемонстровано високу ефективність нової, інноваційної комбінованої технології виробництва біметалу.

Список посилань

1. Патент № 133111 UA, B22D 19/16 (2006.01) Пристрій для ливарного виготовлення біметалічних матеріалів з застосуванням утримуючих елементів / Романенко В.В.; Головко Л.Ф.; Блощицин М.С., Салій С.С. –№ u 201810064; заявл. 09.10.2018 ; опубл. 25.03.2019 Бюл. № 6, 2019 р.

2. Патент № 134859 UA, B23D 19/08 (2006.01) Спосіб ливарного виготовлення біметалів із застосуванням нахилених утримувачів/ Романенко В.В.; Головко Л.Ф.; Блощицин М.С., Ямшинський М.М., Салій С.С., Ковальчук О.Г. –№ u 201812618 ; заявл. 19.12.2018 ; опубл. 10.06.2019 Бюл. № 6, 2019 р.

3. Golovko, L., Salii, S., Bloshchytsyn, M., and others (2018), Development of the laser-foundry process for manufacture of bimetals, Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, vol. 4/1, no. 94, pp. 47–54, https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.139483.

4. Лазерні технології та комп'ютерне моделювання / під редакцією Л.Ф. Головка та С.О. Лук'яненка, Київ, Вид-во «Вістка», 2009

5. Салій С. С., Головко Л. Ф., Головко А. Л., Романенко В. В. Комбінований лазерно-ливарний процес виготовлення біметалів, Mechanics and Advanced Technologies #1 (88), 2020, p.93-107. https://doi.org/10.20535/2521-1943.2020.88.200234

УДК 621.941

Даниленко О. В., канд. техн. наук, доцент
Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», alednlnk@gmail.com

ЗДІЙСНЕННЯ ДІАГНОСТИКИ ОБЛАДНАННЯ У НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ

Збільшення частки малих підприємств в структурі економіки України обумовлює необхідність змін також і в організації обслуговування і ремонту технологічного обладнання. Замість використовуваної раніше великими державними підприємствами так званої системи планово-запобіжних ремонтів (ПЗР) (повна назва „Єдина система планово-запобіжних ремонтів і раціональної експлуатації устаткування машинобудівних підприємств"), дотримання якої контролювалось галузевими міністерствами [1], зараз набувають більшого поширення системи обслуговування, що ґрунтуються на результатах діагностичного контролю. Останнім часом з'явилась навіть нова назва для такого підходу: „Предикативна аналітика".

У всіх випадках діагностування спрямоване на визначення наявного на момент діагностики „ресурсу" як машини в цілому, так і окремих її вузлів і деталей. Методики і засоби діагностування розглядаються багатьма авторами, наприклад, викладені в навчальному посібнику авторів А. Н. Гавриліна та Б. Б. Мойзеса [2].

Найбільш інформативним методом неруйнівного контролю є вібродіагностика при умові використання достатньої кількості датчиків і правильному виборі місць їх розташування. Відповідно до кількості використовуваних датчиків необхідно мати і підсилюючу та реєструючу апаратуру з необхідною кількістю незалежних каналів. Якщо враховувати умови навчального закладу то одержання такого комплекту апаратури майже неможливе. Тому більш реальним варіантом діагностування буде використання сигналу акустичної емісії. Запис сигналу можна здійснити, використовуючи більш доступний прилад – вимірювач шуму і вібрації (ВШВ).

Але ж одержанням такого запису питання не вирішується. Необхідно одержати спектрограму запису акустичної емісії машини і порівняти її з розрахунковими частотами коливань, що можуть генеруватись ланками кінематичного ланцюга при роботі. Цього теж недостатньо. Знову потрібно здійснити порівняння – але з чим? Тобто потрібно мати еталонний запис. У повному розумінні такий запис не можливий – кожна машина має індивідуальні особливості. Отже потрібно створювати базу з періодичних записів «вібраційних портретів» кожної машини і відслідковувати зміни в амплітудах піків на спектрограмах. Порівняння дозволить зробити висновок про зміни в стані окремих деталей машини, а збільшення амплітуд в окремих полосах спектра буде свідоцтвом збільшення зносу деталей і підставою для перевірки їх стану.

Для потреб навчального процесу завдання може бути сформульоване інакше, наприклад, визначити частоту обертання шпинделя верстата, при якій було здійснено запис файлу, наданого для аналізу.

Список посилань

1. Типовая система технического обслуживания и ремонта металло- и деревообрабатывающего оборудования / Минстанкопром СССР, ЭНИМС. – М.: Машиностроение, 1988, – 672 с.

2. Гаврилин А.Н., Мойзес Б.Б. Диагностика технологических систем: учебное пособие. В 2 частях / Томский политехнический университет. − Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014.

УДК 621.923

Дубицький М.Є., магістр,
Майборода В.С., докт. техн. наук, професор
Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського»,
maiborodavs@gmail.com

ЗАЛИШКОВІ НАПРУЖЕННЯ 1-ГО РОДУ ПІСЛЯ МАГНІТНО-АБРАЗИВНОГО ОБРОБЛЕННЯ ПЛОСКИХ ПОВЕРХОНЬ ІНДУКТОРАМИ НА ПОСТІЙНИХ МАГНІТАХ

Міцність поверхневого шару чинить значний вплив на роботу деталей машин. Одним з методів збільшення міцності поверхневого шару деталей машин є магнітно-абразивне оброблення. Магнітно-абразивне оброблення призводить до росту зміцнюючих стискаючих напружень в поверхневому шарі деталей машин шляхом фрикційної взаємодії і мікроударів частинок абразиву з поверхнею деталі [1].

У даній роботі були проведені дослідження впливу робочого зазору на величину залишкових напружень після магнітно-абразивного оброблення плоских поверхонь індукторами на постійних магнітах. Враховуючи попередні дослідження [2-6], обробка зразків виконувалася з наступними режимами: швидкість обертання головки 900 об/хв, подача 10 мм/хв, робочий зазор змінювався в діапазоні 3-5 мм. В якості інструменту використовувалася головка типу «Щітка». В якості абразивного матеріалу були обрані наступні порошки: Феромап 630/400, Царамам 630/400 та S330 1200/900. В якості зразків використовувалися відпалені пластинки зі сталі У9.

Визначення залишкових напружень виконувалося шляхом вимірювання деформації зразка оптичним методом, та подальшого розрахунку за формулою (1). Формула (1) була виведена з припущення, що деформація обробленого зразка подібна до деформації рівномірно навантаженої консолі.

$$\sigma = \frac{2y_{max}Eh}{l^2} \qquad (1)$$

де: σ – напруження (МПа),

y_{max} – величина вигину зразка (мм),

E – модуль Юнга (ГПа),

h – товщина зразка (мм),

l – довжина заготовки (мм).

Результати вимірювання наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати вимірювання вигину заготовок

Абразивний матеріал	Товщина зразка (мм)	Довжина зразка (мм)	Прогин зразка (мм)	Величина робочого зазору (мм)	Напруження (МПа)
Феромап 630/400	0,83	65,4	0,6375	3	49,48
Феромап 630/400	0,84	66,9	0,5281	3,5	39,65
Феромап 630/400	0,84	68	0,5344	4	38,83
Феромап 630/400	0,84	65,7	0,3688	5	28,71
Царамам 630/400	0,83	67,4	1,1278	3	82,42
Царамам 630/400	0,85	66,8	0,9167	4	69,85
Царамам 630/400	0,82	66,8	0,61	4,5	44,84
Царамам 630/400	0,81	67,5	0,75	5	53,33
S330 1200/900	0,83	66,7	0,9444	3	70,48
S330 1200/900	0,86	66	1,22	4	96,35
S330 1200/900	0,82	66,7	1,24	4,5	91,42
S330 1200/900	0,82	67	0,9	5	65,76

Залежність величини залишкових напружень від величини зазору показано на рис. 1.

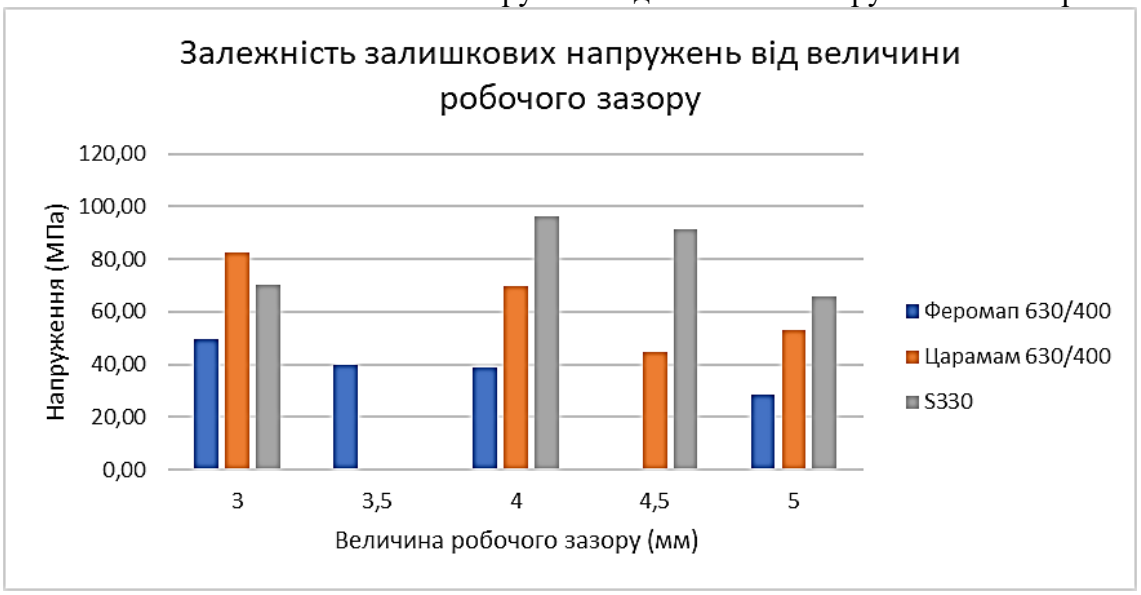


Рис. 1 – Залежність величини залишкових напружень від величини зазору

Показано, що порошки округлої форми Царамам та S330 в цілому забезпечують більші значення залишкових напружень ніж оскольчастий порошок (Феромап). Встановлено, що порошки з розміром частинок 1200/900 мкм (S330) забезпечує можливість формування більших значень від'ємних залишкових напружень у порівнянні з порошками з розміром частинок 630/400 мкм. При цьому суттєвий вплив має величина зазору при якій досягаються підвищені залишкові напруження.

Список посилань

1. Surface integrity of titanium part by ultrasonic magnetic abrasive finishing [Електронний ресурс] / K. Zhou [та ін.] // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2015. – Т. 80, № 5-8. – С. 997–1005. – Режим доступу: https://doi.org/10.1007/s00170-015-7028-z.

2. AISI 1045 Steel Flat Surfaces Machining Using the Magneto-Abrasive Method [Електронний ресурс] / V. S. Maiboroda [та ін.] // Journal of Engineering Sciences. – 2020. – Т. 7, № 1. – С. A1–A7. – Режим доступу: https://doi.org/10.21272/jes.2020.7(1).a1.

3. Flat surfaces machining by the magneto-abrasive method with permanent magnet end-type heads 3. The influence of the types of the working heads on the effectiveness of the magneto-abrasive machining [Електронний ресурс] / Victor Maiboroda [та ін.] // Mechanics and Advanced Technologies. – 2021. – Т. 5, № 1. – С. 97–102. – Режим доступу: https://doi.org/10.20535/2521-1943.2021.5.1.229813.

4. Магнитно-абразивная обработка плоских поверхностей головками на постоянных магнитах [Електронний ресурс] / В. С. Майборода [та ін.] // Технічна інженерія. – 2020. – Т. 1, № 85. – С. 60–65. – Режим доступу: https://doi.org/10.26642/ten-2020-1(85)-60-65.

5. Flat surfaces machining by the magneto-abrasive method with permanent magnet end-type heads. The influence of the design of the working surfaces of the heads on the effectiveness of the magneto-abrasive machining [Електронний ресурс] / Victor Maiboroda [та ін.] // Mechanics and Advanced Technologies. – 2020. – № 3(90). – Режим доступу: https://doi.org/10.20535/2521-1943.2020.0.208535.

6. Maiboroda V. Flat surfaces machining by the magneto-abrasive method with permanent magnet end-type heads 1. The influence of the type of magneto-abrasive powder on the effectiveness of the magneto-abrasive machining [Електронний ресурс] / Victor Maiboroda, Dmytro Dzhulii, Andrii Zelinko // Mechanics and Advanced Technologies. – 2020. – Т. 89, № 2. – Режим доступу: https://doi.org/10.20535/2521-1943.2020.89.202696 (дата звернення: 20.05.2022).

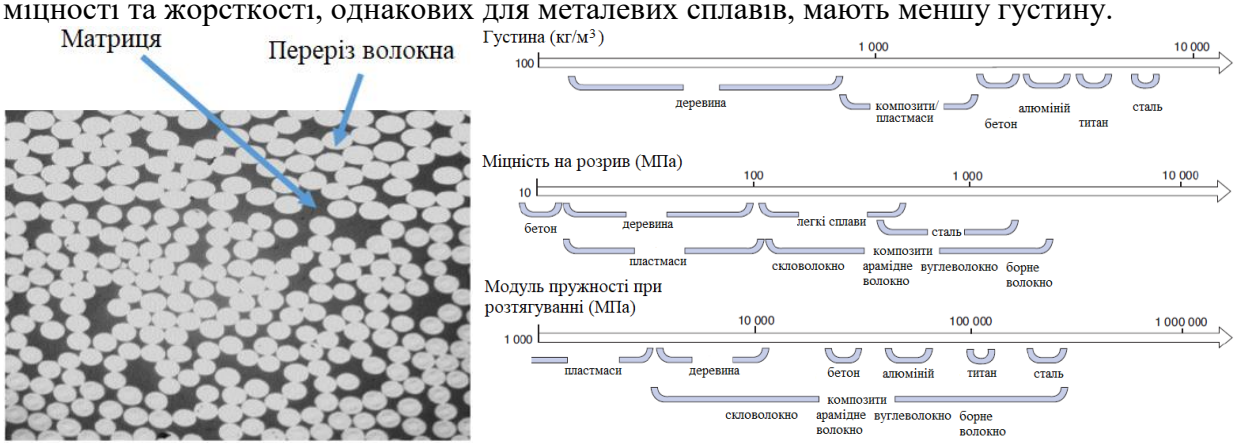
УДК 629.735.33.015.4:678.073

Матошин О.В., студент
Стельмах Н.В., канд. техн. наук, доцент
Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», matoshin.a@ukr.net

АКТУАЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

На даний час машинобудування і приладобудування не можуть обійтися без застосування композиційних матеріалів (КМ), які мають високі показники твердості, міцності та стійкості при невисокій питомій вазі в порівнянні з традиційними конструкційними матеріалами (сталлю, чавуном, латунню, алюмінієм тощо) [1]. Дана властивість стала причиною їх широкого використання у авіаційній техніці, оскільки це дозволяє знизити масу літального апарату та спростити технологію його виробництва.

Композити складаються із двох або більше хімічно відмінних матеріалів, які можна візуально розрізнити на макроскопічному рівні, тобто вони не утворюють нових кристалічних решіток (хімічних з'єднань). При поєднанні армуючих волокон та сполучної матриці (рис. 1, а) можна отримати матеріал, який показує найкращі властивості кожного окремого компонента. В якості волокон використовуються скло, вуглець і графіт, кевлар і арамід, алюміній, сталь, бор. Матрицею виступають реактопласти, термопласти, метали, стекла та кераміка. Із графіка (рис. 1, б) видно, що композиційні матеріали при величинах міцності та жорсткості, однакових для металевих сплавів, мають меншу густину.



а) б)

Рис. 1 – Композиційні матеріали а) будова б) порівняльна характеристика із іншими матеріалами

Важливою перевагою композиційних матеріалів є анізотропія властивостей, що дає можливість змінювати їхні параметри за допомогою задання кількості та орієнтації армуючих волокон, типу шару в укладці та порядку шарів [2].

Проте використання таких матеріалів має ряд недоліків: висока вартість, важко виявити дефекти, гігроскопічність, світлочутливість, понижені робочі температури (в порівнянні з металевими сплавами), високий об'єм на одиницю міцності, а також є багато невирішених питань з подальшою обробкою деталей з КМ, їх контролем та випробуваннями, що потребує проектування спеціального інструменту, обладнання, пристосувань і загальної технології.

Список посилань

1. Карпинос, Д.М. Композиционные материалы: Справочник. / Под ред. Д.М. Карпиноса. Киев: Наукова думка, 1985. – 592 с.

2. A. Dzierwa and N. Stelmach, "Analysis of strength criteria in the design of products from composite materials", Bull. Kyiv Polytech. Inst. Ser. Instrum. Mak., no. 61(1), pp. 46–51, Jun. 2021. DOI:10.20535/1970.61(1).2021.237094.

УДК 621.941.01

Євдокимов О.Д., аспірант
Колесник В.О., канд. техн. наук
Сумський державний університет, o.yevdokymov@tmvi.sumdu.edu.ua

ПРОБЛЕМАТИКА ТОКАРНОЇ ОБРОБКИ СУПЕРСПЛАВУ INCONEL 718

Сплави на основі нікелю широко використовуються у сучасному машинобудуванні. Одним з найбільш поширених сплавів цієї групи є Inconel 718. Він являє собою жароміцний високоякісний сплав нікелю, хрому і заліза з додаванням ніобію, молібдену алюмінію та титану. Поєднання високої жароміцності (до 650 °С) та твердості обумовили його використання у виробах на елементах конструкції, що працюють в складних експлуатаційних умовах, зокрема обшивка надзвукових літаків, газові турбіни, елементи та вузли ракетних і авіаційних двигунів та космічних апаратів. Також цей матеріал набуває поширення у автомобільній промисловості. По причині вмісту у хімічному складі хрому, нікелю та молібдену сплав Inconel 718 є важкооброблюваним матеріалом при механічній обробці. Враховуючи номенклатуру виробів найбільш поширеними є процеси токарного та фрезерного оброблення [1].

Проблематика що виникає при токарному обробленні пов’язана з відносно високими силами різання, температурою різання, що обумовлює швидке зношення ріжучого інструменту, яке виникає в наслідок високої міцності матеріалу та його низької теплопровідності. В свою чергу, це призводить до зниження продуктивності обробки та якості поверхні деталі. Значний вплив на продуктивність мають матеріал ріжучої пластини та її геометрія, геометрія ріжучого інструменту, та середовище обробки. Найбільшого поширення для обробки Inconel 718 набули три групи матеріалів: CBN (кубічний нітрид бору), мінералокераміка та тверді сплави. З підвищенням температури в зоні різання, твердість Inconel 718 збільшується, у той час як твердіть твердого сплаву під впливом цього ж фактору зменшується. Оскільки, висока твердість матеріалу пластини забезпечує стійкість інструменту до абразивного зношення підвищення температури в зоні різання призводить до зменшення ресурсу різального інструменту. Для чистової обробки на високих швидкостях різання Inconel 718 використовуються матеріали з високою твердістю зокрема, кубічний нітрид бору (CBN). Для чорнової та напівчистової обробки використовуються твердий сплав з високим вмістом кобальту та мінералокераміка. Як зазначено, ще одним важливим фактором обробки є геометричні параметри ріжучої пластини та інструменту. При обробці Inconel 718 більш доцільно використовувати інструменти із заокругленими профілями ріжучої кромки, радіусом при вершині $r_в$ = 0,8 мм та від’ємним переднім кутом -6˚ Також має місце використання пластин круглої форми для чистової обробки [2]. Що стосується середовища обробки при точінні Inconel 718, для охолодження активно використовуються як і звичайне вологе охолодження за допомогою різноманітних змащувально-охолоджуючих рідин (ЗОР), так і технологія малого змащення MQL (minimum quantity lubrication). Крім зазначеного, набула поширення обробка із ЗОР під високим тиском, обробка з використанням рідкого азоту. Обробка без використання будь якого охолодження є недоцільною, оскільки значно знижує ресурс інструменту та впливає на якість обробленої поверхні.

Список посилань

1. Bartolomeis A. de и др. Future research directions in the machining of Inconel 718 // Journal of Materials Processing Technology. 2021. Т. 297.
2. Frifita W. и др. Optimization of machining parameters in turning of Inconel 718 Nickel-base super alloy // Mechanics and Industry. 2020. Т. 21. № 2.

УДК 621:95.08: 62-4

Лисенко Б.Г., аспірант
Колесник В.О., канд. техн. наук
Забара М.О., студент
Сумський державний університет, b.lysenko@tmvi.sumdu.edu.ua

ВПЛИВ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ НА ЯКІСТЬ ПОВЕРХНІ ПРИ СВЕРДЛІННІ ОТВОРІВ У ПАКЕТАХ «ВУГЛЕПЛАСТИК/ ТИТАНОВИЙ СПЛАВ»

Дотепер свердління пакетів вуглепластик/титановий сплав все ще є одним із найбільш поширеним методів механічної обробки для виготовлення отворів для вузлів у цивільних літаках. Свердління отворів в пакетах за один прохід досі залишається складним завданням. Низька оброблюваність матеріалів пакету обумовлена поєднанням анізотропної структури композиційного матеріалу, високої твердості та міцності титанового сплаву. У експериментальних дослідженнях найчастіше вимірюються осьова сила (F, Н), крутний момент (M_c, Н·мм), температура різання (T, °С), досліджувався механізм формування стружки, а також такі технічні параметри, як фаска зношування та період стійкості інструменту. Вищезазначені параметри як правило використовуються для пояснення фізичної природи впливу режимів різання, геометрії інструменту та матеріалу інструменту, а також впливу технологічних середовищ на показники якості отворів. При свердлінні пакету титановий сплав/ вуглепластик було виявлено, що подача (0,05-0,15 мм/об) має значний вплив на осьову силу на рівні 40% у титановому сплаві та 31% у вуглепластику, а також на крутний момент на рівні 72% в титановому сплаві [1]. Менше з тим, питанню вивчення температури свердління та впливу режимів різання на шорсткість обробленої поверхні отворів у пакеті була присвячена не достатня увага. З метою розширення розуміння залежності температури свердління та шорсткості поверхні було запропонована та реалізовано експериментальне дослідження вище зазначених параметрів при свердлінні пакетів вуглепластик/титановий сплав.

Експериментальне дослідження було проведено з використанням методу штучної термопари та профілографічного методу визначення шорсткості. Планування експерименту здійснювалося за методикою Тагучі, на основі ортогонального масиву L_8, шляхом варіювання факторів швидкості різання та подачі на трьох рівнях. На основі ортогонального масиву L_8 за методикою рабастного планування було отримано план експерименту, що складався з варіюванні двох факторів: швидкість різання (v, м/хв) та подачі (f, мм/об), на трьох рівнях, що дозволило сформувати матрицю кодування та таблицю декодування факторів та їх рівнів. Механічна обробка пакету вуглепластик/титановий сплав проводилась з постійними значенням рівнів факторів у межах досліду для обох шарів пакету (табл. 1) [2].

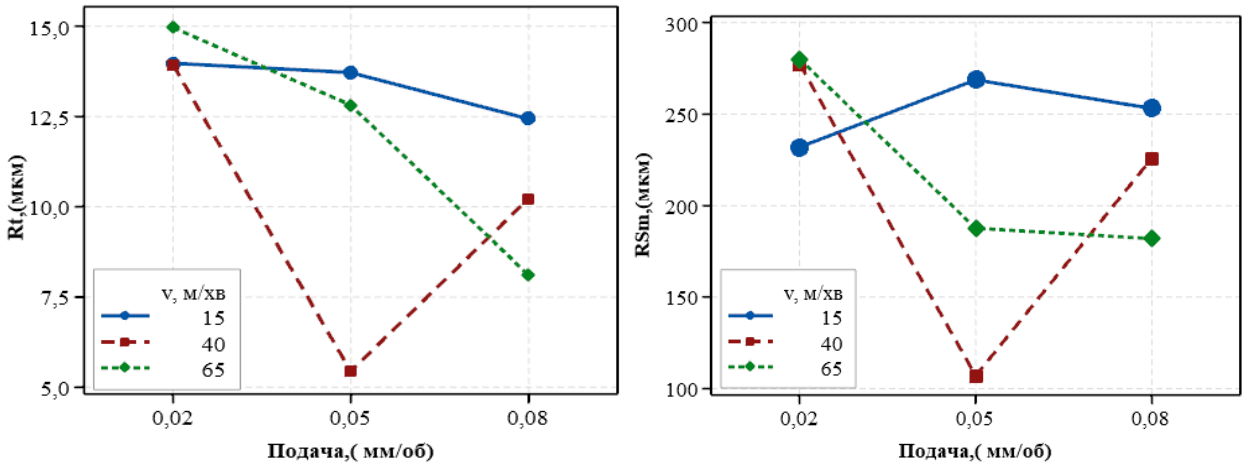
Таблиця 1 – Матриця варіювання факторів за методикою Тагучі L_8

Чинники	**Номер досліду**								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Швидкість різання, v (м/хв)	15	15	15	40	40	40	65	65	65
Подача, s (мм/об)	0,02	0,05	0,08	0,02	0,05	0,08	0,02	0,05	0,08

Під час експерименту вимірюваним параметром, що характеризував вплив режимів різання на процес різання була температура свердління. Вимірювання температури свердління здійснювалось у режимі реального часу за допомогою бездротового пристрою WICUTEM, що був закріплений на цанговій оправці HSK 40. Підведення термопари типу хромель – алюмель до головної різальної кромки свердла, здійснювалось через внутрішні

канали для подачі змащувально-охолоджуючої рідини твердосплавного спірального свердла. Бездротова передача даних про результати вимірювання температури свердління була реалізована засобами технології Bluetooth на персональний комп'ютер. Використання технології Bluetooth дозволило забезпечити контроль температури осьового різального інструменту у режимі реального часу.

Під час вимірювання температури свердління було визначено, що локальний мінімум вимірюваного параметру при обробці шару вуглепластику групується в діапазоні режимів різання v = 15 м/хв та f = 0,05 – 0,08 мм/об, а максимум v = 65 м/хв та f = 0,05 мм/об. Для титанового сплаву групування локального мінімуму та максимуму відбувалося при v = 15 м/хв, f = 0,05 мм/об та v = 65 м/хв, f = 0,05 об/хв, досягаючи 220 °С та 461 °С відповідно [3].



а) б)

Рис. 1 – Шорсткість поверхні отвору у шарі вуглепластику за параметрами: а) R_t, б) R_{Sm} титановий сплав

Аналіз результатів вимірювання засвідчив, що мінімальні або близькі до мінімальних значення середньоквадратичного відхилення профілю мікронерівностей, повної висоти профілю R_t = 5,4 мкм, максимальної глибини западин профілю на базовій довжині становила R_y = 2,3 мкм, та середньої ширини елементів профілю R_{Sm} від 212 до 246 мкм були отримані при v = 40 м/хв та f = 0,05 мм/об (рис 1).

Навколо режимів різання v = 40 м/хв та f = 0,05 мм/об відбувалося групування локальних мінімумів аналізованих параметрів шорсткості обробленої поверхі у шарі титанового сплаву.

Визначено, що при обробці шару вуглепластику значення аналізованих параметрів шорсткості підпорядковується тренду до збільшення параметрів при збільшенні подачі, в той час як при свердлінні шару титанового сплаву навпаки до зниження, за винятком тих що стали локальними мінімумами.

Було наочно доведено, що комбінація швидкості різання 40 м/хв та подачі 0,05 мм/об дозволяє забезпечити мінімальні значення аналізованих параметрів мікрорельєфу обробленої поверхні, як в шарі вуглепластику так і титанового сплаву .

Список посилань

1. Shyha, I.; Soo, S.L.; Aspinwall, D.K.; Bradley, S.; Dawson, S.; Pretorius, C.J. Drilling of Titanium/CFRP/Aluminium Stacks. Advanced Precision Engineering 2010, 447-448, 624, doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.447-448.624.

2. Kolesnyk V. Peterka J. Experimental Study of Drilling Temperature, Geometrical Errors and Thermal Expansion of Drill on Hole Accuracy When Drilling CFRP/Ti Alloy Stacks 2020, 17 doi:10.3390/ma13143232.

3. Kolesnyk V. Peterka J. Application of ANN for Analysis of Hole Accuracy and Drilling Temperature When Drilling CFRP/Ti Alloy Stacks 2022, 21, doi: 10.3390/ma15051940.

УДК 621.9-1-813

Биков М.С., аспірант
Нешта А.О., канд. техн. наук, ст. викладач,
Дегтярьов І.М., канд. техн. наук, ст. викладач,
Самардак М.П.
Сумський державний університет, m.bykov@tmvi.sumdu.edu.ua

АНАЛІЗ СПОСОБІВ ЗАТЯГУВАННЯ СТИКУ КРИШКИ ТА КОРПУСУ ВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ ТА КОНТРОЛЮ ВИДОВЖЕННЯ ШПИЛЬОК

Наразі у машинобудуванні переважно застосовують дві принципово різні способи затягування різьових з'єднань, а саме попередня осьова витяжка шпильки, та затягування шляхом прикладення певного крутного моменту, як правило до гайки [1].

У першому варіанті застосовують гідравлічні домкрати, що розтягують шпильку з певним розрахованим осьовим зусиллям, а гайка просто накручується «від руки» до упору в торець шайби. Після цього навантаження знімається і шпилька повертається у своє початкове положення таким чином створюючи тиск у витких різі, затягуючи з'єднання.

У другому варіанті затягування здійснюється за допомогою прикладення крутного моменту, як правило до гайки. При цьому процес затягування виконується за чіткою схемою, та може містити до трьох етапів. На першому етапі виконують попереднє затягування з певним значенням моменту. На другому етапі значення моменту збільшують до розрахункового значення, що задає конструктор. І на третьому етапі для особливо відповідальних з'єднань, виконують довертання гайки на певний кут. Порівняння двох способів, переваги та недоліки кожного з них наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Порівняння способів затягування різьових з'єднань

Спосіб затягування	Переваги	Недоліки
Попередня осьова витяжка	Не створює опору у витках різі при затягуванні	Потребує використання потужних спеціальних гідравлічних домкратів
	Не викликає напружень кручення у шпильці	Потребує доступу для встановлення гідравлічних домкратів
Затягування крутним моментом	Використання стандартних динамометричних ключів при невеликих розмірах різей	Створює опір у витках різі при затягуванні, що спричиняє необхідність збільшувати крутний момент
	Потребує менше робочого простору для здійснення затягування	Для великих розмірів різей потребує використання потужних гідравлічних ключів
		Викликає суттєві напруження кручення у шпильці

Виходячи із табл. 1 переваг більше саме у способу попередньої осьової витяжки, а недоліки нівелюються через достатньо великі габарити насосів, тому відповідно даний спосіб і буде розглядатися у подальших дослідженнях.

Список посилань

1. Копей Б. В., Михайлюк В. В., Лисканич М. В. Затягування різьбових з'єднань та способи контролю моменту згвинчування насосних штаг. // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ – 2007. – № 3(24). – С. 82-88.

УДК 621.7.044.7

Дубініна О.Т., інженер кафедри ТМ
Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського»,
olhadubinina777@gmail.com

МЕТОД МАГНІТНО-ІМПУЛЬСНОГО ЗМІЦНЕННЯ МЕТАЛУ ЯК АЛЬТЕРНАТИВА ТЕРМІЧНІЙ ОБРОБЦІ ВЕЛИКОГАБОРИТНИХ ДЕТАЛЕЙ

Суть магнітно-імпульсної обробки (МІО) полягає в розміщенні металевої деталі в індукторі, вплив якого створює магнітне поле значної напруги. При цьому в металевій деталі виникають вихрові струми, які взаємодіють зі струмами магнітно-імпульсної установки, що призводить до виникнення зусиль на поверхні металу [1]. Магнітний імпульс створює ударну хвилю, яка приводить у рух кристалічну решітку дефектного шару деталі. Силовий вплив у цьому випадку досить ефективний для того, щоб викликати структурні зміни, але не досягає меж пружності та міцності. Так само відбувається нагрівання ділянок кристалічних ґрат і неоднорідностей у структурі металу. Внаслідок цього відбувається зміцнення поверхні металу. З використанням цього методу можливе повне виключення термічної обробки з технологічного процесу виготовлення деталі, що значно знижує грошові витрати.

Деталь «Колесо» має великі габаритні розміри (d > 500 мм) і потребує тривалої термічної обробки (цементація, загартування та низький відпуск).

Виходячи з досліджень зубчастих коліс Сидорова В. А. [2], одними з найбільш навантажених і схильних до зносу, є зони плями контакту зубів. Для впливу МІО безпосередньо на проблемні ділянки сконструйовано індуктор евольвентної форми, який надягатиметься на кожен зуб колеса задля зміцнення поверхневого шару металу.

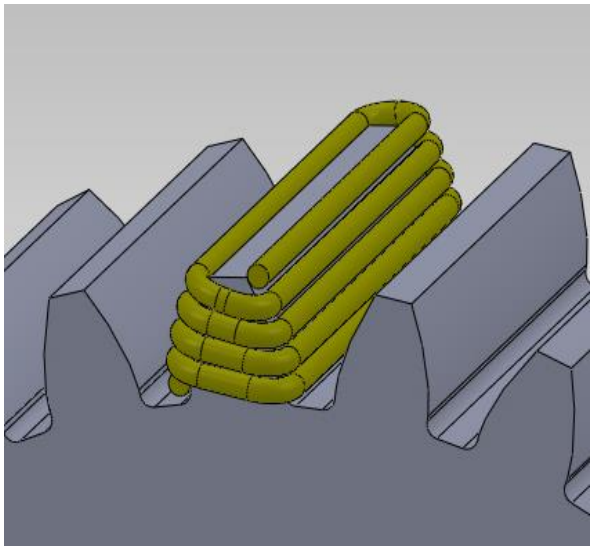


Рис. 1 – 3D модель індуктора

Схема промислової установки (рис.2) створена як промисловий стіл 1, на якому розташовується поворотний стіл 2. Зубчасте колесо 3 кріпиться на 3-х кулачковий патрон 4, який у свою чергу розтискається за допомогою рукояті 5. Поворотний стіл повертається на крок зуба за допомогою крокового двигуна 6. Індуктор 7 закріплений на стійці 8 та здійснює зворотно-поступові рухи за допомогою пневмоциліндра 9 і по черзі надягається на кожен зуб колеса, зміцнюючи поверхневий шар зубів за допомогою магнітно-імпульсної установки 10.

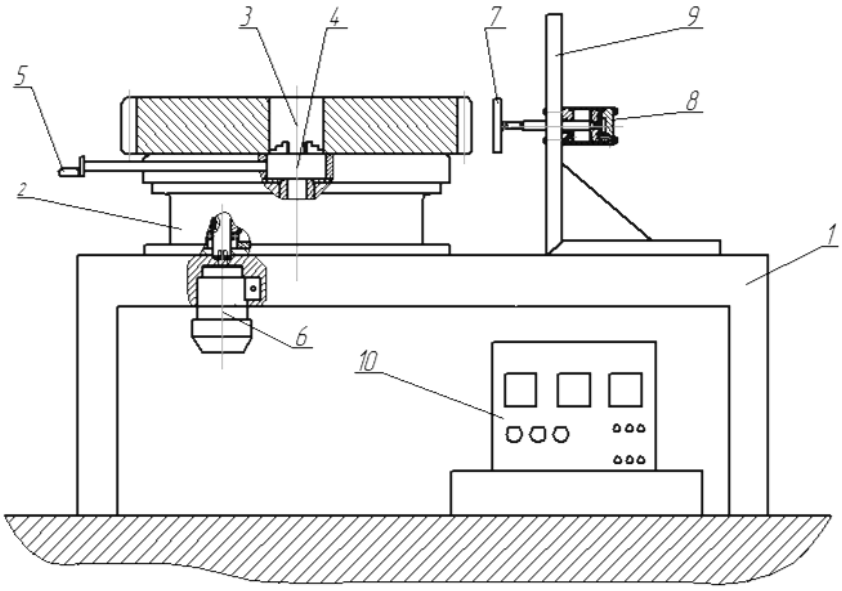


Рис. 2 – Схема промислової установки для МІО зубчастих коліс

Витрати на обробку одного колеса за допомогою МІО:

$$Зміо = \frac{(n_з \cdot (t \cdot n))}{60} \cdot З_E = \frac{(31 \cdot (0{,}4 \cdot 3))}{60} \cdot 3{,}45 = 2{,}139 грн/хв; \quad (1)$$

або 0,035 *грн*

де $n_з$ – кількість зубів ($n_з$ = 31);

t – тривалість одного імпульсу з урахуванням наведення зарядного пристрою (t = 0,4 с);

n – кількість імпульсів (n =3);

$З_э$ – вартість електроенергії ($З_E$ =3,45 грн. за 1 кВ*г [3]).

Сумарні витрати на одне колесо становлять:

$$\sum З = Зміо + Ср = 0{,}035 + 0{,}005 = 0{,}04 грн; \quad (2)$$

де *Ср* – вартість роботи з урахуванням амортизації.

Витрати на термічну обробку одного колеса:

$$З_{Т.О.} = (З_г \cdot t) \cdot Соб_г = (90 \cdot 10) \cdot 49{,}85 = 44989 грн; \quad (3)$$

де $З_г$ – витрата газу (90 м^3/г);

t – час роботи печі (t = 10 г);

$Соб_г$ – собівартість природного газу за 1 м^3 (49,85 грн) [4].

Сумарні витрати на одне колесо становлять:

$$\sum Зк = \frac{З_{Т.О.} + Ср}{n} = \frac{44865 + 124{,}5}{12} = 3749{,}12 грн; \quad (4)$$

де *Ср* – вартість роботи печі з урахуванням амортизації;

n – кількість одночасно оброблюваних деталей.

Економічний ефект колосально вищий при застосуванні МІО, ніж при звичних методах обробки.

Список посилань

1. Малыгин Борис Вадимович. Магнитное упрочнение инструмента и деталей машин / Б. В. Малыгин. – М. : Машиностроение, 1989. – 112 с. : ил. - ISBN 5-217-00448-7

2 Энциклопедия механика: классификация повреждений зубчатых колес [Електронний ресурс]. – Режим доступа: http://toir.inf.ua/manual/td_001

3. Мінфін [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://index.minfin.com.ua/ua/tariff/electric/prom/

4. Мінфін [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://index.minfin.com.ua/tariff/gas/prom/

УДК 621-192

Кіяновський М.В., докт. техн. наук, професор
Цивінда Н.І., канд. техн. наук, доцент
Криворізький національний університет, kyanovskiy.m.v@knu.edu.ua

ОЦІНКА РЕСУРСУ МАШИН, ЩО ВТРАЧАЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ЗА МОДЕЛЛЮ «НАКОПИЧЕННЯ ПОШКОДЖЕНЬ»

Для кожного процесу руйнування чи пошкодження деталей існують енергетичні межі, перехід за які обумовлює зростання інтенсивності швидкості спрацювання обладнання. Зношення робочих поверхонь обумовлюють параметри тертя, які досить активно контролюються в експлуатації для визначення величини зношення, швидкості та інтенсивності зношування, призначення термінів та заходів ремонтного відновлення[1].

Робота сил тертя на поверхнях тертя в першу чергу залежить від коефіцієнту тертя і факторів, що визначають рівень сил тертя. З одного боку зниження витрат на подолання сил тертя визначається досконалістю роторних механізмів і машин, що застосовуються у технічних системах, з іншого постійною увагою персоналу експлуатації до запобігання впливу факторів, що можуть змінити вид і режими тертя і зношування працюючого механізму незалежно від його досконалості. Наведені факти показують, що подолання сил тертя і втрата ресурсу поверхонь тертя мають свої об’єктивні закономірності, але механізм цих втрат повинен стати зрозумілим і підлягати свідомому керуванню в експлуатації.

Метод вібродіагностичного моніторингу зручний тим, що об'єкт діагностики в цьому випадку має одномірний простір діагностичних ознак, а сам діагностичний параметр „*X”* інтегрально виражає вплив на технічний стан обладнання багатьох його дефектів і несправностей.

Діагностичну оцінку додаткових енергетичних витрат на забезпечення працездатності технологічних агрегатів доцільно провести з використанням визначеного критерію енергетичного забезпечення працездатності „*X”*. Під працездатністю [2] розуміють стан об'єкта, при якому він здатний виконувати покладені на нього функції з параметрами встановленими вимогами технічної документації.

Авторами була розроблена технологія діагностування процесів утворення та розвитку локальних дефектів на поверхні тертя, коли кожний вузол системи розглядається як механічний резонатор локального дефекту з амплітудою впливу, зворотно пропорційною відстані від джерела.

Якщо відомі “fc- власні частоти" слабих вузлів механізму і частоти прокочування дефектів, то можна використати наступну схему постановки діагнозу:

1 - зняття АЧХ механізму і визначення *fc* вузлів, найбільш схильних до зносу і поломок;

2 - визначення частот попадання дефектів слабого вузла в зону контакту;

3 - формування еталонного n-мірного вектора спектральних відліків *k f* - амплітудної огинаючої віброакустичного сигналу в зоні власної частоти вузла при його нормальному стані;

4 - періодично проводиться порівняння поточного вектору з еталонним;

5 - вихід за межі допустимих значень близькості векторів, отриманих на етапі навчання, служить сигналом про розвиток локального дефекту в даному вузлі.

Для визначення працездатності технологічної машини вводиться в розгляд вектор її параметрів працездатності $R=\{r_1, r_2 ... r_m\}$. При цьому технічний стан технологічних машин оцінюється множиною (m) параметрів r_i, зміна яких за час напрацювання приводить до збільшення енергетичних витрат.

У теорії надійності, експлуатаційні властивості механізмів і машин, а, відповідно і витрати додаткової енергії на забезпечення їх працездатності, визначаються за допомогою використання апарату теорії ймовірностей, математичної статистики для встановлення

часових закономірностей зміни стану відповідного об’єкту дослідження. Методи математичної статистики, теорії ймовірностей вивчають масові явища і отримані результати розповсюджуються на об'єкти, які можуть входити в генеральну сукупність. На цій базі створювалися існуючі системи контролю за динамікою зміни технічного стану і профілактичного обслуговування. Проте для конкретної машини характерні цілком конкретні фізичні і хімічні процеси, що протікають в матеріалах деталей механізмів при їх експлуатації і що спричиняють старіння матеріалів і їх знос, пошкодження і руйнування елементів [3].

Ці процеси обумовлюють конструктивні, технологічні і експлуатаційні чинники, які при побічному визначенні можна представити у вигляді вектору-стовпця $X=\{ x_1, x_2.... x_к\}$. Тоді технічний стан машини можна розглядати як векторний випадковий процес $R(t)=L(x, t)$, де L-оператор впливів факторів процесів спрацювання і якості експлуатації, t - час дії чинника x_i на параметри r_i. В теорії надійності таке визначення технічного стану об'єкта передбачає, що між параметрами працездатності і чинниками впливів $x_i(t)$ існують не функціональні, а імовірні залежності. Такий підхід, при повній його коректності довго визначав і обґрунтовував витратні технології експлуатації систем технологічних машин, розповсюджуючи на регламент експлуатації конкретної машини, правила функціонування статистичної сукупності машин.

В проведених дослідженнях зроблена спроба оцінити технічний стан машини виходячи з передумови, що в залежності $R(t)=L(x, t)$, де L - оператор зв'язку факторного простору X і простори параметрів працездатності R, мають функціональні співвідношення. Це можливо, якщо використати множини статичних параметрів типу температури, тиску та ін., що визначаються для конкретної машини, у поєднанні з інтегральною оцінкою динамічних реакцій машини, механізму або вузла на її робочий процес. Ці динамічні реакції є результатом взаємодії деталей механізму в процесі його функціонування і являють собою механічні коливання і пружні хвилі машини, що розповсюджуються по конструктивних елементах. Ці реакції інструментально вимірюються у вигляді фізичних параметрів: зміщень, швидкостей, прискорень контрольних точок машини.

Таким чином, всяка зміна параметрів працездатності конкретної машини приводить до зміни характеру взаємодії її елементів, тобто існує функціональний зв'язок між технічним станом машини і сукупністю статичних і динамічних параметрів конкретної машини. Зміна параметрів працездатності конкретної машини під впливом різних дефектів і несправностей відбувається на фоні зміни статичних параметрів функціонування машини, а також частотних і динамічних діапазонів коливальних процесів, які нарівні з інерційністю статичних параметрів, практично вмить реагують на зміну технічного стану машини. Наявність оперативних даних про технічний стан конкретної машини дає можливість ухвалювати рішення про об'єми, зміст і момент профілактичних і ремонтних впливів з метою забезпечення необхідного рівня енерговитрат на підтримку працездатності машини при мінімумі об'єктивно необхідних матеріальних витрат на їх здійснення.

Список посилань

1. Пояснення процесів втрати працездатності машин за енергетичними прикметами їх фізичної природи/ М.В. Кіяновський, Н.І. Цивінда, О.В. Чернявська Л.І. Лаухіна, І.О. Зуєв // Розвиток промисловості та суспільства: Збірник наукових праць Міжнародної науково-технічної конференції. 19 - 21 травня 2021 р. / Кривий Ріг: Криворізький національний університет, 2021. – С. 84

2. Кіяновський М. В. Вибір моделей для адаптивного керування надійністю промислового обладнання «за станом» / Кіяновський М. В., Цивінда Н. І.,Пікільняк А. В., Третяк В. В. // Авіаційно-космічна техніка і технологія. Науково-технічний журнал. – Харків «ХАІ», 2020. – Випуск № 7(167). – с. 137-146

3. Kiyanovskyi M.V. Control over the technical condition of mechanical components of industrial equipment based on energy parameter of its deterioration / M.V.Kiyanovskyi , N.I. Tsyvinda // Матеріали

Х міжнародної науково-практичної конференції Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» Том 1. – 29 - 30 квітня 2020 р. м. Чернігів. – С.35-37

УДК 621.865.8

Струтинський В.Б., докт. техн. наук, професор,
Юрчишин О.Я., канд. техн. наук, доцент,
Парненко В.С., канд. техн. наук, ст. викладач,
Кравець В.О., аспірант
Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», kvm_mmi@ukr.net

ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ГВИНТОВОГО ЧИСЛЕННЯ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ СТАТИЧНИХ, КІНЕМАТИЧНИХ ТА ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАНІПУЛЯТОРІВ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ

Дослідження характеристик маніпуляторів мобільних роботів є основою розроблення теорії проектування наземних роботизованих комплексів спеціального призначення. Традиційно. характеристики маніпуляторів досліджуються методами теоретичної механіки та динаміки машин. Однак специфіка маніпулятора, що розміщений на рухомому шасі суттєво ускладнює застосування традиційних методів. Основною причиною цього є відсутність фізичної основи для введення абсолютної нерухомої системи координат та методів оцінки точного просторового положення основних елементів маніпулятора.

Ефективність досліджень статичних, кінетичних та динамічних характеристик маніпулятора може бути суттєво підвищена застосуванням елементів теорії гвинтів (гвинтового числення). Теорія гвинтів узагальнює окремі положення статики та кінематики де використовується поняття динамічного гвинта (динами) та кінематичного гвинта (кінети) Узагальнений нормалізований математичний об'єкт у вигляді гвинта об'єднує два різнорідних векторних об'єкти або шість скалярних об'єктів.

Доцільність застосуванння математичних об'єктів типу нормалізованого гвинта для дослідження характеристик маніпуляторів мобільних роботів грунтується на тому, що кожен елемент маніпулятора (схват, важіль, оптичний пристрій, тощо) займає певне положення в просторі і може бути описаний шестивимірним вектором геометричних, кінематичних або динамічних параметрів, Якщо інтерпретувати шестивимірні вектори в термінах теорії гвинтів, то опис характеристик елементів маніпулятора буде являти собою набір взаємопов'язаних нормалізованих гвинтів, зв'язки між якими описують закономірності роботи маніпуляторів в статичних та динамічних режимах. Особливістю застосування методів гвинтового числення є можливість використання локальних систем координат, базиси яких також визначається в термінах теорії гвинтів. При цьому нівелюється необхідність введення і постійного використання базової основної системи координат.

Для опису характеристик маніпуляторів мобільних роботів та їх елементів застосовуються нормалізовані гвинти, які визначають геометричне просторове положення об'єкта, силові фактори, що діють на об'єкт, кінематичні параметри, що характеризують рух об'єкта, зокрема швидкість та пришвидшення. При цьому геометричні гвинти характеризують поточне положення деякої точки об'єкта (номусу) та просторове поперечно-кутове положення об'єкта при його повороті навколо вибраної точки. Силові гвинти є результатом об'єднання головного вектора сил, що діють на об'єкт та головного моменту. При дослідженні характеристик маніпуляторів розрізняють задачу статики, із введенням статичного силового гвинта, та, задачу динаміки, де використовуються змінні в часі нормалізовані гвинти, що описують силове та моментне навантаження на об'єкт. Кінематичні гвинти в узагальненому вигляді описують зміни в часі положення об’єкту (швидкість) та похідну вказаних змін (пришвидшення). Нормалізований кінематичний

гвинт швидкості є результатом об'єднання векторної швидкості поступального переміщення номоса об'єкту та кутової швидкості сферичного руху об'єкта відносно номусу. Нормалізований кінематичний гвинт по пришвидшенню об'єднує пришвидшення поступального руху номусу та пришвидшення сферичного руху навколо номуса.

Нормалізований гвинт в загальному випадку визначено об'єднанням по вертикалі двох векторних комплексів

$$G_r = \begin{bmatrix} \vec{e} \\ \vec{e} \times \vec{r} + h\vec{e} \end{bmatrix}$$

де $\vec{e}$ - одиничний вектор, орієнтований по вісі гвинта G_r;

$\vec{r}$ - радіус вектор локальної системи координат XYZ;

h - скалярна величина, що являє собою параметр гвинта.

Параметр гвинта може набувати нульового або нескінченного значення. Зокрема при h=0 маємо нормалізований гвинт, відповідний застосованим в теоретичній механіці динамічному гвинту (динамі) та кінематичному гвинту (кінеті).

При дослідженні характеристик маніпуляторів застосовані групи гвинтів, зокрема, гвинти, напрямки яких паралельні деякій площині. Введення даної групи доцільно для спрощення опису маніпулятора, важелі якого переміщуються в паралельних площинах. При цьому використовується планарна модель для опису переміщень маніпулятора. Використані як двочленні групи гвинтів так і групи із вищою членністю.

Зв'язки між нормалізованими гвинтами які визначають геометричні, кінематичні та силові характеристики маніпуляторів мобільних роботів визначені певними співвідношеннями. Найбільш поширеним видом зв’язків гвинтових об’єктів є їх лінійна комбінація. Для задач статики лінійні співвідношення між гвинтами як правило відповідають правилам векторної алгебри. Виключенням є великі зміни конфігурації маніпуляторів. При цьому вводяться спеціальні обмеження на операції з гвинтами. Для дослідження статичних і динамічних характеристик маніпуляторів рекомендовано введення груп гвинтів, що утворюють базис в локальній системі координат. Базис із трьох нормалізованих гвинтів у своїй лінійній комбінації утворює довільний нормалізований гвинт для опису відповідних характеристик об'єкта.

Лінійні комбінації гвинтів встановлюють зв'язок між окремими характеристика у вигляді векторно-матричних співвідношень, які є особливо ефективними для дослідження малих змін параметрів маніпуляторів. При цьому визначаються матриці якості для розв'язку прямої та інверсійної задачі кінематики маніпулятора та матриці жорсткості і деформативності, що характеризують статику маніпулятора як просторового механізму. Для дослідження динамічних процесів у маніпуляторах введені диференціальні операції над групами гвинтів. Вони встановлюють співвідношення між геометричними, кінематичними та динамічними характеристиками маніпуляторів описаними в термінах гвинтового числення. В лінійній постановці дані операції подаються в операторній формі шляхом застосування перетворення Лапласа для нормалізованих гвинтів, компоненти яких є функціями часу. Операторна форма суттєво спрощує розв'язок задач динаміки маніпулятора. Для невеликих змін параметри динамічного процесу в маніпуляторах описуються матрицями передавальних функцій, що пов'язують гвинтові об’єкти динамічних переміщень із динамічними навантаженнями на маніпуляторі.

В результаті проведених досліджень встановлено, що застосування методів гвинтового числення суттєвим чином підвищує ефективність методів дослідження характеристик маніпуляторів мобільних роботів. В першу чергу, це стосується задач динаміки роботів, які розв'язати класичними методами як правило неможливо.

УДК 621.865.8

Струтинський В.Б., докт. техн. наук, професор,
Юрчишин О.Я., канд. техн. наук, доцент,
Родін Р.П., канд. техн. наук,
Кравець О.М., канд. техн. наук, доцент,
Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», kvm_mmi@ukr.net

ОКРЕМІ АСПЕКТИ ТЕОРІЇ ПРОЕКТУВАННЯ МАНІПУЛЯТОРІВ НАЗЕМНИХ РОБОТИЗОВАНИХ КОМПЛЕКСІВ

Наземні роботизовані комплекси спеціального призначення оснащуються маніпуляторами, які виконують операції із небезпечними об'єктами в режимі телекерування. Це зумовлює ряд специфічних вимог до маніпуляторів. Зокрема, маніпулятори роботизованих комплексів повинні мати мінімальну масу і значну вантажопідйомність. Необхідно передбачити захист маніпуляторів від негативного впливу кліматичних умов та умов токсичного навколишнього середовища. Особливими умовами є забезпечення надійного огляду об'єкта маніпулювання та визначення положення маніпулятора в цілому при значних змінах положення шасі наземного роботизованого комплексу.

Виконання поставлених вимог частково здійснено в наявних конструкціях наземних роботизованих комплексів імпортного виробництва, зокрема в ряді мобільних роботів TALON, Vanguard, PackBot. Маніпулятори даних роботів мають значну вантажопідйомність та відзначаються надійністю роботи. Для суттєвого підвищення ефективності роботи маніпуляторів наземних роботизованих комплексів на кафедрі конструювання машин КПІ ім. Ігоря Сікорського розроблено ряд основних положень теорії проектування маніпуляторів наземних роботизованих комплексів спеціального призначення. Вони включають розроблення схемних рішень маніпуляторів. Запропоновані як традиційні схеми з розімкненими кінематичними ланцюгами, так і схемні рішення маніпуляторів мобільних роботів із паралельними кінематичними зв'язками. Раціональним схемним рішенням є запропоновані гібридні схеми, які поєднують розімкнену схему маніпулятора для реалізації великих переміщень (макропереміщень) та механізм з паралельними кінематичними структурами для точних переміщень схвата маніпулятора в обмеженому діапазоні (механізм мікропереміщень). Запропоновано ряд варіантів інноваційних схемних рішень маніпуляторів мобільних роботів, що реалізують гібридні схеми. Перспективним є застосування кількох маніпуляторів, що об'єднані в систему із забезпеченням синергетичної взаємодії окремих маніпуляторів.

Запропоновані схемні рішення доведені до конструктивного використання. При цьому уточнені схемні рішення та розв'язано ряд задач створення маніпуляторів з особливими функціональними можливостями. Зокрема розроблені схемні і конструктивні рішення маніпуляторів із композитних матеріалів, що не мають магнітних властивостей. Дані схемні рішення реалізовані на основі просторових оболонок, армованих відповідними ребрами жорсткості. Вони забезпечують максимальну вантажопідйомність при мінімальній масі маніпулятора.

Конструктивні рішення маніпуляторів побудовані на уніфікованій схематичній базі. Вона включає одновісні шарніри, агрегатовані із приводами на основі мотор-редукторів і хвильовими зубчастими передачами. В окремих випадках застосовані редуктори інших типів, зокрема циклоїдальні. Елементна база є основою розробленої теорії проектування маніпуляторів наземних роботизованих комплексів. Обґрунтовані конструктивні рішення типових вузлів і агрегатів маніпуляторів, які забезпечують необхідні параметри точності, жорстокості та енергоефективності. Основними типовими вузлами є шарнірні з'єднання важелів маніпулятора, які мають дві і більше ступенів вільності. Раціональними

конструкціями шарнірів є пристрої, що виключають точні сфери із надтвердих матеріалів (нітрид бора та інші). До типових вузлів віднесені також комплектні приводні, диференціальні механізми, телескопічні пристрої, муфти, що забезпечують механічне з'єднання важелів маніпулятора. Елементна база включає сервісні та допоміжні пристрої та механізми їх орієнтації. Важливою складовою елементної бази є елементи електричних з'єднань, комунікації, роз'ємні елементи, оснащені спеціальними засобами захисту.

Важливими аспектом теорії проектування маніпуляторів наземних роботизованих комплексів є комплектація маніпулятора спеціальними захватними пристроями. Запропонована гама захватних механізмів різного виду. Раціональними, з точки зору використання в мобільних роботах, є захватні пристрої із гнучкими пальцевими елементами. Для роботи з небезпечними об'єктами рекомендовано захватні пристрої вакуумного типу. Вони мають еластичну оболонку заповнену сипучим матеріалом спеціального виду. При створенні розрідження (вакууму) в оболонці, вона адаптується до об'єкту маніпулювання, забезпечуючи його надійне утримання.

Розроблені основні положення теорії проектування маніпуляторів наземних роботизованих комплексів апробовані шляхом розроблення експериментальних зразків мобільних роботів. На основі дослідної перевірки проведена корекція розроблених методів проектування, уточнено склад елементної бази та запропоновані методики розрахунку основних конструктивних параметрів маніпуляторів. Сформульовані напрямки подальших робіт по вдосконаленню теорії проектування маніпуляторів. Основним напрямком прийнято уточнення положень теорії проектування маніпуляторів мобільних роботів різних масо-габаритних класів. Планується розвиток теорії проектування маніпуляторів для виконання вузькоспеціалізованих операцій із небезпечними об'єктами. Для підвищення ефективності проектних рішень рекомендується використати блочно-модульні методи реалізації проектних рішень маніпуляторів наземних роботизованих комплексів.

УДК 621.91

Дмитренко Н.Р., аспірантка
Євтухов А.В., канд. техн. наук, доцент
Сумський державний університет, evtuhov.a@tmvi.sumdu.edu.ua

ПРО ПЕРЕВАГИ ВИКОРИСТАННЯ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ У КОНСТРУКЦІЯХ ВЕРСТАТІВ ТА ВЕРСТАТНИХ ПРИСТРОЇВ

Зростання вимог до сучасних технологічних обробних систем потребує покращення їх статичних та динамічних характеристик, що зокрема реалізується через зменшення маси їх рухомих елементів, збільшення жорсткості їх опорних елементів та забезпечення високих демпфірувальних властивостей конструкцій.

Корпусні елементи більшості верстатів серійного виробництва виготовляють з чавуну. Вони легко відливаються, мають гарні демпфірувальні властивості та є відносно дешевими. Однак, у випадку спеціальних та великогабаритних верстатів, виготовлених окремо під конкретне замовлення, використання чавуну для корпусних елементів не є економічно вигідним. Тому корпусні елементи таких верстатів зазвичай виготовляють зварюванням зі сталі, що негативно впливає на вібростійкість елементів конструкції через наявність порожнистих балок з великим перерізом та тонкими стінками [1].

Гібридна конструкція корпусних елементів, що поєднує в собі жорсткість сталі або чавуну з демпфірувальними властивостями композитного наповнення може бути гарною альтернативою для виготовлення спеціальних верстатів. В роботі [2] автори підтверджують ефективність використання композитних матеріалів (КМ), армованих вуглецевими волокнами на прикладі конструкції фрезерного верстата. Використання КМ в досліджуваній конструкції, зокрема, дозволяє забезпечити її високу жорсткість при зменшенні маси на 48,5 %.

Використання КМ є доцільним і в конструкціях верстатних пристроїв, що застосовують для установлення заготовок під час їх оброблення. Під час експлуатації пристрої піддаються значним статичним та динамічним навантаженням, тож зменшення маси та зниження моментів інерції має позитивний вплив на ефективність їх використання. Завдяки низькому тепловому розширенню, високій динамічній жорсткості та демпфірувальним властивостям КМ дозволяють забезпечити стабільно високу точність установлення заготовки. Так, результати практичних досліджень [3] підтверджують, що використання елементів із КМ в конструкціях корпусів затискних пристроїв забезпечує набагато вищі власні частоти та коефіцієнти демпфірування порівняно з конструкціями із сталевими елементами.

Висновок: використання КМ в конструкціях верстатів та верстатних пристроїв має великий потенціал щодо підвищення продуктивності та точності оброблення заготовок.

Список посилань

1. Dunaj, P., Okulik, T., Powałka, B., Berczyński, S., Chodźko, M. Experimental Investigations of Steel Welded Machine Tool Bodies Filled with Composite Material. In: Gapiński, B., Szostak, M., Ivanov, V. (eds) Advances in Manufacturing II. *MANUFACTURING 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. 2019. P. 61-69.

2. Aggogeri, F., Borboni, A., Merlo, A., Pellegrini, N., Ricatto, R. Vibration Damping Analysis of Lightweight Structures in Machine Tools. *Materials*. 2017, Vol. 10. P. 297.

3. Anyfantis, K., Foteinopoulos, P., Stavropoulos, P. Design for Manufacturing of Multi-material Mechanical Parts: A Computational Based Approach. *Procedia CIRP*. 2017. Vol. 66. P. 22-26.

УДК 621.9

Колос В.О., аспірант,
Іванов В.О., докт. техн. наук, професор,
Павленко І.В., докт. техн. наук, професор,
Сумський державний університет, Україна ivanov@tmvi.sumdu.edu.ua,
Ботко Ф., д-р філософії, доцент,
Гатала М., д-р філософії, професор,
Технічний університет м. Кошице, Словаччина

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВИБОРУ СХЕМИ БАЗУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ КРОНШТЕЙНИ

Запропонована конструкторсько-технологічна класифікація [1] дозволяє описати будь-яку деталь типу кронштейни за конструкторсько-технологічними ознаками. У результаті 11 ознак були визначені як суттєві параметри для визначення схеми базування. Це важливий етап у переході від конфігурації деталі до створення конкуруючих варіантів компонувань верстатних пристроїв у системі автоматизованого проектування.

Для кожної деталі типу кронштейни можна запропонувати декілька теоретичних схем базування. Вибір схеми базування залежить від геометричної форми та конструктивних ознак деталей, точності розмірів, форми та розташування поверхонь одна відносно іншої, якості та шорсткості поверхонь.

Математична модель [2] для раціонального вибору схеми базування базується на наступному матричному рівнянні:

$$[\Psi] = [\Xi][W], \tag{1}$$

де [Ψ] – матриця схеми базування;

[Ξ] – матриця конструктивно-технологічних ознак;

[W] – матриця перетворення.

Рівняння (1) можна застосувати до прямокутної матриці $[W]$ з розмірністю $n \times m$. Його елементи визначаються на основі попереднього практичного досвіду проєктування m різноманітних схем базування для N типових деталей. Відповідний вираз для матриці $[W]$ можна записати відповідно до рівняння регресії:

$$[W] = ([\Xi]^T[\Xi])^{-1}[\Xi]^T[\Psi], \tag{2}$$

Для уніфікації підходу чисельного розрахунку доцільно використовувати нормовані значення для всіх елементів матриць $[\Psi]$. Це означає, що кожен елемент Ψ_{Nm} коливається від 0 до 1. У цьому випадку $\Psi_{N,\,m} = 1$ означає, що m-та схема розташування рекомендована лише для N частини. Крім того, в обов'язковому порядку слід дотримуватися правила нормалізації:

$$\sum_m \Psi_{N,m} = 1. \tag{3}$$

Однак використання цієї формули для матриці $[\Xi]$ не є обов'язковим через наявність кількох ознак в одній частині. Проте, рекомендується використовувати кожен елемент $\Xi_{N,\,n}$ в діапазоні від 0 до 1. Якщо N частина має $k \geq 2$ різних ознак, значення $\Xi_{N,\,n}$ змінюються в межах наступного різноманіття $\{0,1/(\,k\text{-}1),2/(k\text{-}1),\ldots,1\}$ з k раціональних чисел.

Після оцінки матриці $[W]$ нормований коефіцієнт прийняття рішень m схеми базування для кожної N частини базується на векторі $\{Y\}$ коефіцієнтів, визначених таким чином:

$$Y_m^{(N)} = \frac{|\{W^{<m>}\}^T \cdot (\{\Xi\}^T)_N|}{\sum_m |\{W^{<m>}\}^T \cdot (\{\Xi\}^T)_N|}. \tag{4}$$

Під час прийняття рішення для N частини рекомендується серед усіх значень $Y_{N,\,m}$ вибрати j локаційну діаграму з максимальним значенням $Y_{N,\,j}$.

Прийняття рішення для деталі з n конструктивними та технологічними особливостями, відмінними від будь-якого рядка матриці $[\Xi]$, визначається наступним чином:

$$\{Y\} = \frac{[W]^T\{X\}}{\sum_m([W]^T\{X\})_m}, \tag{5}$$

де $\{X\}$ – стовпець-вектор $n \times 1$ конструктивно-технологічних особливостей довільної частини;

$\{Y\}$ – вектор стовпця $m \times 1$.

У дослідженні прийняті такі обмеження: кількість проведених чисельних експериментів не менша загальної кількості конструкторсько-технологічних ознак; мінімальна вага деталі – 1,2 кг, максимальна – 2,9 кг; матеріал деталей – сталь і чавун; діапазон точності поверхонь від H6 до H11; габаритні розміри деталей варіювалися від 48x44x40 мм до 187x189x149 мм; шорсткість поверхні в діапазоні значень Ra = 1,25–3,2. Розроблена методика враховує різні види матеріалів: сталь AISI 3135 та чавун DIN 1691. Її перевірку проведено на прикладі деталей типу кронштейни. Порівняльний аналіз отриманих результатів довів, що розрахункове рішення відповідає варіанту, призначеному експертом у більшості випадків. Досліджено практичну реалізацію розробленого наукового підходу з використанням деталей типу кронштейни для автомобільної промисловості. Подальший розвиток дослідження пов'язаний із інтеграцією розробленого наукового підходу в систему автоматизованого проєктування верстатних пристроїв.

Наукові результати отримано в рамках виконання спільного українсько-словацького науково-дослідного проєкту «Удосконалення технологічної підготовки виробництва за рахунок автоматизації процесу проєктування верстатних пристроїв». Дослідження виконано за часткової підтримки International Association for Technological Development

and Innovations (IATDI) та Науково-навчального центру промислового інжинірингу (Сумський державний університет).

Список посилань

1. Ivanov V., Kolos V., Liaposhchenko O., Pavlenko I. Technological assurance of bracket-type parts manufacturing. Proceedings of the 5th EAI International Conference on Management of Manufacturing Systems, Cyberspace, 27–28 October 2020; Knapčíková, L., Peraković, D., Behúnová, A., Periša, M., Eds.; EAI/Springer Innovations in Communication and Computing; Springer: Cham, Switzerland, 2022; pp. 397–409. DOI: 10.1007/978-3-030-67241-6_31.

2. Ivanov V., Botko F., Kolos V., Pavlenko I., Hatala M., Antosz K., Trojanowska J. Locating Chart Choice Based on the Decision-Making Approach. Materials, 2022, 15, 3557, DOI: 10.3390/ma15103557.

УДК 621.96

Онисько О.Р, докт. техн. наук
Одосій З.М., канд. техн. наук
Пастух А.А., студент
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
oleh.onysko@nung.edu.ua

АНАЛІЗ ФОРМУВАННЯ ЗАМКОВОЇ НАРІЗІ ЗА ДОПОМОГОЮ ГРЕБІНОК

У науковій і навчальній літературі рекомендують виконувати гребінки із нульовим значенням переднього кута [1]. Ряд наукових публікацій дають дані про дослідження сил різання на різних витках гребінки і за різних значень переднього кута і кута нахилу різальної крайки [2], [3]. У випадку, що стосується конічних замкових нарізей застосування гребінок має наступні недоліки:

– заперечується універсальність цього інструменту, оскільки для різних типорозмірів замкових нарізей створюється різні за значенням кути підйому гвинтової лінії наприклад на її першому витку;

– усі різальні крайки працюють у різних умовах оскілки на кожному витку свій підйом, а у гребінки фіксований спільний на усі крайки кут нахилу λ. На рис.1. показано схему установки різальної крайки гребінки ABC під кутом λ. З ілюстрації ясно, що тільки на витку A проекція різальної крайки є перпендикулярною до витка нарізі, оскільки витки B і C у конічної нарізі із постійним кроком мають інші за значенням підйом;

– різальна крайка із нульовим значенням переднього кута і заданим значенням кута нахилу λ (рис. 1) не проходить через вісь нарізі, а відповідно до [3] створює відкриту конволютну, а не закриту архімедову гвинтову поверхню.

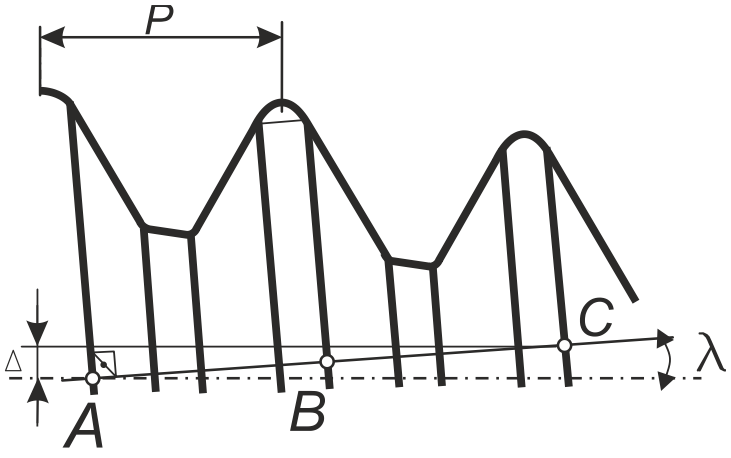


Рис. 1 – Схема різальної частини нарізевої гребінки

Величина відхилів осьового перерізу отриманого конволютного гвинта відрізнятиметься від заданого на кресленику архімедового від заданого у залежності від величини λ і відстані між точками різальної крайки. Наприклад точка *B* лежить на відстані кроку *P* від точки *A*, а точка *C* – на відстані *2P*. Отже похибка половинного профільного кута $\alpha/2=30°$ нарізі буди більшою коли її формує точка *C*, від тієї, яку формує точка *B*, оскільки вертикальний відхил Δ у ній має більше значення (рис. 2). Отже похибка профільного кута $\alpha/2=30°$ нарізі буди більшою коли її формує точка *C*, від тієї, яку формує точка *B*, оскільки вертикальний відхил Δ у ній має більше значення.

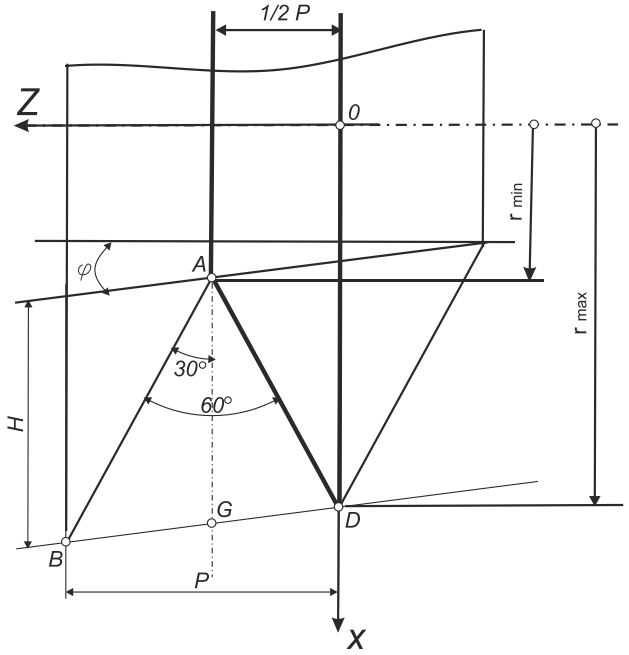


Рис. 2 – Схема замкової нарізі

Для визначення похибки можна застосувати рівняння визначення уточненого кута $\alpha_1/2$ профілю нарізі [4]:

$$tg\frac{\alpha_1}{2}=\frac{P\cos\lambda\cos\eta}{2H}=\frac{P\cos\lambda}{2H}\cos\left[arctg\frac{P\sin\lambda}{2H}\right], \quad (1)$$

де

$$\eta=arctg\left[\frac{P\sin\lambda}{2H}\right]. \quad (2)$$

Список посилань

1. Грановский Г. И., Грановский В. Г. Резание металлов: учебн. для машиностр. и приборостр. спец-ей вузов. Москва: Высшая школа, 1985. 304 с.

2. Антипенский, Р.В. Разработка моделей случайных сигналов [Текст] / Р. В. Антипенский // Компоненты и технологии. – 2007. – № 11. – С. 146 – 151. Добрянський С. С. Визначення сил різання при нарізуванні різьб головками. *Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Сер. машинобудування.* 2012. № 66. С. 17–20.

3. Kopei V., Onysko O., Panchuk V. Computerized system based on FreeCAD for geometric simulation of the oil and gas equipment thread turning. *6-th International Conference of Applied Science*: Book of abstracts, 9-11 may 2018. Banja Luka, 2018. P. 108.

4. Онисько О. Р., Войтенко П. І., Костюк Н. О. Алгоритм визначення величини відхилення профілю різьби виконаної різцем з ненульовим значенням кута нахилу різальної кромки. *Наукові нотатки. Міжвузівський збірник.* 2015. Вип. 50. С. 137–144.

УДК 005.1

Копей В. Б., докт. техн. наук, професор
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, vkopey@gmail.com

СИНТЕЗ PLM-СИСТЕМ РІЗЬБОВИХ З'ЄДНАНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Система інформаційної підтримки життєвого циклу виробу (PLM-система) складається з множини пов'язаних гетерогенних інформаційних ресурсів (IP), які призначені для підвищення рівня якості та зменшення витрат на різних етапах життєвого циклу виробу. Зокрема PLM-система різьбових з'єднань нафтогазового обладнання [1] може містити такі IP: геометричні моделі різьбових з'єднань (CAD-компоненти), скінченно-елементні моделі (FEA-компоненти), бази знань з проблем надійності, результати моделювання, статистичні дані про відмови, системи автоматизованого проектування технологічних процесів (CAM-компоненти) та інші. Відповідно до принципу ізоморфізму загальносистемних закономірностей якісна PLM-система повинна володіти такими закономірностями як цілісність (емерджентність і адитивність), ієрархічність та історичність [2]. Тоді якість PLM-системи повинна залежати від якості відношень її IP. Зазвичай для синтезу ефективних компонентів PLM-системи користуються досвідом. Наприклад відомо, що поєднання CAD- та FEA-компонентів є ефективним і ця пара має спільну ціль – виявлення оптимальних параметрів конструкції. Для пошуку таких емерджентних груп автором запропоновано використовувати сучасні алгоритми класифікації, які відомі у галузі машинного навчання. Для кожного IP виявляють множину його бінарних ознак $X=\{x_1, x_2, ..., x_n\}$. Значення кожної ознаки отримується шляхом класифікації методом дихотомії. Наприклад з'ясовують, чи IP «геометрична модель» призначено для розв'язування статичних задач. Якщо так, то $x_1=1$ (статика). Якщо ні, то $x_1=0$ (динаміка). Множина ознак повинна бути достатньо повною, щоб цілісно характеризувати PLM-систему. Деякі ознаки наведено у праці [2]. Складають матрицю ознак (табл. 1), де x_i - бінарна ознака IP p_j.

Таблиця 1 – Дані для задачі класифікації IP

IP	x_1	x_2	...	x_n	y_1
p_1	0	1	...	1	0
p_2	1	0	...	1	1
...	...	...	...		
p_m	0	1	...	0	0
p_k	1	0	...	0	?

В останньому стовпчику записують y_1 – відомий клас відношень з ресурсом p_1 (0 - дисенергія, 1 - синергія). В останньому рядку таблиці записують ознаки нового ресурсу p_k, клас y_1 якого не відомий. Для визначення цього класу застосовують один з алгоритмів класифікації машинного навчання (метод k-найближчих сусідів, метод дерев рішень, ансемблеві методи, штучні нейронні мережі або інші методи). Запропонований автором метод класифікації інформаційних ресурсів планується використати для розроблення PLM-системи різьбових з'єднань нафтогазового обладнання.

Список посилань

1. Kopei V.B., Onysko O.R., Panchuk V.G. Principles of development of product lifecycle management system for threaded connections based on the Python programming language // J. Phys.: Conf. Ser. Vol.1426. 2020. 012033.

2. Копей В. Б. Абстрактна модель інформаційної системи підтримки життєвого циклу виробу // Прикарпатський вісник НТШ. Число. №2(38). 2017. С.71-96.

УДК 62-526

Копей В. Б., докт. техн. наук, професор
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, vkopey@gmail.com
Ярема М. А., студент

ДОСВІД ВИВЧЕННЯ РОБОТОТЕХНІКИ З ВИКОРИСТАННЯМ ПЛАТФОРМИ ARDUINO І МОВИ ПРОГРАМУВАННЯ PYTHON

Вивчення робототехніки і мехатроніки є більш ефективним, якщо кожний студент має доступ до різноманітних і недорогих компонентів для побутових мехатронних систем, а також знає основи програмування якою-небудь алгоритмічної мовою. Arduino – це одна з найбільш доступних, простих і популярних платформ для створення мехатронних систем. Набір для створення мобільного робота можна придбати орієнтовно за 15 $. Такий набір містить плату Arduino Uno [1], двигуни постійного струму з редукторами, драйвер двигунів, сервопривід, ультразвуковий сенсор відстані, корпус і кріпильні елементи. Зазвичай програма, яка керує роботом, завантажується в мікроконтролер ("прошивається") і виконується ним. Але є можливість керувати роботом за програмою, яка виконується на персональному комп'ютері. Основною перевагою цього методу є те, що немає обмежень пов'язаних з низькою продуктивністю мікроконтролера, обсягом його пам'яті та граничною кількістю "прошивань". У зв'язку з цим є можливість зручного відлагодження програм і візуалізації виведення даних, а також можливість застосування мов програмування надвисокого рівня (наприклад Python) та їхніх різноманітних бібліотек, які, зокрема, реалізують алгоритми обробки даних, оптимізації, машинного зору чи машинного навчання.

Обмін даними між Arduino та ПК відбувається за допомогою протоколу Firmata – загального протоколу для комунікації мікроконтролерів з головним комп'ютером [2]. Для цього в Arduino завантажується скетч StandardFirmata, а Python-програма використовує пакет pyFirmata. Для роботи ультразвукового сенсора слід використовувати модифіковані варіанти цих програм [3, 4].

Авторами розроблено Python-програму, яка являє собою простий приклад для ідентифікації роботом об'єкта шляхом сканування простору ультразвуковим сенсором та застосування алгоритмів машинного навчання. Програма використовує алгоритм градієнтного бустінга для задачі класифікації з Python-пакету scikit-learn 0.19 [5]. Вихідний код розробленої програми доступний на GitHub [6].

За допомогою Python авторами розроблено також простий веб-сервер для віддаленого запуску програм, які керують роботами. Наявність сервера дозволяє авторизованим студентам, які не мають власного робота, програмувати та відлагоджувати програму спостерігаючи за рухом віддаленого робота через веб-камеру.

Розроблену систему можна використовувати як основу для побудови складніших роботів шляхом використання додаткових сенсорів і актуаторів, а також Python-пакетів.

Список посилань

1. Arduino Uno Rev3. – Available at: https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3.
2. firmata/protocol. – Available at: https://github.com/firmata/protocol.
3. jgautier/arduino-1 – Available at: https://github.com/jgautier/arduino-1/tree/pulseIn.
4. tino/pyFirmata: Support for Ping (pulseIn Firmata) and other improvements #45 – Available at: https://github.com/tino/pyFirmata/pull/45/files.
5. Scikit-learn: Machine Learning in Python / Pedregosa et al. // JMLR 12. – 2011. – pp. 2825-2830.
6. vkopey/mechatronics3: Simple mobile robot based on Arduino, Python, pyFirmata and scikit-learn. – Available at: https://github.com/vkopey/mechatronics3.

УДК 629.7.02:539.67

Мозговий О.В., канд. техн. наук, доцент
Вінницький державний педагогічний університет ім. М. Коцюбинського, mavimfto@gmail.com

ВПЛИВ ВУГЛЕЦЕВИХ НАНОМОДИФІКАТОРІВ НА РОЗСІЮВАННЯ МЕХАНІЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ПОЛІМЕРНИМИ ВУГЛЕПЛАСТИКАМИ

Досліджувався вуглепластик на основі вуглецевої тканини УТ 900 саржевого плетіння і високомодульної односпрямованої вуглецевої стрічки ЕЛУР. Зв'язуючим була епоксидна термореактивна смола ЕД20. Вуглепластики отримували методом викладки з подальшим гарячим пресуванням.

Модифікували вуглепластики з метою підвищення їх фізико-механічних характеристик стандартними вуглецевими нанотрубками (ВНТ) та вуглецевеми наночастинками (ВНЧ). Використання технології ультразвукового перемішування дозволило отримати рівномірне розподілення вуглецевих наномодифікаторів у епоксидному зв'язуючому. Вміст наномодифікаторів у зв'язуючому складав 1,3 – 1,5% мас. (4 – 5 % мас. по зв'язуючому).

Внутрішнє тертя композитів вимірювали оберненим крутильним маятником (частота близько 1 Гц) при збільшенні та зменшенні амплітуди деформації. Механічні згасаючі коливання звукової частоти зразків із ПКМ вивчали на спеціально виготовленій установці, що дозволяє записувати розгортку затухаючих коливань на комп'ютер [1] і подальшій обробці отриманих даних розробленою програмою Damping.

У роботі [2] показано, що величина розсіювання механічної енергії залежать від складу і структури вуглецевих гібридних полімерних композиційних матеріалів (ПКМ).

Використання у невеликій кількості (1,3-1,5% мас.) вуглецевих наномодифікаторів ВНТ та ВНЧ при збереженні густини призвело до збільшення модуля пружності на 50-60% у порівнянні з вихідним ПКМ на основі армуючої вуглецевої тканини УТ 900 та зв'язуючого ЕД20. Дослідження амплітудної залежності внутрішнього тертя (АЗВТ) не виявили великого впливу величини змінної деформації на розсіяння механічної енергії усіх досліджуваних вуглекомпозитів. Спостерігається незначне зростання величини внутрішнього тертя у досліджуваному діапазоні амплітуд: для вихідного ПКМ і з модифікатором ВНТ на 10-12% і для вуглепластика з модифікатором ВНЧ на 20-25%.

Збільшення і зменшення амплітуди деформації під час вимірювання АЗВТ викликало не велику різницю величини розсіяння механічної енергії для вихідного ПКМ і з модифікатором ВНТ. При цьому спостерігається неспівпадання кривих при збільшенні та зменшенні амплітуди деформації. Криві при зменшенні деформації проходять вище кривих, які отримані при збільшенні амплітуди деформації. Для вуглепластика з армуючою вуглетканиною УТ 900 і модифікатором ВНЧ та односпрямованого вуглепластика з вуглецевою армуючою стрічкою ЕЛУР і модифікатором ВНЧ неспівпадання кривих при збільшенні і зменшенні амплітуди деформації не спостерігається.

Введення вуглецевих нанотрубок у вуглепластик викликало підвищення фізико-механічних характеристик композиту – збільшення модуля пружності і при цьому появились додаткові центри розсіяння механічної енергії. Величина внутрішнього тертя зросла на 16%.

Вуглецеві наночастинки викликали невелике збільшення інтенсивності АЗВТ порівняно з вихідним ПКМ і модифікаторами ВНТ. Величина внутрішнього тертя композиту, армованого вуглетканиною УТ 900, у всьому діапазоні амплітуд деформації, у три рази більше за розсіяння механічної енергії односпрямованим вуглекомпозитом, який армовано вуглецевою стрічкою ЕЛУР.

Дослідження у звуковому діапазоні проводили на спеціальній установці. Криві затухаючих поперечних коливань представлені на рис. 1.

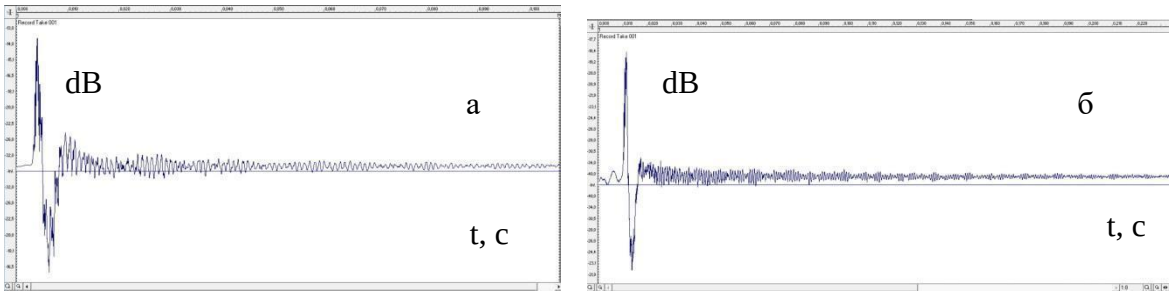


Рис. 1 – Графік затухаючих коливань – вуглепластик з армуючою вуглетканиною УТ 900 – 64,8% мас (а) і 52,9 % мас (б) – перший вимір

Із рисунку видно, що затухання відбуваються досить швидко. На характер ходу кривих має вплив відсоток армуючої вуглетканини.

Зменшення армуючої вуглетканини УТ 900 – до 68,4% мас з 69,6% мас і введення вуглецевих нанотрубок у полімерну матрицю до 1,5% мас збільшили швидкість затухання до 0,07 секунди в порівнянні з попереднім матеріалом де відсутні модифікатори ВНТ (рис. 2).

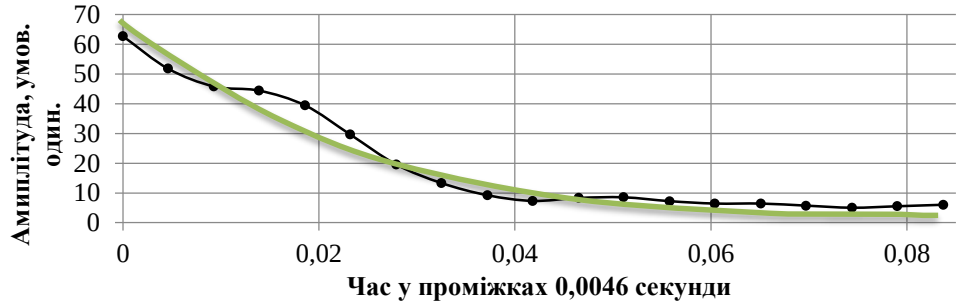


Рис. 2 – Зміна амплітуди затухаючих коливань вуглепластик - армуюча вуглетканина УТ 900 – 68,4 % мас. зв'язуюче ЕД 20 – 30,1 % мас. Модифікатор ВНТ 1,5% мас (5% мас. по зв'язуючому)

При цьому спостерігається незначне зростання середнього значення логарифмічного декременту. Частота коливань не змінюється до часу 0,03 с від початку затухання, а далі поступово зменшилась на 14%.

Регулюючи вміст матриці кількістю модифікаторів і кількістю армуючих елементів можна отримувати з необхідною величиною міцнісні і демпфуючі властивості композиту, здатність розсіювати енергію при не великих амплітудах коливань.

Проведені дослідження показали перспективність введення наномодифікаторів, які дозволяють поліпшити експлуатаційні властивості вуглекомпозитів, наприклад, трохи збільшуючи розсіяння механічної енергії. Наявність армуючої вуглетканини УТ 900 спричиняє більші втрати механічної енергії у ПКМ порівняно зі односпрямованим вуглекомпозитом з армуючою стрічкою ЕЛУР.

Список посилань

1. Богуслаєв О. В. Діагностика лопаток ГТД звуковим методом [Текст] / О. В. Богуслаєв, О. В. Мозговий, С. В. Мозговий, А. Я. Качан, А. В. Тітов // Вісник двигунобудування, 2004. – № 1. – С. 148 – 150.

2. Вишняков Л. Р. Демпфирующие свойства гибридных полимерных композиционных материалов на основе углеродных и базальтовых волокон [Текст] / Л. Р. Вишняков, А. В. Мозговой, Б. Н. Синайский, В. П. Мороз // Композитные материалы. Международный научно-технический сборник. Днепропетровск : ДГАУ, 2010. – Т.4. – №1. – С. 58 – 60.

УДК 531.8

Сьомічев А.В., канд. техн. наук
Суворов В.В., студент
Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро
kaf.prikmeh@metal.nmetau.edu.ua

АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГОСИЛОВИХ ПАРАМЕТРІВ КРИВОШИПНО-ПОВЗУННОГО МЕХАНІЗМУ

1. Структурний аналіз кривошипно-повзунного механізму

Алгоритм — кінцева сукупність точно заданих правил розв'язання деякого класу задач або набір інструкцій, що описують порядок дій виконавця для вирішення певного завдання. У старому трактуванні замість слова «порядок» використовувалося слово «послідовність», але з розвитку паралельності у роботі комп'ютерів слово «послідовність» стали замінювати загальним словом «порядок». Незалежні інструкції можуть виконуватися в довільному порядку, паралельно, якщо це дозволяють виконавці, що використовуються [1].

Наприклад розглянемо розрахунок енергосилових параметрів кривошипно-повзунного механізму.

Кривошипно-повзунні механізми (КПМ) є представниками однієї з п'яти основних видів структурних груп 2-класу 2-го порядку, які використовуються при структурному аналізі різних складних механізмів [2-4]. Відповідно подальший розвиток розрахунково-аналітичного методу дослідження різних конструкцій КПМ визначає розробку методу та алгоритму розрахунку енергосилових параметрів КПМ.

Метою роботи є розробка алгоритму та програми розрахунку енергосилових параметрів КПМ з використанням Visual Basic з урахуванням апробованих на практиці та добре зарекомендованих себе: аналітичного методу розрахунку кінематики повзуна КПМ [3,4] та графо-аналітичного методу розрахунку силових параметрів КПМ [1,2] .

2. Кінематичний аналіз кривошипно-повзунного механізму

Розглянемо (рис. 1) схему механізму КПМ [5] містить рухому ланку 1 (кривошип довжиною $l_1 = l_{0A}$), яке у поточному положенні позначено відрізком $0A_i$ ($i = 0,1,2,...,7$) на рис. 1. за допомогою плоских шарнірів 0 і A кривошип з'єднаний з нерухомою основою 4 та рухомим шатуном (ланка 2 довжиною $l_2 = l_{AB}$), який у поточному положенні позначений відрізком A_iB_i. У свою чергу, шатун 2 за допомогою плоского шарніра B з'єднаний з

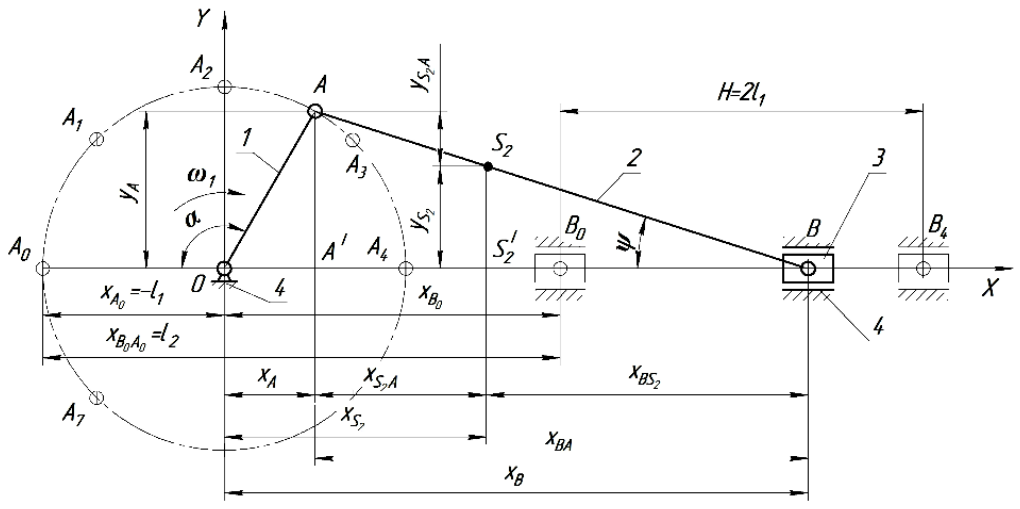


Рис.1 – Схема кривошипно-повзунного механізму

повзуном *3*, який поступово переміщається у нерухомих напрямних (поступальна кінематична пара) підстави *4* вздовж горизонтальної осі $0X$ системи координат $X0Y$, центр 0 якої поєднаний з віссю шарніра 0 на нерухомому підставі *4*. Масою кривошипу *1* нехтуємо. Положення центру маси шатуна *2* визначає точку S_2, розташована на відстані $l_{AS}=0{,}35l_2$ від точки A_i (у поточному положенні шатуна $A_iS_{2,i}$ на рис. 1). Поточне положення центру маси повзуна *3* визначає координата шарніру B_i, так як у першому наближенні лінійними розмірами повзуна 3 в порівнянні з іншими ланками КПМ можна знехтувати. $A_i = A_0$

3. Силовий аналіз кривошипно-повзунного механізму

Відповідно, якщо в першому наближенні не враховувати сили тертя та моменти сил тертя в кінематичних парах, то потужність витрачена приводом кривошипу буде витрачатися лише на подоланні потужності сили технологічного опору P_3, прикладеного до повзуна *3* в процесі робочого ходу КПМ (при переміщенні повзуна з положення B_0 в положення B_4 на рис. 2).

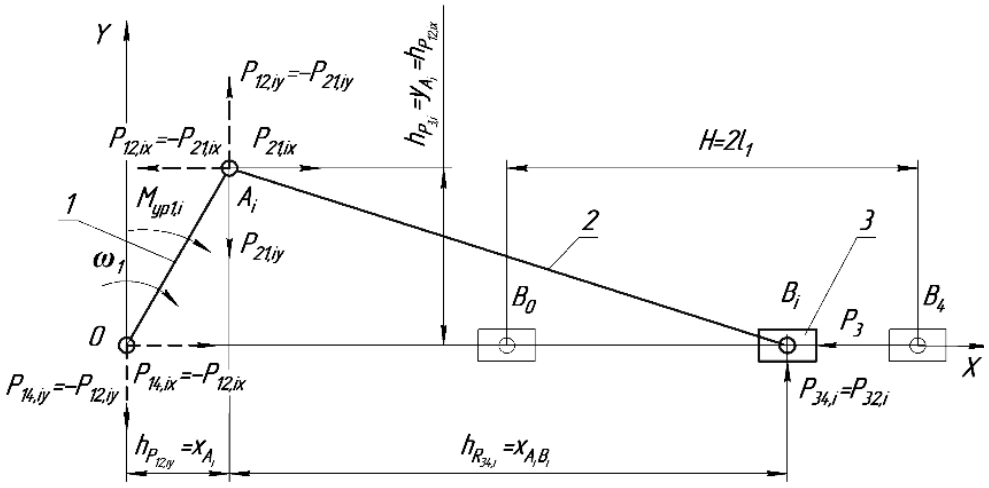


Рис.2 – Розрахункова схема КПМ для визначення енергосилових параметрів у поточному положенні його ланок

Висновки. Розроблено новий метод розрахунку та алгоритм визначення енергосилових параметрів КПМ для персональних ПМК. Розрахунок виконано з використанням розробленої програми на основі Visual Basic. Це дозволяє виконати попередню оцінку енергосилових параметрів механізмів та агрегатів з використанням кривошипно-повзунних механізмів на стадії технологічного проектування, техніко-економічного обґрунтування проектування нових агрегатів або модернізації існуючого обладнання при зміні технологічних режимів, пов’язаних з освоєнням випуску сучасної конкуренто спроможної продукції.

Список посилань

1. Ершов А. П. Введение в теоретическое программирование: Беседы о методе [Текст]. — М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1977. — 288 с.

2. Кожевников С.Н. Теория механизмов и машин [Текст] / С.Н. Кожевников – М.: Машиностроение, 1973. – 592 с.

3. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин [Текст] / И.И. Артоболевский – М.: Наука, 1975. – 640 с.

4. Коловский М.З. Теория механизмов и машин: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования [Текст] / [М.З.Коловский, А.Н.Евграфов, Ю.А.Семёнов, А.В.Слоущ]. — 4-е изд., перераб. — М.: Издательский центр “Академия”, 2013. — 560 с.

УДК 62-93

Проскурін О.Г., аспірант
Рашківський В.П., канд. техн. наук., зав.кафедри
Київський національний університет будівництва і архітектури, dirskiks131@gmail.com

РОЗРОБКА АДАПТИВНОЇ РУХОМОЇ ПРОТИВАГИ ОДНОКІВШЕВОГО ЕКСКАВАТОРА

Більше 90% в нашій країні виконують роботу універсальними екскаваторами. Універсальними одноківшевими екскаваторами виконують роботу на кар'єрах, будівельних майданчиках та в міських умовах. Широко використовуються для розбирання завалів будівель та споруд після катастроф, аварій та бойових дій

Одноківшеві екскаватори можуть мати один вид робочого обладнання чи комплектуватися його змінними видами, встановлюваними на машину в залежно від виконуваних робіт. В першому випадку екскаватори називають спеціальними, а в другому – універсальними.

Розробка глибоких котлованів, ям, колодязів проходить з використанням робочого обладнання грейфера, для планувальних робіт - спеціальне планувальне обладнання. На екскаватори може бути встановлено також кранове, свабійне та інше змінне робоче обладнання. всього понад 40 видів.[1]

На гідравлічних екскаваторах під час роботи реалізовується на зубах та різальній частині ковша велике зусилля завдяки жорсткому зчленуванні елементів робочого обладнання між собою та з базовою частиною машини, працюючої щодо стійкості як єдине ціле. Це дозволяє при міцних рівних умовах навішувати на гідравлічні екскаватори ковші більшої місткості - в середньому на 60% порівняно з ковшами канатних екскаваторів. [1]

Робочий процес універсального одноківшевого екскаватора являється циклічність виконання операцій – копання і транспортування ґрунту. Під час робочого процесу виникають статичні та динамічні навантаження на машину та механізми, які впливають на стійкість машини.

З цим збільшується навантаження на деталі та механізми машини, що може призвести до їх руйнування, а також знижує стійкість та баланс машини в цілому.

Здатність машини протистояти перекиданню характеризує її стійкість проти перекидання, яка з однієї сторони, залежить від конструктивних параметрів машини, а з іншої сторони від дій оператора.

Один з способів протидії перекиданню одноківшевого універсального екскаватора а робочому та транспортному положенні, який полягає у використанні адаптивної рухомої противаги шляхом врівноваження поворотної платформи та машини в цілому. Рухома противага переміщується в протилежному напрямку від дії перекидних сил, чим збалансовує систему. За рахунок додаткової рухомої противаги можливо збільшити навантаження на робочий орган без втрати стійкості машини, тим самим збільшить ККД робочого обладнання. Завдяки автоматичній системі, одноківшевим екскаватором можливо працювати та переміщатися на більш похилій площині, рухома противага сама збалансує машину.

Даний метод полягає, що за рахунок рухомої противаги, можливо збільшити утримуючий момент та запобігти перекиданню екскаватора в автоматичному режимі.

Приклад розрахунку на стійкість універсального одноківшевого екскаватора з рухомою противагою

Стійкість екскаватора – здатність машини протидіяти зовнішнім навантаженням, включаючи сили тяжіння ґрунту в ковші, а також складових частин екскаватора, опір ґрунту копанню та сили інерції, які не дають перекинутися та зрушити опорну частину екскаватора відносно ґрунтової основи.[2]

Статичний розрахунок входить перевірка загальної стійкості екскаватора та врівноваження платформи.

Стійкість екскаватора характеризується коефіцієнтом стійкості

$$K_y = \frac{M_y}{M_{\text{п}}},$$

де M_y– момент всіх сил, утримуючих екскаватор від перекидання;

$M_{\text{п}}$– момент всіх сил, сприяючих перекиданню екскаватора.

Для різних видів змінного робочого обладнання та різних режимах роботи рекомендуються свої межі коефіцієнта стійкості. Для нормальних умов $K_y = 1{,}1 \div 1{,}2$.

Розділяють стійкість екскаватора на дві групи – стійкість машини при копані ґрунту та всі інші стани екскаватора.

Розрахунок екскаватора з обладнанням зворотна лопата, виконується для двох положень. Розглянемо один з них:

1. Екскаватор знаходиться на горизонтальній площині, відбувається відрив ковша від ґрунту у бровки забою під дією максимальних зусиль, які утворюються за допомогою підйому стріли (рис. 1). Напрямок реакції ґрунту на зубах ковша перпендикулярно лінії, з'єднуючих центр повороту стріли та різальну кромку ковша. Рухома противага автоматично переміщена максимально близько до поворотної платформи.

$$R = \frac{1}{r_R} = P_{\text{ц}max} r_{\text{ц}} - g_{\text{к}} r_{\text{к}} - g_{\text{р}} r_{\text{р}} - g_{\text{с}} r_{\text{с}},$$

Коефіцієнт запасу стійкості для першого положення з урахуванням рухомої противаги:

$$K_y = \frac{G_{\text{м}} r_{\text{м}} + G_{\text{п}} r_{\text{п}} + g_{\text{пр}} r_{\text{пр}} + g_{\text{рп}} r_{\text{рп}}}{R l_R + g_{\text{к}} r_{\text{к}} + g_c r_c + g_p r_p}.$$

де $g_{\text{рп}}$– вага рухомої противаги;

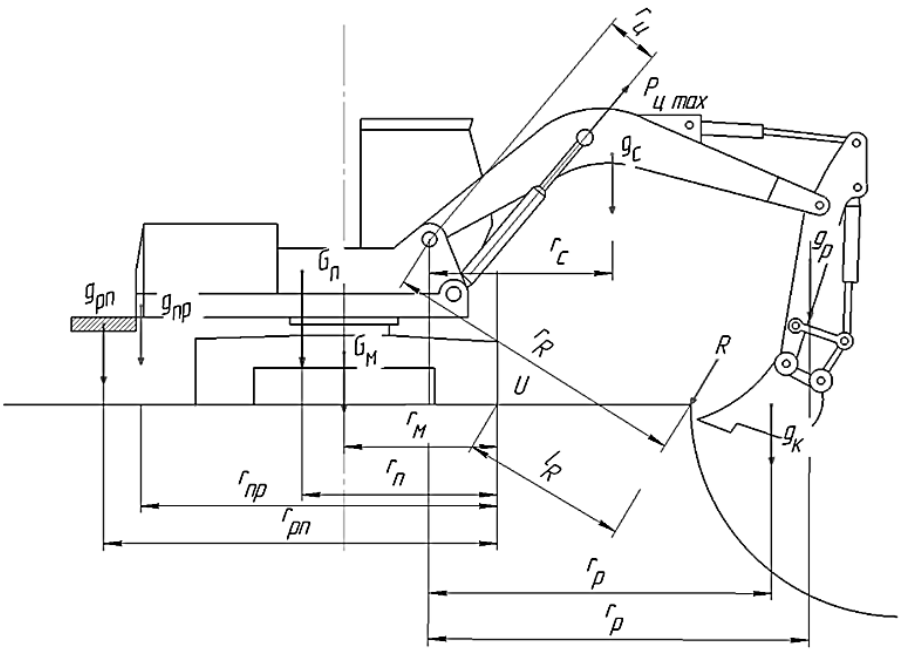


Рис. 1 – Схема для визначення стійкості екскаватора з рухомою противагою, обладнаного зворотною лопатою, при розрахунковому положенні 1

Список посилань

1. Дьяков И. Ф. Строительные и дорожные машины и основы автоматизации :учебное пособие / И. Ф. Дьяков; /Ульян. гос. техн. ун-т.– Ульяновск : УлГТУ, 2007. – 516 с.

2. Машины для земляных работ: учеб. для вузов / [Д.П. Волков, В.Я. Крикун, П.Е. Тотолин и др.]. – М.: Машиностроение, 1992. – 448 с.

3. Двойнова К.А. Система управления подвижным противовесом автокрана / К.А. Двойнова – Челябинск: ЮУрГУ, П-266, 2018. – 113с

УДК 621

Руденко Н.В., канд. техн. наук, доцент
Руденко В.О., аспірант
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ»,
n.rudenko@khai.edu

ПРОГНОЗУВАННЯ ЯКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТАЛЕЙ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ, ЩО ПІДВЕРГНУТІ ЛАЗЕРНІЙ ОБРОБЦІ

Аналіз мікротвердості шарів покриттів, підданих лазерній обробці, показує, що зі збільшенням енергії лазерного випромінювання знижується твердість і збільшується глибина зони теплового впливу променя [1].

Величина мікротвердості залежить від швидкості переміщення променя або деталі щодо променя за безперервної дії. Мікротвердість у зоні лазерного нагрівання залежить від режиму опромінення – збільшується зі зростанням щільності потужності та зменшенням швидкості обробки. Зростає і термічна стійкість структури, що утворилася, яка може відігравати важливу роль при формуванні комплексу експлуатаційних властивостей матеріалу [2].

Величина шорсткості визначається щільністю потужності лазерного випромінювання та швидкістю руху лазерного променя. Оплавлення починається з вершини, причому кінцевий профіль поверхні істотно впливає кут β, зі зменшенням якого оплавлення зразків прискорюється. Напрямок руху лазерного променя істотно впливає на кінцеву форму мікронерівностей щодо вертикальної осі [3].

Незалежно від технологічних варіантів лазерне зміцнення збільшує зносостійкість поверхневих шарів. Ступінь підвищення зносостійкості залежить від характеристик процесу обробки: найбільша зносостійкість відзначається при формуванні на поверхні білого шару, а також структури дрібнодисперсного мартенситу з високою мікротвердістю. Можливе прогнозування зносостійких властивостей поверхні щодо зміни її мікромеханічних характеристик, що визначаються за допомогою методу кінетичної мікротвердості.

Таким чином, для розробки технології лазерного зміцнення деталей необхідно визначити в кожному конкретному випадку глибину зміцнення, продиктовану умовами тертя і механічними навантаженнями, яким схильна деталь, а технологія лазерного термічного зміцнення повинна призводити до отримання однорідної структури і високої твердості поверхневого шару при повному відсутності.

Список посилань

1. Ковальчук Ю. О., Лісовий І. О. Лазерно-плазмове зміцнення попередньо термооброблених деталей автомобільного транспорту в АПК // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кропивницький, 2021. Вип. 51 – С. 54 – 60.

2. Козіна Н. М. Дослідження впливу термічних нагрівів на структурні перетворення і властивості лазерно-борованих поверхневих шарів середньовуглецевих сталей // Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету. Технічні науки. – 2012. – №. 1. – С. 32 – 36.

3. Лесик Д. и др. Дослідження мікрорельєфу та структури поверхневого шару при лазерній та ультразвуковій термодеформаційній обробці інструментальної сталі //Вісник Національного технічного університету України" Київський політехнічний інститут". Серія Машинобудування. – 2016. – Т. 3. – №. 78.

УДК 629. 542

Акимов О.О., канд. техн. наук
Бояров В.Т., ст. наук. співробітник
Жданюк М.М., ст. наук. співробітник
Міщенко Н.В. канд. техн. наук
Державний НДІ випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Чернігів,
akimov.al.al@gmail.com

ВИКОРИСТАННЯ ЧАСТОТНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ КУЛЬКОВИХ ОПОР

Підтримку надійності техніки під час її використання, або відновлення після значного часу зберігання, доцільно здійснювати шляхом проведення раціонального технічного обслуговування та ремонту. Основним елементом механічного обладнання, що лімітує його надійність є опори кочення. Розрахунок довговічності опор на стадії проектування є досить орієнтовним та не враховує умов реальної експлуатації [1].

Визначення технічного стану опор кочення при експлуатації обладнання та прогнозування їх довговічності є важливою умовою забезпечення довговічності.

При експлуатації кулькових опори можливе руйнування опори кочення в результаті погіршення стану кульок, внутрішньої та зовнішньої доріжок кочення, сепаратора на різних стадіях життєвого циклу опори.

Погіршення стану може відбуватися по різним причинам пов’язаних з:

- виготовлення опор (фретинг - корозія, викришування, виникнення тріщин в результаті корозії);
- проведенням монтажних робіт, (монтажні пошкодження, (тріщини та сколи в кільцях, деформація, зношування та руйнування сепаратора);
- експлуатацією (викришування та виникнення раковини на доріжках кочення, зношування в результаті вібрації, бринелирування, задири при проковзуванні тіл кочення та супутні викришування та виникнення тріщин, проблеми змащування).

При експлуатації опор кочення складові частини опори контактують між собою та генерують характерні частоти:

- частота перекочування тіла кочення по зовнішньому кільцю;
- частота перекочування тіла кочення по внутрішньому кільцю;
- частота обертання сепаратора;
- частота обертання тіл кочення.

При погіршенні стану опори рівні віброприскорення та віброшвидкості опори на характерних частотах збільшуються про цьому виникають кратні гармоніки характерних частот.

При діагностуванні опор кочення перевагу слід надавати віброшвидкості, що характеризує кінетичну енергію механічної системи.

Сучасні методи вібродіагностування методами швидкого перетворення Фур’є в реальному часі дозволяють визначити характерні частоти та їх гармоніки, які можливо використати при визначенні надійності та залишкового ресурсу опори.

Поступове збільшення рівнів вібрації кулькової опори можливо кваліфікувати, як поступові відмови, виникнення яких підкоряється певному закону розподілу випадкових подій [1] що можуть характеризуватися імовірністю безвідмовної роботи.

Для оцінки впливу надійності елементів опори на її працездатність введемо поняття - *узагальнена імовірність безвідмовної роботи кулькової опори – P_L (ІБР)* в наступному вигляді:

$$P_L = P(з)*Кз*P(в)*Кв*P(с), Кс*P(к), Кк, \quad (1)$$

де *P(з), P(в), P(с), P(к),* – імовірність перевищення нормативних значень рівня вібрації зовнішнього та внутрішнього кілець, сепаратора та кульки:

Кз, Кв, Кс, Кк – коефіцієнти впливу складових частин вібрації опори на ІБР опори.

Для визначення імовірності перевищення нормативних значень рівня вібрації вибираються найбільші значення віброшвидкості гармонік характерних частот зовнішнього та внутрішнього кілець, сепаратора та кульки.

В розрахунках підшипників кочення відношення ресурсу реального до 90% ресурсу $a = L/L_{90}$ називають коефіцієнтом надійності, який визначається з наступного виразу [2]:

$$a := \left(\frac{\ln(P_L)}{\ln(0.9)}\right)^{\frac{1}{\alpha}}, \quad (2)$$

де L - довговічність кулькової опори;

L_{90} – 90% ресурс опори кочення ;

α - параметр форми розподілу Вейбула, зв'язаний з розсіюванням ресурсу (у відповідності ГОСТ 18855-94 α=1,5).

З врахуванням (2) вираз (1) набуває наступного вигляду:

$$P_L := e^{(a)^{\alpha}\cdot \ln(0.9)} \quad (3)$$

На рис.1 приведена залежність між ІБР кулькової опори та коефіцієнтом надійності

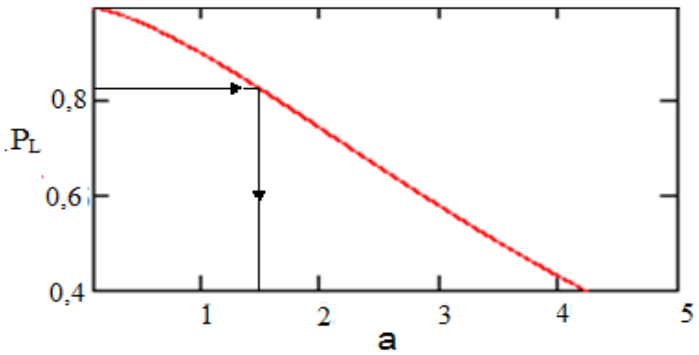


Рис.1 – Залежність ІБР кулькової опору від коефіцієнта надійності

З рис. 1 видно, що наявність поступових відмов елементів кулькових опор, визначених на основі частотного аналізу, веде до зниження ІБР опори та її довговічності.

Список посилань

1. Надежность и эффективность в технике [Текст]: справочник в 10 т. / Ред. совет: пред. В.С. Авдуевский В [и др]. – М.: Машиностроение, 1989. – Т.6: Экспериментальная отработка и испытания. – 376 с.

2. Решетов Д.Н. Надежность машин /Д. Н. Решетов, А. С. Иванов, В. З. Фадеев ; под общей редакцией Д. Н. Решетова. – М.: Высшая школа, 1988, – 235с.

УДК 621.313

Кобзар І. В., заступник генерального конструктора
АТ «Українські енергетичні машини», м. Харків ivkobzar@ukr.net
Третяк О. В., докт.техн. наук,
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», м. Харків,
alex3tretjak@ukr.net

АНАЛІЗ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ ТУРБОГЕНЕРАТОРІВ ПОТУЖНІСТТЮ 325 МВТ

На сьогодні, в Україні основну частину електричної енергії виробляють на теплових, атомних та гідроелектростанціях, де працюють турбо- та гідрогенератори відповідно. Більшість агрегатів вже відпрацювали свій нормативний термін.

При цьому режими роботи ЕМ ускладнюють нерівномірні навантаження в електричній мережі, що спричиняють як перевантаження генераторів (перехід у аварійні режими роботи, у зв’язку з несправністю генераторів на станціях або збільшенням кількості споживаної енергії), так і їх зупинку (зменшення кількості споживаної енергії). Вирішенням даної проблеми є часткова модернізація вже існуючих агрегатів та перегляд існуючих режимів роботи.

Огляд існуючих досліджень конструкційних елементів синхронних машин великої потужності, показав що досліджень у тривимірній постановці задач надзвичайно мало. Найчастіше досліджуються лише окремі компоненти, в цілому ж конструкція зазвичай не розглядається, а задача вирішується не зв’язана.

Для розгляду тривимірних задач для розрахунку напружено-деформованого стану елементів конструкцій та системи охолодження генератора, найбільш перспективним є метод скінченних елементів (МКЕ).

Одним з найбільш навантажених елементів турбогенератору є ротор.

Пропонується визначення НДС бандажного вузла ротора турбогенератора при впливі силових і температурних навантажень.

Досліджено напружений стан бандажного вузла турбогенератора потужністю 325 МВт при впливі теплових навантажень і механічних зусиль.

Наведена розрахункова схема бандажного вузла і проведено чисельне дослідження розрахунку полів напружень в бочці ротора, бандажному і центруючому кільцях показала, що поле напружень має складний характер, обумовлений наявністю вирізів, який неможливо врахувати при проведенні розрахунків класичними інженерними методами.

Були визначені роз'єднувальні частоти обертання бандажної вузла для холодного і нагрітого стану.

Отримано, що роз'єднувальні частоти для бандажної кільця і бочки ротора, а також бандажного і центруючого кільця для холодного і нагрітого стану істотно відрізняються. При цьому значення роз'єднувальних частот для всіх деталей вище номінальної частоти обертання.

Достовірність результатів підтверджена зіставленням з даними аналітичного розрахунку на основі методу розгорнутих теплових (еквівалентних) схем, а також з експериментальними даними.

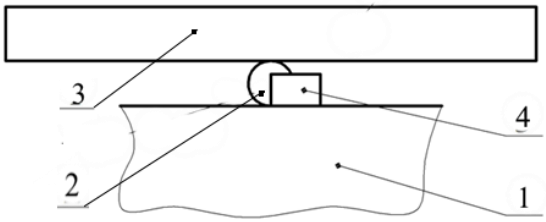
Результати розрахунків двома методами якісно і кількісно узгоджуються між собою.

УДК 620.162

Васильєв Є.А., канд. техн. наук, доцент
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», vas.eugene@gmail.com
Попов С.В., канд. техн. наук, доцент
Полтавський державний аграрний університет, stanislav.popov@pdaa.edu.ua

РОЗШИРЕННЯ ГАЛУЗІ ВИКОРИСТАННЯ СПОСОБУ ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ МЕТАЛІВ МЕТОДОМ УДАРНОГО ВПЛИВУ

Як у машинобудівельному, так і ремонтному виробництві, а також під час експлуатації складних металевих конструкцій виникає необхідність контролю твердості металевих деталей. У лабораторних умовах машинобудівельного виробництва вказана задача не завдає суттєвих труднощів. Але контроль твердості великогабаритних металевих деталей, до того ж в умовах, наближених до одиничного виробництва, можливий лише з використанням дорогих вимірювальних приладів, які не завжди знаходяться в наявності. Викликає цікавість спосіб визначення твердості методом ударного впливу [1], який набув свого розвитку у машинобудівному виробництві у вигляді твердоміра металів Польді–Хютте [2] (надалі – прилад Польді). Нами запропоновано з метою розширення галузі використання вказаного способу визначення твердості шляхом максимального спрощення конструкції приладу Польді. На рис. 1 вказана запропонована конструкція.



1 – металева заготовка, 2 – сталева кулька, 3 – брусок, 4 – постійний магніт
Рис. 1 – Ескіз конструкції для визначення твердості методом ударного впливу

Вимірювання твердості з використанням запропонованої конструкції здійснюється в наступній послідовності. На металеву заготовку 1, або деталь, або елемент конструкції, твердість якої необхідно виміряти, укладається сталева кулька 2 діаметром 10 мм. Фіксацію кульки 2 відносно заготовки 1 здійснюється встановленням сегментного кільцевого постійного магніту 4, який міцно утримує в купі кульку 2 при будь-якому положенні в просторі заготовки 1. На кульку 2 однією рукою накладаємо брусок 3 квадратного перерізу таким чином, щоб його нижня робоча площина була паралельна площині заготовки 1. Іншою рукою наноситься удар по поверхні бруска 3 звичайним слюсарним молотком таким чином, щоб удар припадав вздовж вертикальної осі кульки 2. У разі, якщо існує потреба визначити твердість немагнітного матеріалу заготовки 1, кулька 2 і сегмент кільцевого постійного магніту 4 фіксується на магнітному матеріалі бруска 3. Визначення чисельних параметрів твердості надалі повністю збігається, як і для приладу Польді.

Список посилань

1. Молоток Кашкарова. [Электронный ресурс]. – Режим доступу: https://poltava.prom.ua/p261282699-molotok-kashkarova.html
2. Твердомер металлов Польди – Хютте. [Электронный ресурс]. – Режим доступу: https://poltava.prom.ua/p42797531-tverdomer-metallov-poldi.html

УДК 621-192

Цивінда Н.І., канд. техн. наук, доцент
Зюган У.І., студентка
Зуєв І. О., студент
Криворізький національний університет, civinda.n@knu.edu.ua

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ОБЛАДНАННЯ ОПТИМІЗАЦІЄЮ ВИТРАТ РЕМОНТНИХ РЕСУРСІВ

В процесі керування виробництвом необхідно прагнути до оптимізації витрат з метою отримання максимального прибутку. Оптимізація витрат на виробничому або ремонтному підприємстві дозволяє підвищити прибутковість, уникнути економічних проблем у кризові часи, підвищити конкурентоспроможність за рахунок оновлення обладнання, підвищення точності і якості готової продукції, покращення умов роботи і підвищення кваліфікації працівників, впровадження інноваційних технологій тощо.

Під ресурсами зазвичай розуміють матеріальні чи фінансові активи: гроші, засоби виробництва приміщення, сировина, енергія. Але не менш важливі ресурси нематеріальні: час, люди, знання та досвід, інформація тощо. І всі ці джерела мають працювати з максимальною ефективністю.

Для пошуку раціональної стратегії управління обмеженими ресурсами та оптимального довгострокового плану ремонту розвитку важливо використовувати математичні методи та інформаційні технології, що дозволяють автоматизувати процес отримання оптимального рішення поставленого завдання.

У даній роботі оптимізація витрат проводиться за допомогою лінійного програмування.

1. Постановка завдання

Нехай у розпорядженні ремонтної бригади на підприємстві є наступні ресурси: C_{1max}, C_{2max}; C_{3max}; C_{4max}; C_{5max}, C_{6max}, C_{7max}. Бригада спеціалізується на ремонтах двох типів відцентрових насосів: $П_1$ – 8НФ, $П_2$ – 10Ф-12. За ремонт однієї одиниці $П_1$ підприємство отримує прибуток $Ц_1$, для її ремонту необхідно витратити наступну кількість ресурсів: $C_{1П1}$, $C_{2П1}$, $C_{3П1}$, $C_{4П1}$, $C_{5П1}$, $C_{6П1}$, $C_{7П1}$. На ремонт однієї одиниці $П_2$ підприємство отримує $Ц_2$ прибутку, для її ремонту необхідно $C_{1П2}$, $C_{2П2}$, $C_{3П2}$, $C_{4П2}$, $C_{5П2}$, $C_{6П2}$, $C_{7П2}$. Необхідно так спланувати обсяги ремонтних робіт, щоб прибуток від них був максимальний.

2. Знаходимо вагові коефіцієнти, які відображають значимість кожного ресурсу в завданні оптимізації цільової функції.

3. Формулювання цільової функції

Цільова функція формулюється наступним чином:

$$F(x_1,x_2) = C_1 \cdot x_1 + C_2 \cdot x_2 \rightarrow \max, \quad (1)$$

де C_1, C_2 – прибуток від реалізації продукції $П_1$ та $П_2$;

x_1, x_2 – кількість відповідно продукції $П_1$ та $П_2$.

4. Оптимізація матричним методом [1].

Оптимізацію проводимо у програмному забезпеченні MathCAD 15.

$$Rez := Maximize(F, x1, x2)$$

$$Rez = \begin{pmatrix} 0 \\ 9.167 \end{pmatrix}$$

$$x1 := 0$$

$$x2 := 9$$

$$F(x1, x2) = 9.9 \times 10^3$$

Рис. 1 – Результат оптимізації

Таким чином, максимальний прибуток у 9900 грн буде досягатись реалізацією 9 шт. продукції $П_2$.

Зробимо перевірку для того, щоб побачити, як використовуються наявні ресурси (рис. 2).

$x1 := 0$

$x2 := 9$

$3.2x1 + 2x2 \le 100$	$3.2x1 + 2x2 \to 18$
$1.7x1 + 1.4x2 \le 70$	$1.7x1 + 1.4x2 \to 12.6$
$0.5x1 + 0.57x2 \le 20$	$0.5x1 + 0.57x2 \to 5.13$
$0.8x1 + 0.7x2 \le 27$	$0.8x1 + 0.7x2 \to 6.3$
$15x1 + 12x2 \le 110$	$15x1 + 12x2 \to 108$
$0.5x1 + 0.4x2 \le 17$	$0.5x1 + 0.4x2 \to 3.6$
$6x1 + 4x2 \le 95$	$6x1 + 4x2 \to 36$

Рис. 2 – Перевірка використання ресурсів

Бачимо, що вся сировина використовується у межах своїх ресурсів, отже, задача вирішена правильно. Бажано збільшити кількість ресурсів C_5, тому що вони сильно обмежують використання інших ресурсів.

5. Оптимізація графічним методом:

Записуємо умову задачі у MathCAD (рис. 3).

$C := 1200x1 + 1100x2$

$3.2x1 + 2x2 \le 100$

$1.7x1 + 1.4x2 \le 70$

$0.5x1 + 0.57x2 \le 20$

$0.8x1 + 0.7x2 \le 27$

$15x1 + 12x2 \le 110$

$0.5x1 + 0.4x2 \le 17$

$6x1 + 4x2 \le 95$

Рис. 3– Умова завдання

Нехай $C := 10000$

Given

$C = 1200x1 + 1100x2$

$y1(x1) := \text{Find}(x2) \to \frac{100}{11} - \frac{12 \cdot x1}{11}$

Given

$3.2x1 + 2 \cdot x2 = 100$

$y2(x1) := \text{Find}(x2) \to 50.0 - 1.6 \cdot x1$

Given

$1.7x1 + 1.4 \cdot x2 = 70$

$y3(x1) := \text{Find}(x2) \to 50.0 - 1.2142857142857142 \cdot x1$

Given

$0.5x1 + 0.57 \cdot x2 = 20$

$y4(x1) := \text{Find}(x2) \to 35.087719298245614035 - 0.87719298245614035088 \cdot x1$

Given

$0.8x1 + 0.7 \cdot x2 = 27$

$y5(x1) := \text{Find}(x2) \to 38.571428571428571429 - 1.1428571428571428571 \cdot x1$

Given

$15x1 + 12 \cdot x2 = 110$

$y6(x1) := \text{Find}(x2) \to \frac{55}{6} - \frac{5 \cdot x1}{4}$

Given

$0.5x1 + 0.4 \cdot x2 = 17$

$y7(x1) := \text{Find}(x2) \to 42.5 - 1.25 \cdot x1$

Given

$6x1 + 4 \cdot x2 = 95$

$y8(x1) := \text{Find}(x2) \to \frac{95}{4} - \frac{3 \cdot x1}{2}$

Рис. 4 – Створення функцій для побудови графіків

Присвоюємо змінній С якесь число близьке до очікуваного. Перетворюємо нерівності у рівняння, а потім із рівнянь виражаємо одну зі змінних, щоб отримати функції для подальшого будування графіків (рис. 5).

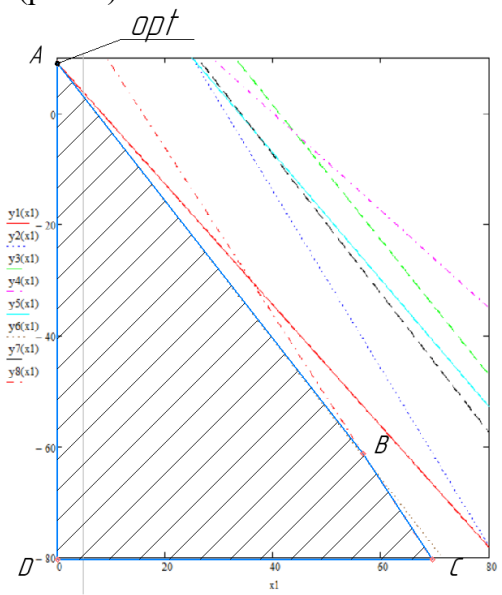


Рис. 5 – Чотирикутник розв’язків

Знаходимо оптимум у точці перетину двох графіків та максимальний прибуток від реалізації продукції $П_1$ та $П_2$ (рис. 6).

Given

x1 := 0

15x1 + 12 · x2 = 110

x2 := Find(x2) → 55/6

Округлюємо значення

x2 float , 1 → 9.0

x1 := 0

x2 := 9

C := 1200 · x1 + 1100 · x2 → 9900

Рис. 6 – Результат оптимізації

Відповіді при вирішенні задачі за обома методами збігаються, що говорить про вірність розрахунків.

Таким чином, у роботі було автоматизовано оптимізацію витрат ремонтних ресурсів при виготовленні відцентрових насосів. З аналізу двох методів оптимізації можна зробити висновок, що в реальних умовах виробництва доцільніший матричний метод, тому що він більше підлягає автоматизації.

Частину отриманого прибутку від оптимізації доцільно витрати на закупівлю більшого об’єму сировини $С_5$. Це дозволить підвищити надійність роботи обладнання оптимізацією витрат ремонтних ресурсів та більш рівномірно й раціонально використовувати наявні ресурси підприємства, збільшити кількість відремонтованої продукції.

Список посилань

1. Крутовий Ж. А. та ін. Оптимізація технологічних процесів. Ч.1: Навч. посібник/ Ж. А. Крутовий, С. В. Любар, Н. В. Манжос / Харк. держ. ун-т харч. та торгівлі. – Харків: ХДУХТ, 2011, – 300с.

СЕКЦІЯ 2.
ТЕХНОЛОГІЇ ДЕРЕВООБРОБКИ І МЕБЛЕВОГО ВИРОБНИЦТВА

UDK 674

Shchupakivskyy R., Assoc. prof., D.Sc.
Andrashek J., Assoc. prof., D.Sc.
Ukrainian National Forestry University (UNFU), Lviv, roman.shchupakivskyy@nltu.edu.ua

THE SHORT-TERM BEECH WOOD CREEP TEST BY MEANS OF DYNAMIC MECHANICAL ANALYSIS (DMA)

Physical, mechanical and rheological properties of wood are among the constitutive properties while using it as a building material. They have decisive importance to the manufacture of wooden building constructions and elements including CLT panels, etc. as directly effect on performance of the product. Moreover, one of the better-known aspects of designing with wood or wood-based products is that the strength of these products depends on time under stress.

The best characterizes mentioned above wood properties its creep performance. Creep is not only an important phenomenon in viscoelasticity, but is also of great significance in design of wood based products for load-carrying applications. Consequently, creep in wood and wood structures can lead to serviceability problems due to excessive deformations or to safety problems due to strength reduction [2]. Evaluating creep behaviour of a product, however, takes a great deal of time and cost. For example, to evaluate the long-term performance of some timber material, ASTM D 6815 [1] requires the applied load for the long-term (min 90-day) specimens to be based on 55% of the 5th percentile parametric point estimate of the short-term bending load using matched specimens. Furthermore, in such conditions seems almost impossible to investigate creep behaviour under variable temperature and stress level [3, 4].

The main objective due to investigation is to study the effects of stress level and temperatures on the creep behaviour of wood beech by means of dynamic mechanical analysis.

The commercial device, a Gabo Eplexor 25N Dynamic Mechanical Analyser (DMA) [5], was used to study the viscoelastic response of a specimen under constant loads in creep tests between 20 and 75°C (Fig. 1). The DMA has the advantage of quickly giving results, and, it does allow for control of the relative humidity in the measuring chamber.



Fig.1 – Overall view of the DMA Gabo Eplexor.

Creep experiments for tension on the DMA were done using GABO software [5]. The sample is mounted in the clamps and the clamps are tightened using screws with adjustable torque (Fig. 2). Full load was rapidly and smoothly applied to the specimen, mainly in 1 to 5s, soak time before starting the measurement under the static load was 300s. A constant load was applied to a specimen in selected loading configurations (tension) at constant temperature and the deformation was measured as a function of time [2]. The sample creeps for 3 hours than recovers for 6 hours. The data is read and manipulated by the on-line computer system and the results were displayed as the experiment progresses.



Fig. 2 – DMA tension clamps

Experiments were performed at Time Sweep and Temperature Sweep module with the fixed constant frequency (close to 0 -0.001Hz). In order to construct master curves for the prediction of long-term behaviours, a series of 180-minute isothermal creep tests were conducted at various temperatures and stresses, and the corresponding creep strains were measured. The range of selected temperatures was from +25°C to +75°C with a 25°C increment.

Time to equilibrate the temperature rate was calculated based on range of heating, which was near 5°C / min. To insure that behaviour of test specimens remains within the linear range, loads in the 20% to 25% range of the short-term ultimate strength were from 5 to max. 20N with Δ5N. Tolerance of static load were between 0.1-0.2N. No load was applied during temperature ramp, and the temperature equilibrating time was 5 minutes for each temperature. All these parameters are entered using the “CREEP 25N©” template available in the GABO software.

The investigations were carried out on wood samples taken from a single beech tree. The rectangular beech wood samples, cut from oven dried blanks, were conditioned for at least 2 weeks before measurements at constant climate room with a temperature 20±2°C and relative humidity of approx. 60%. Few different types with different dimensions of DMA specimens have been used: 1 - geometry measured approximately 60 mm in length, 12 mm in width and 0.6 mm in thickness, and the span of the test is 35 mm; 2 – 50mm length, 5 mm width and approx. 0.16mm thickness, span of the test 35 mm. Specimen dimension is a compromise between the load magnitude that can be applied (25N using tension clamps) and the size that would be representative of the species. For this study, 22 samples of each dimension were tested.

Description of the main obtained results. As a result of short term creep test, have been obtained Tensile-Creep curves as well as Creep-Modulus curves at different load values and temperatures. Figure 3 shows a representative plot of the creep strain from a 180-minute creep tests at 22°C and 20N. Figure 5 shows a representative plot of the creep strain from a series of 180 minute creep tests at various temperatures from +22 to +75°C with an increment of apporx. 25°C. The effect of temperature can be observed in that the creep strain increased with elevating temperatures, and the strain increment also increased nonlinearly with respect to temperature. This may imply that, at a lower temperature, the effect of temperature was linear. At a lower temperature, the creep strain did not increase considerably; whereas, the strain increased more and more significantly with elevating temperature.

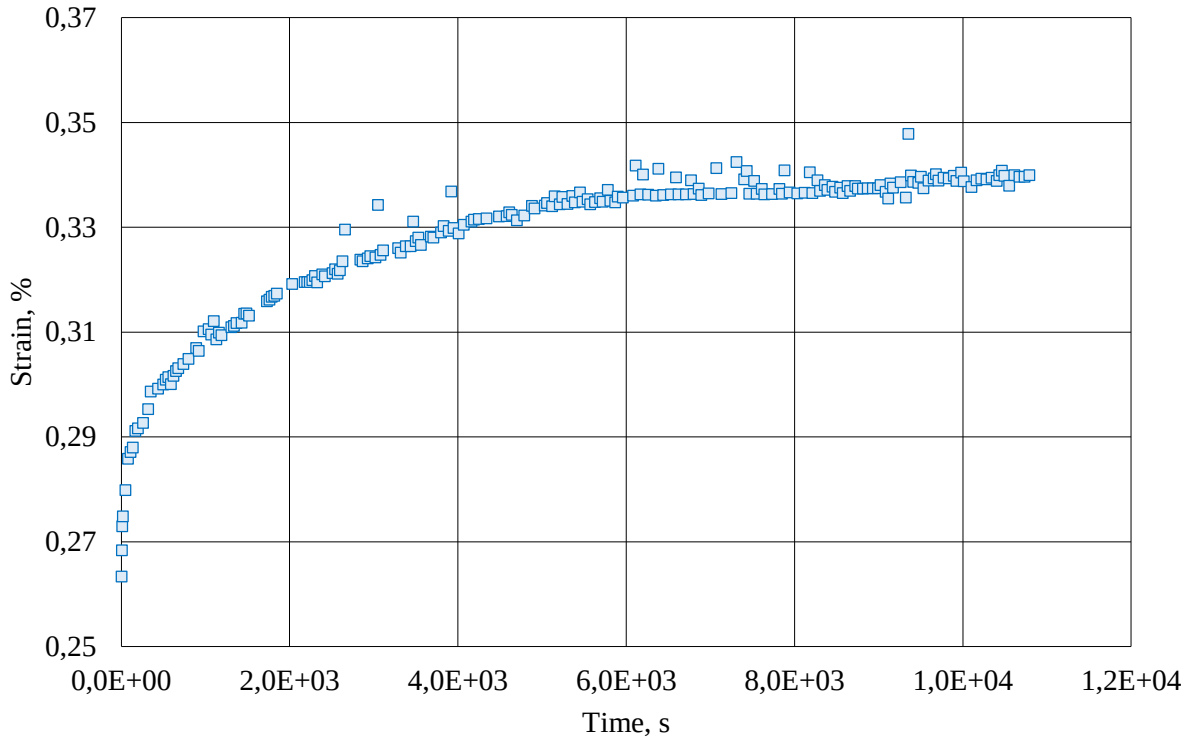


Fig. 3 – Tensile-creep curve of beech at 20N and 22°C. Creep strain versus time

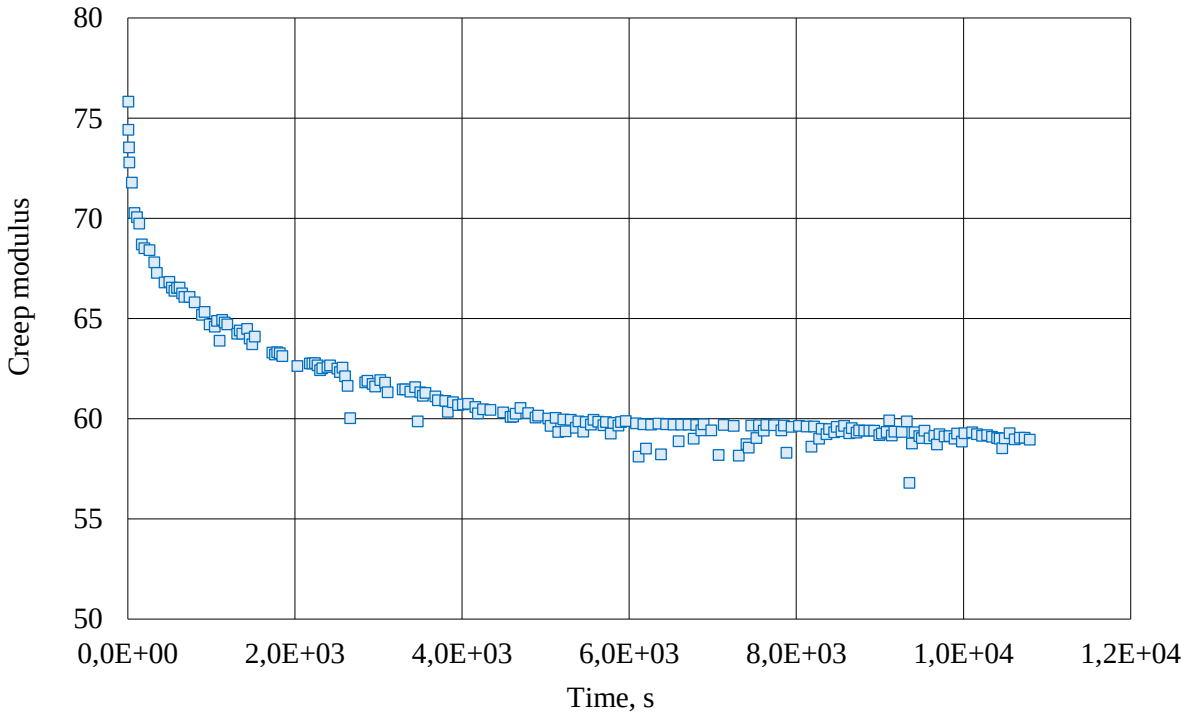


Fig. 1 – Creep modulus of beech at 20N and 22°C. Creep modulus versus time

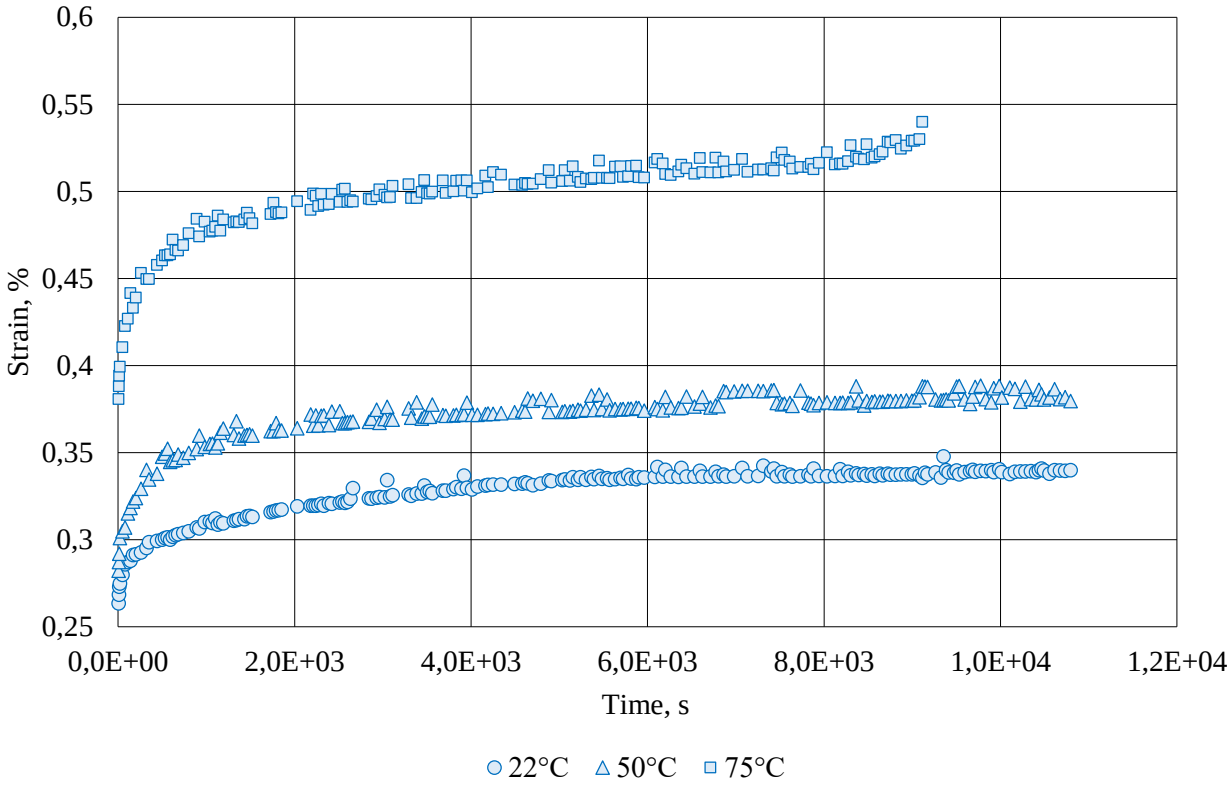


Fig. 2 – Tensile-creep curve of beech at 20N and 22°C, 50°C and 75°C respectively. Creep strain versus time

Conclusions. This applied investigations were devoted to verify possibility of Dynamic mechanical analysis using to investigate short-term creep behavior of beech wood. Short-term creep tests in tension have been conducted to obtain creep compliance curves at different temperatures and load level while maintaining a constant moisture content. The corresponding graphical dependencies characterizing the creep behavior of beech wood have been obtained. It should be noted, currently there is no standard testing method to properly evaluate the creep behaviour of wood using DMA, nevertheless the obtained results are in good agreement with the results obtained by other standard methods. Based on the results obtained, we can summarize DMA can be quite acceptable for predicting the shortterm creep behavior of wood materials. For a better quantitative assessment, it is necessary to carry out more thorough experimental studies taking into account all the factors described above.

References

1. ASTM D6815-09 (2015). Standard Specification for Evaluation of Duration of Load and Creep Effects of Wood and Wood-Based Products.

2. Jacem Tissaoui. Effects of Long-Term Creep on the Integrity of Modern Wood Structures. Blacksburg, Virginia, 1996, pp.10-11.

3. Pecoraro, Pizzo, Salvini, Macchioni, DMA At Room Temperature of Archaeological Wood Treated with Various Consolidants. Holzforschung, vol. 73, no. 8, 2019, pp. 757-772.

4. Williams, J. G., Accelerated Characterization of Creep Response of an Off-Axis Composite Material, Composites Science and Technology, Vol. 38, 1990, pp. 103-118.

5. Netzsch. Manual for High-Force DMA GABO EPLEXOR® Series up to ± 500N Dynamic Mechanical Testing Systems Analyzing & Testing, 2016.

УДК 691.075.5

Ломага В.В., аспірант,
Цапко Ю.В., докт. техн. наук, професор,
Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ,
lomaga39@gmail.com

УМОВИ ЗАСТОСУВАННЯ ВОГНЕЗАХИЩЕНОЇ ДЕРЕВИНИ НА ОБЄКТАХ РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Деревина та вироби з неї знаходять широке застосування у будівництві та побуті і складають значний відсоток пожежного навантаження. За пожежними та будівельними нормами і правилами ці матеріали класифікуються як матеріали підвищеної горючості, легкозаймисті, значно поширюють полум'я, з високою димоутворювальною здатністю. Одним з методів підвищення рівня пожежної безпеки об'єктів, де використовуються будівельні конструкції з деревини, є застосування їх вогнезахисного оброблення. Оскільки, окремі вогнезахисні засоби на органічній основі разом із зниженням горючості при дії високої температури підвищують димоутворювальну здатність та виділяють токсичні продукти горіння. Тому дослідження, що направлені на визначення пожежонебезпечних властивостей нових вогнезахисних композицій, встановлення кількості компонентів покриття на гальмування процесу горіння, є актуальними.

Для встановлення горючості деревини використовували зразки рівношарової деревини сосни, щільністю 420…470 кг/м^3. На поверхню деревини наносили вогнезахисний засіб для дерев'яних конструкцій («ФАЄРВОЛ-ЛАК») та захисний фінішний лак «Алкідно-Поліуретановий лак» (ТМ «Композит»). Після сушіння до постійної маси проводили випробування оброблених зразків деревини.

Дослідження з визначення горючості, індексу поширення полум'я та димоутворення, обробленої покриттям проводили на відповідність вимогам пожежної безпеки ДБН В.1.1-7-2016 [1]. Результати досліджень з експериментального визначення групи горючості приведено на рис. 1.

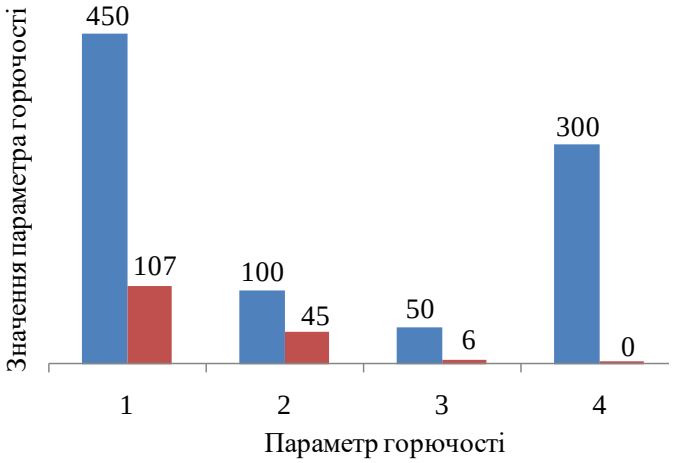


Рис. 1 – визначення групи горючості обробленої деревини (– вогнезахищена деревина, – необроблена деревина): 1 – температура димових газів (t, °c); 2 – ступінь пошкодження зразків за довжиною (s_l, %); 3 – ступінь пошкодження за масою (s_m, %); 4 – тривалість самостійного горіння (τ, с)

З рис. 1 видно, що деревина, вогнезахищена покриттям відноситься до будівельних матеріалів низької горючості (Г1), а необроблену деревину класифіковано, як будівельний матеріал підвищеної горючості (Г4).

В табл. 1 наведено результати визначення групи поширення полум'я деревиною.

Таблиця 1 – Результати випробувань з визначення групи поширення полум'я деревиною

Деревина	Час займання зразка від початку випробувань, с	Тривалість полум'яного горіння зразка, с	Середнє значення пошкодженої частини зразка, мм	Критична поверхнева густина теплового потоку, кВт/м^2
необроблена	36	понад 600	686	4,1
вогнезахищена	відсутній	не відбулося	39,6	понад 11,0

За результатами досліджень зразки деревини вогнезахищеної покриттям відносять до матеріалів, що не поширюють полум'я поверхнею (РП1), а необроблена деревина до матеріалів, що поширюють полум'я поверхнею (РП4).

На рис 2. наведено результати визначення коефіцієнта димоутворення вогнезахищеної деревини.

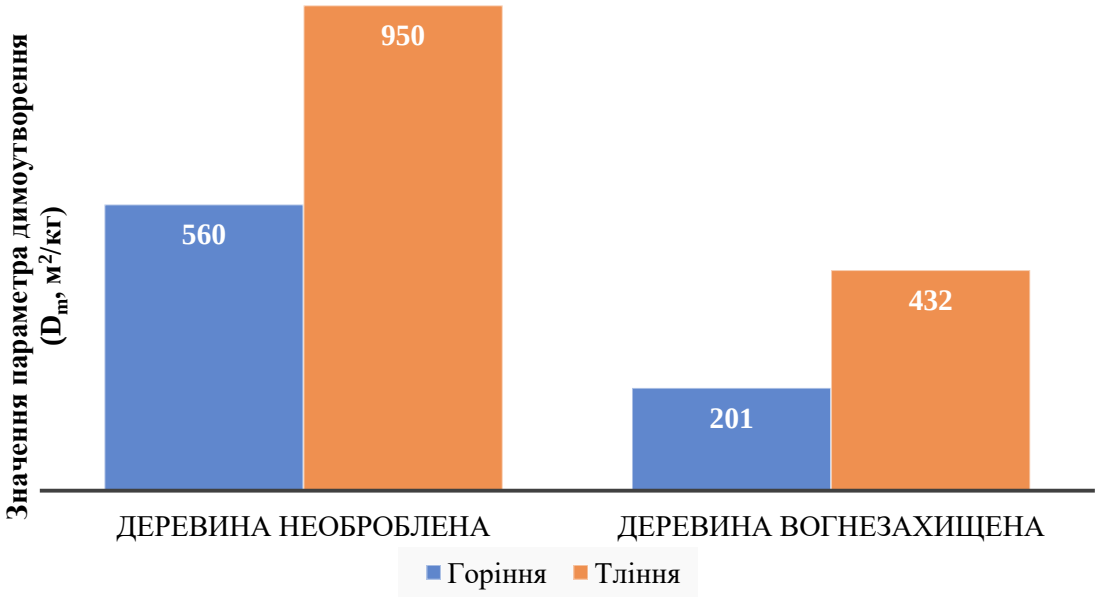


Рис. 2 – Результати визначення коефіцієнта димоутворення (D_m, м^2/кг) при полум'яному горінні та тлінні зразків деревини необробленої та обробленої покриттям.

Дослідження показали (рис. 2.) зменшення понад два рази коефіцієнта димоутворення для вогнезахищених зразків деревини та їх перехід з групи матеріалів з високою димоутворювальною здатністю (для необроблених зразків) до групи матеріалів з помірною димоутворювальною здатністю (Д2).

Висновки. Таким чином, деревина сосни, на яку нанесено вогнезахисне покриттям на основі органічних та неорганічних речовин ("Фаєрвол-лак") із зовнішнім покриттям однокомпонентним алкід-поліуренітановим лаком «Композит» витримує температурний вплив. За пожежною класифікацією вогнезахищена деревина відноситься до матеріалів низької горючості, важкозаймистий матеріал, що не поширює полум'я поверхнею, з помірною димоутворювальною здатністю.

Список посилань

1. ДБН В.1.1-7-2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва (ДБН В.1.1-7-2016). [Дата введения 2016–01–01]. – К., 2017. – 47 с. (Держбуд України).

УДК 674.04

Дацків Г.М., аспірант,
Кшивецький Б. Я., докт. техн. наук, професор,
Національний лісотехнічний університет України, datskivhalyna12@gmail.com

ЩОДО РЕЗУЛЬТАТІВ ПРИШВИДШЕНИХ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ МІЦНОСТІ СКЛЕЮВАННЯ ТЕРМІЧНО МОДИФІКОВАНОЇ ДЕРЕВИНИ КЛЕЯМИ НА ОСНОВІ ПВА

Завдяки покращеним властивостям термічно модифікована деревина може експлуатуватись у більш агресивніших середовищах в порівняні з немодифікованою. Проте виникає проблема із її склеюванням, оскільки через низьку щільність та гладку поверхню, яка утворюється після модифікування, погіршуються її адгезійні властивості.

Для вирішення цього питання були проведені пришвидшені і тривалі експериментальні дослідження з вивчення адгезійної міцності клейових з'єднань термічно модифікованої деревини ясена з немодифікованою деревиною сосни, що склеєна термопластичними полівінілацетатними клеями із класом довговічності D4.

Пришвидшені експериментальні дослідження проводились у лабораторних умовах [1] відповідно до стандартів EN 204 і EN 205. Середнє значення міцності клейового з'єднання термічно модифікованої деревини ясена із немодифікованою деревиною сосни для контрольних зразків становить 7,12 МПа. Після першого циклу випробувань 6,21 МПа. Зразки у більшості випадків руйнувалися по клейовому з'єднанні. Після другого циклу випробувань середнє значення міцності складає 4,56 МПа. Кількість зразків, які руйнувались по клейовому з'єднанню становила 80%. Середня міцність експериментальних зразків після третього циклу становить – 3,90 МПа. Кількість експериментальних зразків, які руйнувались по клейовому з'єднанню становила 92%. Якщо порівняти отримані результати пришвидшених експериментальних досліджень міцності з результатами контрольних зразків, то початкова міцність зразків термічно модифікованої деревини ясена і сосни немодифікованої після першого етапу зменшилась на 13%, після другого на 36% і після третього – 45%. Це можна пояснити структурними змінами, що відбуваються під час термічного модифікування деревини, які призводить до поганої адгезію клеїв до такої деревини.

На рисунку 1 наведено загальну міцність термічно модифікованої деревини ясена і немодифікованої деревини сосни склеєної термопластичними полівінілацетатними клеями для контрольних зразків та після трьох етапів випробування.

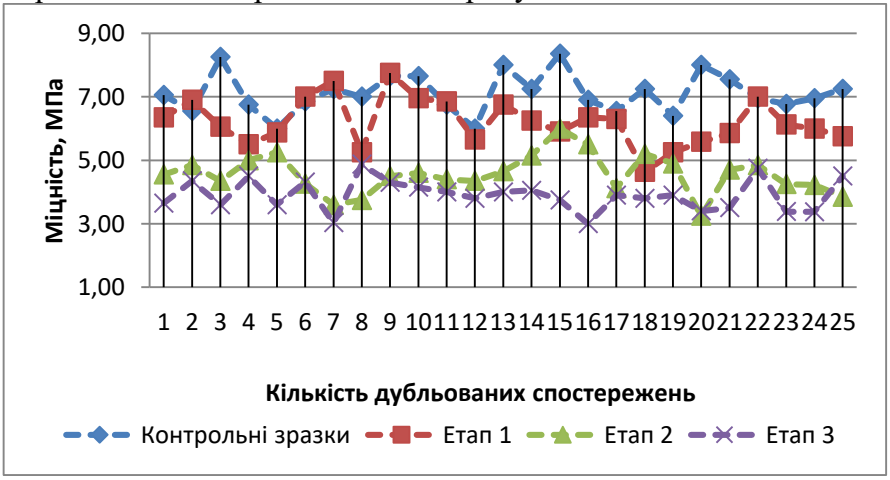


Рис. 1 – Міцність термічно модифікованої деревини ясена і немодифікованої деревини сосни склеєної термопластичними полівінілацетатними клеями для контрольних зразків та після трьох етапів випробування.

З рис. 1 видно що міцність клейових з'єднань термічно модифікованої деревини ясена і немодифікованої деревини сосни після кожного етапу змінюється за однаковими залежностями але з різною величиною міцності.

Підсумовуючи можна зробити висновки:

1. Встановлено, що міцність клейових з'єднань термічно модифікованої деревини ясена і немодифікованої деревини сосни після першого, другого і третього циклів зменшилась на 13%, 36% і 45% відповідно. Таке зменшення міцності, хоч і є суттєвим, але забезпечує належну міцність з'єднанню відповідно до вимог стандарту EN 204.

2. Припущено, що зниження адгезійної міцності клейових з'єднань термічно модифікованої деревини ясена і немодифікованої деревини сосни відбувається за рахунок фізико-хімічних змін деревини ясена в процесі її модифікування, що супроводжується виділенням фурфуролу, який утворює плівку на поверхні деревини ясена і тим самим перешкоджає проникненню клею в підкладку.

3. Вироби на основі клейових з'єднань термічно модифікованої деревини ясена і немодифікованої деревини сосни склеєної термопластичними полівінілацетатними клеями можуть використовуватись як у середині приміщень з змінними вологісними показниками так і зовні при їх опорядженні.

Список посилань

1. Дацків Г.М. Щодо пришвидшених експериментальних досліджень міцності клейового з'єднання термічно модифікованої деревини клеями на основі ПВА. / Дацків Г.М., Кшивецький Б.Я. // XI Міжнародна науково-практична конференція «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» Том 1. 26 – 27 травня 2021 р. – С. 175-177.

2. Кшивецький Б. Я. Загальні відомості про клеї, склеювання та термічно модифіковану деревину./ Кшивецький Б. Я., Дацків Г. М., Андрашек Й. В. // Науковий вісник НЛТУ України. – 2019. – т. 29. – № 3. – С. 81–84.

3. EN 205:2003 Клеи - клеи для древесины для применения не в производстве конструкционного силового бруса – определение предела прочности. ICS 83.180. Заменяет документ EN 205: 1991.

4. EN 204:2001 Классификация термопластичных клеев для древесины для применения не в производстве конструкционного силового бруса. ICS 83.180. Заменяет документ EN 204: 1991 г.

5. Winandy, J.E., Rowell, M.R. (2005) Chemistry of wood strength. In: Wood Chemistry and Wood Composites. Ed. Rowell, M.R. Taylor & Francis, Boca Raton, FL. pp. 303-347

6. Windeisen E, Wegener G, Ba¨chle H, Zimmer B (2009) Relations between the chemical changes and mechanical properties of thermally treated wood. Holzforschung 63:773–778

7. ThermoWood: Handbook – Helsinki (2003). FINLAND: International ThermoWood Association.

УДК 674.038; 674.061

Буйських Н.В., канд. техн. наук, ст. викладач,
Національний університет біоресурсів і природокористування України, nataby@meta.ua,
Бондаренко Н.М., канд. економ. наук, доцент,
Дніпровський національний університет ім. О. Гончара, bondarenkonatalya1@gmail.com

ЩОДО ПИТАНЬ ТЕРМІНОЛОГІЇ ЛІСОПРОДУКЦІЇ

Деревина є екологічно чистим біологічним рослинним матеріалом, якому притаманна значна мінливість властивостей, і попит на який у світі та у нас в Україні залишається стабільно високим. Тому вкрай важливо формування раціональних, чітких та прозорих умов торгівлі цим сировинним ресурсом.

Обсяг заготівлі ліквідної деревини від усіх видів рубок за останні 10 років становить в Україні – 16,1−19,7 млн. м^3, в т.ч. від рубок головного користування – 7,4−8,0 млн. м^3. В цей же час лісопромисловий сектор України продемонстрував збільшення експорту окремих виробів з деревини (дров, пиломатеріалів, заготовок, пиляного шпону, деревного

вугілля, меблевих деталей, тощо). Під час загального у торгівлі різними товарами дефіциту, лісопромисловий сектор відмічається стабільним торговим профіцитом, який в 2020 році перевищив 1 млрд. дол. США – рис.1.



Рис. 1. ЗЕД лісопромислового сектору України [1]

Слід відмітити, що на ринок деревини значний вплив має система стандартизації, якість та адаптивність якої значно впливає на взаємовідносини між учасниками ринку та на формування ціни на деревну сировину. В останні роки з метою створення національної біржової платформи було доопрацьовано ряд нормативних актів, згідно яких торгівля необробленою деревиною стала можливою на ліцензованих біржах, які проходять перевірки, мають власні наглядові ради та прозору систему роботи. Для успішної торгівлі деревиною на біржових майданчиках, а також обґрунтованого формування цінової політики, необхідно, щоб така продукція була стандартизована, як за термінологією, так і за розмірно-якісними характеристиками.

В лісопромисловому секторі України діють нормативні документи (НД), що представлені національними стандартами, в тому числі гармонізованими з європейськими та міжнародними, галузевими стандартами та стандартами організацій. Наявні на сьогодні національні та галузеві НД повністю покривають номенклатуру деревини (круглих лісоматеріалів, необробленої деревини) у частині розмірно-якісної класифікації, методів обмірювання, визначення об'ємів, транспортування, приймання, зберігання, маркування тощо. Наразі суттєвих перешкод для торгівлі деревиною з точки зору її класифікації, вимірювання і визначення обсягів не існує.

В той же час існує певна неузгодженість термінології лісопродукції, яка зустрічаються в нормативних документах та нормативно-правових актах. Наприклад – термін «деревина» (wood) в ISO 24294:2013 «Timber — Round and sawntimber — Vocabulary» (Лісоматеріали – Круглі та пиляні лісоматеріали – Словник) визначається як лігноцелюлозна речовина, розташована між серцевиною та корою дерева чи чагарника (lignocellulosic substance between the pith and bark of a tree or a shrub), а в ДСТУ ISO 8965:2018 (ISO 8965:2013, IDT) «Промисловість лісозаготівельна. Технологія. Терміни та визначення понять», як лісоматеріали, деревні хлисти та ялинки новорічні. Такий термін як «лісоматеріал» (timber) за ISO 24294:2013 визначено, як деревина у вигляді стоячих на кореню або повалених дерев, або деревна продукція, одержувана з них шляхом переробки (wood in the form of standing or felled trees, or a wood product of these after conversion). В міжнародній практиці терміни «деревина» та «лісоматеріал» англійською та французькою мовами часто використовуються в одному сенсі для позначення основного матеріалу (речовини), який використовується для отримання продукції з деревини.

В усталеній вітчизняній практиці термін «лісоматеріал» не відносять до стоячих на кореню або повалених дерев. За ДСТУ 3071-95 «Продукція лісозаготівельної промисловості. Терміни та визначення» до поняття «лісоматеріали» (wood products) відносять деревні матеріали, одержані поділом на частини повалених дерев та деревних колод (уздовж чи впоперек) для подальшого використання чи перероблення і технологічна тріска. В міжнародній практиці до лісоматеріалів прийнято відносити всі напівфабрикати з цільної деревини, поділяючи їх лише за способом обробки, наприклад: круглі лісоматеріали, лісоматеріали пиляні, лісоматеріали стругані, тощо. Термін «необроблена деревина» – лісоматеріали в природному стані, зрубані, переважно з підрубленими гілками, а також з вилученим зовнішнім або як із зовнішнім, так і внутрішнім шаром кори, або лише з вилученими опуклостями – взагалі не являється стандартизованим. Таке визначення цього поняття зустрічається лише в УКТ ЗЕД (Постанова КМУ № 428 від 21 травня 2012 р., ЗУ № 674-IX «Про Митний тариф України» від 4 червня 2020 р.).

Таким чином, в системі термінології на продукцію з деревини, яка є сировиною для подальшої переробки, за чинними нормативними документами і нормативно-правовими актами є неузгодженості щодо термінів та їх визначень і відмінні тлумачення. Наразі, під час розроблення нормативно-правових актів є доцільним внесення пояснень до використовуваних загальних термінів, на які чіткого і однозначного визначення в чинних нормативних документах (національних, галузевих стандартах тощо) України немає.

Слід відмітити, що подібні неузгодженості у системі термінології спостерігаються й на інші види лісопродукції та їх характеристики, що потребує значної роботи фахівців та об’ємний перегляд чинної нормативної документації.

Список посилань

1. Яворський П. Ринок деревини та лісоматеріалів України: як працює та що стримує розвиток? [монографія] / Павло Яворський, Юлія Павицька, Павло Кухта, Валентин Литвинов. – KSE Institute: 2021 р. – 170 с.

УДК 674.815:631.572

Козак Р.О., докт. техн. наук, доцент
Копанський М.М., канд. техн. наук, доцент
Ортинська Г.Є., канд. техн. наук, доцент
Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, kozak_r@nltu.edu.ua

ВЛАСТИВОСТІ СТРУЖКОВИХ ПЛИТ З ВМІСТОМ СТРУЖКИ ЗІ СТЕБЕЛ КУКУРУДЗИ

Стружкові плити на сьогоднішній день можна вважати основним матеріалом у меблевій і деревообробній промисловості. Однак, розвиток виробництва стружкових плит стримується нестачею деревини [1, 2], що змушує виробників таких композитів все частіше звертати увагу на альтернативні джерела сировини, зокрема і агросировину. В умовах аграрної України, де сільськогосподарські землі займають майже 71% усіх земель і з них близько половини зайняті під зернові культури [3], стебла кукурудзи можуть стати перспективною сировиною, яка здатна замінити деревину у виробництві деревинних композитів і зокрема стружкових плит. Україна є серед лідерів країн з вирощування кукурудзи. За десятирічний період в Україні посівні площі під кукурудзою збільшилися майже вдвічі й становлять близько 5 млд. га, а її експорт зріс ушестеро [4]. Це свідчить про наявність в Україні значних обсягів стеблової частини кукурудзи. Хімічний склад стебел кукурудзи і деревини подібний. Щільність кукурудзяних стебел коливається в межах 380-450 кг/м^3 [5] і відповідає вимогам до сировини у виробництві стружкових плит. Запаси таких стебел щорічно поповнюються, вони є відходом сільського господарства з

обмеженим використанням і низькою ціною. Отже, потенціал стебел кукурудзи цілком достатній, щоб частково замінити деревинну сировину у виробництві стружкових плит. Однак, відомості про властивості стружкових плит з вмістом стебел кукурудзи є обмеженими тому є потреба в додаткових дослідженнях. Метою даної роботи було експериментально встановити основні властивості стружкових плит з вмістом стружки зі стебел кукурудзи.

Для виготовлення зразків стружкових плит використовувалась деревинна стружка фракцій внутрішнього і зовнішнього шару промислового виготовлення та стружка з стебел кукурудзи. Стебла кукурудзи спочатку подрібнювалися в січку. Січка доподрібнювалася в стружку до фракцій внутрішнього шару плит. Вся стружка висушувалася до вологості 3%. Для склеювання стружки застосовувались клеї на основі карбамідоформальдегідної та меламіноформальдегідної смол (КФС та МФС). Клей готували шляхом додавання до смоли парафінової емульсії, 43% водного розчину карбаміду. В якості затверджувача використовували 33% водний розчин сульфату амонію. Окремо готували клей за рецептурою для внутрішнього і зовнішнього шару плити. Виготовляли тришарові плити 300×300×16 мм щільністю 650 кг/м^3 без вмісту стружки з стебел кукурудзи та з їх вмістом 25%, 50%, 75%, 100%. Масова частка зовнішніх шарів становила 33%, середнього – 67%. Стружку з стебел кукурудзи додавали тільки у середній шар плити замість деревинної. Витрата клею в шарах плити становила 14% від маси абсолютно сухої стружки. З приготованої стружково-клейової суміші формувався стружковий килим, підпресовувався і спрямовувався в прес для гарячого пресування. Пресування відбувалось за температури 190°С і тиску 2,8 МПа з використанням дистанційних прокладок. Цикл пресування складав 6 хвилин. Перед розкроюванням плит на зразки виготовлені плити витримувались в лабораторії впродовж 24 год. Виготовлення зразків і їх випробування здійснювались згідно методик ДСТУ EN 310:2003 (EN 310:1992, IDT), BS EN 319:1993, ДСТУ 4761:2007 (EN 317:1993, MOD).

Результати випробувань властивостей стружкових плит із використанням стружки з стебел кукурудзи наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Основні властивості стружкових плит з вмістом стружки зі стебел кукурудзи

Властивості	Вміст стружки з стебел кукурудзи в плиті, %				
	без стебел кукурудзи	25	50	75	100
Міцність під час статичного згинання, МПа	15,6 / 16,3	12,6 / 13,0	9,4 / 10,9	6,9 / 9,9	6,8 / 9,4
Модуль пружності під час статичного згинання, МПа	1884 / 2145	1488 / 2032	1229 / 1535	1030 / 1443	935 / 1434
Міцність під час розтягу перпендикулярно пласті плити, МПа	0,36 / 0,50	0,32 / 0,38	0,18 / 0,23	0,16 / 0,17	0,07 / 0,10
Водопоглинання, % 2 год	22,8 / 20,0	27,4 / 22,5	32,8 / 27,1	36,9 / 30,9	40,5 / 33,6
24 год	35,2 / 28,5	42,7 / 33,3	45,8 / 39,5	52,1 / 41,5	54,4 / 44,0
Набрякання за товщиною, % 2 год	7,6 / 6,3	10,8 / 7,9	16,0 / 12,9	19,9 / 14,7	24,6 / 14,8
24 год	11,9 / 9,7	17,2 / 10,8	21,6 / 17,2	27,8 / 19,2	31,9 / 22,3

Примітка. В чисельнику значення для плит на основі КФС, в знаменнику – для МФС.

Експериментальними дослідженнями встановлено, що вміст стружки з стебел кукурудзи у внутрішньому шарі стружкових плит виготовлених на основі КФС і МФС погіршує їх межу міцності та модуль пружності під час статичного згинання, межу міцності під час розтягу перпендикулярно пласті, водопоглинання і набрякання. Однак, застосування МФС у виробництві стружкових плит з вмістом стружки з стебел кукурудзи замість КФС, покращує досліджувані властивості таких плит. Плити на основі МФС з вмістом до 25% стружки з стебел кукурудзи за показниками властивостей відповідають вимогам стандарту, що дає змогу залучити стружку з стебел кукурудзи у виробництво стружкових плит і, відповідно, економити деревинну сировину.

Список посилань

1. Zheng Y. Particleboard quality characteristics of saline jose tall wheatgrass and chemical treatment effect [Text] / Y. Zheng, R. Z. Zhang, B. M. Jenkins, S. Blunk // Bioresource Technology. – 2007. – № 98, – P. 1304-1310.

2. Singha A. S.Effect of fibre loading on properties of urea-formaldehyde matrix based green composites [Text] / A. S. Singha, V. K. Thakur // Iranian Polymer Journal. – 2008. - № 17(11), - P. 861-873.

3. Державна служба статистики України. Сільське господарство України. Статистичний збірник. За ред. Н.С. Власенко [Текст]. – К. : ТОВ "Август трейд", 2014. – 390 с.

4. Світовий ринок кукурудзи та місце України на ньому [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://pricereview.com.ua/articles/svitovij-rinok-kukurudzi-ta-miscze-ukra%D1%97ni-na-nomu.

5. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: підручник / [О.М.Царенко, Д.Г. Войтюк, В.М.Шавайко та ін.]; за ред. С.С. Яцуна [Текст]. – К. : Мета, 2003. – 448 с.

УДК 674.093.26

Чернецький О.М., аспірант,
Кусняк І.І., канд.техн.наук, ст. викладач,
Бехта Н.С., ст. викладач,
Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, iryna.rondyak@gmail.com

ВПЛИВ ТОВЩИНИ ВТОРИННОЇ ПОЛІЕТИЛЕНОВОЇ ПЛІВКИ НА ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ БУКОВОЇ ФАНЕРИ

Виробництво фанери склеєної термопластичними плівками – одна з перспективних технологій. Заміна рідких термореактивних клеїв сухими термопластичними плівками у технологічному процесі виготовлення фанери забезпечує зменшення токсичності деревинного композиту [2]. Крім того, багаторазове перероблення термопластичних полімерів дозволяє використовувати для склеювання листів шпону плівки вторинного перероблення [1]. Цей фактор є важливим з точки зору захисту довкілля. Адже відомо, що у всьому світі утворюється велика кількість полімерних відходів (~ 6,3 млрд. тонн), з яких лише ~ 9 % утилізуються. Проблема перероблення полімерних відходів набуває у світі все більшого значення. Тому, дослідження в напрямку використання вторинної сировини у виробництві фанери є своєчасним і актуальним.

Метою дослідження є з'ясувати фізичні властивості букової фанери склеєної вторинною термопластичною поліетиленовою плівкою (ВПЕНГ) різної товщини.

В експериментах застосовували лущений шпон породи бук (300×300×0,45 мм) вологістю 6±2 % і плівку ВПЕНГ товщиною 50 мкм, 100 мкм і 150 мкм. Термореактивний карбамідо-формальдегідний клей марки КФ-МТ використовували для порівняння результатів. Виготовляли тришарову фанеру. Сформовані пакети шпону з плівкою ВПЕНГ склеювали за наступними параметрами пресування: тиск – 1,4 МПа, температура – 160 ^{o}С, час – 4,5 хв. Фанеру склеєну КФ-МТ клеєм виготовляли за тиску – 1,8 МПа, температури – 110 ^{o}С, часу – 6 хв, витрати клею – 110 г/м^2. Листи фанери піддавали стадії холодного пресування за

Т=20±2 ºС впродовж 5 хв з наступним кондиціонуванням 7 діб (Т=20±2 ºС, W=65±5 %). З кожної фанери вирізали зразки для визначення її щільності, водопоглинання та набрякання після витримки у воді впродовж 24 год згідно EN 323 (1993), EN 317 (1993).

Встановлено, що товщина термопластичної плівки ВПЕНГ суттєво впливає на фізичні властивості фанери. Із збільшенням товщини плівки від 50 мкм до 150 мкм, щільність зразків букової фанери – збільшується (рис. 1).

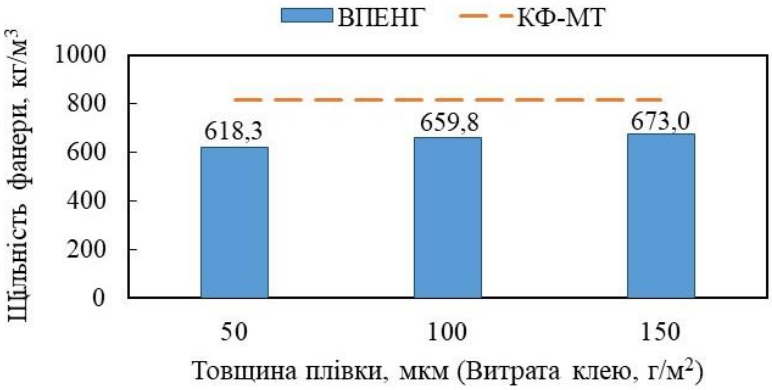


Рис. 1 – Залежність щільності фанери від товщини плівки ВПЕНГ та виду клею

Це зумовлено клітинною структурою деревини. Із збільшенням товщини плівки ВПЕНГ, збільшується кількість заповнення клітин та порожнин деревини шпону в'язкотекучим полімером, що як наслідок веде до збільшення питомої ваги пакета шпону. Встановлено, що середні значення щільності фанери від 618,3 кг/м^3 до 673,0 кг/м^3 склеєної термопластичною плівкою ВПЕНГ – дещо менші від середніх значень щільності фанери склеєної КФ-МТ клеєм – 817,6 кг/м^3. Це очевидно, адже зразки фанери склеєної КФ-МТ клеєм пресувалися за дещо більшого тиску 1,8 МПа, ніж зразки фанери склеєної ВПЕНГ – 1,4 МПа.

Показники водопоглинання та набрякання за товщиною після витримки у воді впродовж 24 год зменшуються відповідно до збільшення товщини плівки ВПЕНГ (рис. 2).

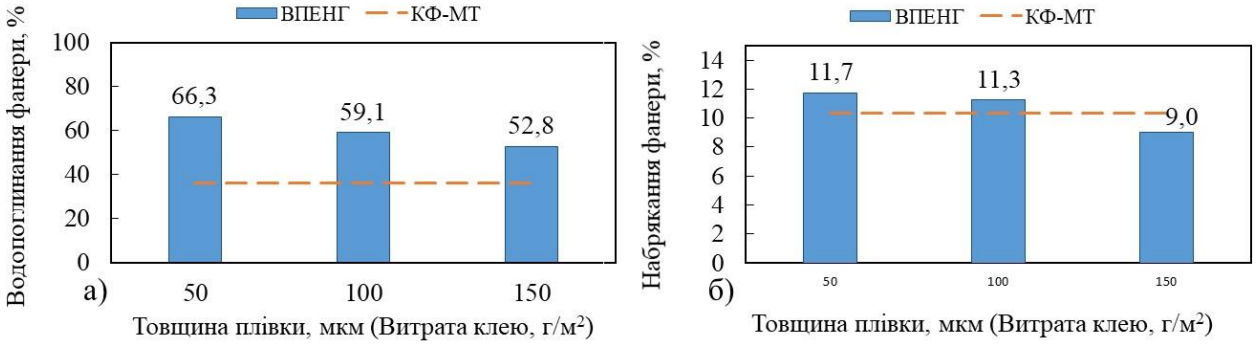


Рис. 2 – Залежність фізичних властивостей фанери від товщини плівки ВПЕНГ та виду клею: а) водопоглинання; б) набрякання

Таку залежність можна пояснити механічною адгезією полімеру. Чим більша товщина плівки, тим більша кількість в'язкотекучого полімеру проникає в структуру та порожнини шпону, утворюючи механічне блокування [3]. Таким чином, клітини та порожнини деревини заповнюються полімером, який перешкоджатиме вільному переміщенню води у деревині шпону. Одержані результати середніх значень водопоглинання взірців фанери склеєних плівкою ВПЕНГ та КФ-МТ клеєм – дещо різняться, що вказує на низькі гідрофобні властивості фанери склеєної плівкою ВПЕНГ.

Висновки. Результати експериментальних досліджень показують, що товщина термопластичного полімеру ВПЕНГ суттєво впливає на щільність, водопоглинання та

набрякання фанери за товщиною. Зокрема, показники щільності фанери склеєної плівкою ВПЕНГ збільшуються – на 8,8 %, показники водопоглинання зменшуються – на 25,6 % та показники набрякання за товщиною зменшуються – на 30,0 % відповідно до товщини плівки. За результатами досліджень встановлено, що фанера склеєна вторинними плівками ПЕНГ володіє низькими гідрофобними властивостями.

Список посилань

1 Bekhta, P., & Kusniak, I. (2018). Thermoplastic polymers in the production of plywood products: advantages, opportunities and perspectives of application. Collection of scientific works of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine. Lviv, 16, 131–140. https://doi.org/10.15421/411815. (In Ukrainian).

2 Cui, T., Song, K., Zhang, S. (2010). Research on utilizing recycled plastic to make environment-friendly plywood. *Forestry Studies in China*, 12 (4), 218–222. DOI: https://doi: 10.1007/s11632-010-0401-y.

3 Bekhta, P.A., Kusniak, I.I. (2019) The plywood properties with using thermoplastic film as glue. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, Lviv, issue 19, 209–222. https://doi.org/10.15421/411943 (in Ukrainian).

УДК 674.07:624.011.1

Цапко Ю.В., докт. техн. наук, професор,
Горбачова О.Ю., канд. техн. наук,
Мазурчук С.М., канд. техн. наук,
Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ
gorbachova.sasha@ukr.net

ЩОДО ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ЗАХИСТУ ПОЛІМЕРНОЮ ОБОЛОНКОЮ ДЕРЕВИНИ ВІД БІОРУЙНУВАННЯ

В будівництві не зупиняється пошук високоефективних засобів захисту деревини від руйнування, оскільки її експлуатація на відкритому повітрі робить вразливою до умов середовища, які значно знижують її природну довговічність і з часом руйнують.

Найпоширенішими дефектами структурних елементів є біологічні пошкодження опорних зон покриття та конструкцій балки перекриття, а застосування просочення полімерною сумішшю в зонах руйнування дозволяє відновити фізико-механічні властивості деревини та зберегти вигляд архітектурної споруди в цілому.

Термічна модифікація деревини викликає хімічні зміни, які суттєво впливають на фізичні, механічні та біологічні властивості деревини [1]. Таким чином, важливо вивчити ці зміни для кращого використання продуктів. Стійкість термічно модифікованої деревини до атмосферних впливів дещо краща у порівнянні з необробленою деревиною, але з часом проходить вивітрювання поверхні і постає необхідність додаткової обробки. При захисті термічно модифікованої деревини слід враховувати зміну деяких її властивостей. Виявлено, що термічно модифікована деревини має більш гідрофобну поверхню, мало поглинає води, але все-таки вимагає застосування еластичних покриттів, зокрема, на основі масла.

Дослідники відмічають [2], що одним з ефективних способів запобігти деградації деревини є нанесення захисних шарів покриття шляхом хімічної модифікації поверхні. Останні тенденції в цій галузі включають використання натуральних продуктів на біологічній основі – екстрактивних речовин, олій, воску, смол, біополімерів, агентів біологічного контролю – для яких основний критерій класифікації представлений типом захисту. Масла забезпечують найкращий захист виробів з деревини, але їх застосування обмежується їх тривалою полімеризацією, крім того вони гарантують захист не більше 3 років. Тобто залишилися невирішеними питання, пов'язані з стійкістю даних покриттів до атмосферних коливань при застосуванні в зовнішніх умовах.

Таким чином, з літературних джерел встановлено, що при експлуатації деревини йде поступова деградація її складових, що потребує ефективного захисту екологічно

безпечними речовинами. А мізерність даних для пояснення і опису процесу біозахисту деревини, нехтування застосуванням органічних речовин, що утворюють еластичні покриття, призводить до неефективного застосування засобів захисту. Це свідчить про доцільність проведення даного дослідження із визначення ефективності захисту виробів з деревини захисними покриттями, що сприятиме зростанню терміну застосування будівельних конструкцій в умовах навколишнього середовища.

Для досліджень з визначення біологічної стійкості використовували зразки деревини сосни, граба та дубу, термічно модифіковані зразки та оброблені захисними покриттями.

Визначення біологічної деструкції деревини проводили за робочою методикою, суть якої полягала у експериментальному визначенні втрати маси захищеної деревини упродовж двох місяців у лабораторних умовах при впливі ґрунтової мікрофлори (зразки вражені культурами дереворуйнівних грибів Гериції шиповатого (Hericium erinaccus)) за певних повітряно-вологісних умов і упродовж визначеного часу. Деревина вважається біостійкою, якщо середній показник втрати маси зразків становить не більше 5 %.

Частку зруйнованої деревини розраховували за формулою:

$$X_e = \frac{m_1 - m_2}{m_2}, \tag{1}$$

де m_1 – маса зразка до випробування, г;

m_2 – маса зразка після випробування, г.

Враховуючи, що частка об'єму деревини, яка приймає участь у біохімічному обмінному процесі залежить від розміру популяції мікроорганізмів провели моделювання параметрів проникнення мікроорганізмів у деревину та її руйнування та отримали рівняння:

$$X = 1 - e^{-2kN_m \frac{t_m}{\Delta}\left\{th\frac{\Delta}{2} - th\left[\left(1-\frac{t}{t_m}\right)\cdot\frac{\Delta}{2}\right]\right\}}. \tag{2}$$

де k – коефіцієнт проникності мікроорганізмів в матеріал;

N_m – максимальна кількість мікроорганізмів у деревині, %;

t_m – час утворення максимальної кількості мікроорганізмів в деревині, діб;

Δ – параметр проникнення мікроорганізмів;

t – час дії мікроорганізмів на деревину, діб.

Процес біологічного руйнування деревини характеризується інкубаційним періодом – тривалістю проміжку часу, після якого починається інтенсивне руйнування. В наших дослідженнях допускається, що тривалість цього періоду співпадає з проміжком часу t_m, за якого популяція мікроорганізмів досягне критичного розміру. Крім того постає необхідність знайти значення параметра біоруйнівного процесу Δ, коефіцієнта проникності k та встановлення максимальної кількості мікроорганізмів в деревині N_m.

Упродовж випробування проводили спостереження за розвитком грибних уражень на поверхні зразків у часі. По завершенню експериментального дослідження зразки очистили від грунту та зважили після висушування і визначили параметри біоруйнування.

Аналіз результатів впливу покриття масло-воску та лазурі на стійкість деревини до біоруйнування показує, що максимальна втрата маси в разі біоруйнування необроблених зразків деревини склала від 7,6 до 16 %, а втрата маси зразків термічно модифікованої деревини не перевищила 3 %, оброблені масло-оском та лазур'ю – менше 2 %.

Встановлено, що масло-віск і лазур при оброблені термічно модифікованої деревини знижують (порівняно з необробленими) втрату маси понад 4 рази за показником біоруйнування, а оброблення антисептиком-гідрофобізатором для необробленої масло-воском і лазур'ю – понад 8 раз.

Таким чином, застосування захисних речовин в значній мірі підвищує протидію біологічного руйнування а відповідно і термін експлуатації деревини. Отримані результати

дають змогу цілеспрямовано вирішувати подальші задачі щодо створення нових засобів і способів захисту деревини відповідно до умов експлуатації деревини на різних об’єктах.

Список посилань

1. Tsapko, Yu. Study of resistance of thermomodified wood to the influence of natural conditions [Text] / Tsapko Yu., Horbachova O., Mazurchuk S., Bondarenko O. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2021. – № 1164. – 012080. doi:10.1088/1757-899X/1164/1/012080

2. Teacă, C.-A. Natural bio-based products for wood coating and protection against degradation. A review [Text] / Teacă C.-A., Roşu D., Mustaţă F., Roşca I., Varganici C.-D. // BioResources. – 2019. – Vol. 14(2). – P. 4873 – 4901.

УДК 674.093.26

Ортинська Г.Є., канд. техн. наук, доцент
Козак Р.О., доктор техн. наук, доцент
Копанський М.М., канд. техн. наук, доцент
Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, ortynska_g@nltu.edu.ua

МОЖЛИВІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ БІОКЛЕЇВ НА ОСНОВІ СОЄВИХ ПРОТЕЇНІВ У ВИРОБНИЦТВІ ФАНЕРИ

Сучасні виробництва із виготовлення фанери використовують клеї на основі синтетичних термореактивних смол: фенолоформальдегідної, карбамідоформальдегідної. Основним джерелом для їх отримання є нафтопродукти та природній газ. Однак клеї на нафтовій основі можуть створювати численні проблеми для навколишнього середовища, здоров’я та безпеки. Нафтохімічні речовини не піддаються біологічному розкладанню, вони можуть забруднювати ґрунтові води та ґрунт, що призведе до довгострокового захоронення їх на полігонах. Більшість термореактивних смол, які використовуються для виготовлення фанери, містять токсичні речовини (формальдегід, аміак та ін.). Формальдегід вважається одним з найбільш поширених забруднювачів повітря в приміщеннях. Отже, питання охорони навколишнього середовища та виготовлення екологічно чистої продукції є досить актуальними, а це призводить до зростання інтересу у використанні біоклеїв для виробництва деревинно-композиційних матеріалів, зокрема фанери.

Рекомендується для виготовлення фанерної продукції застосовувати біоклеї на основі соєвого протеїну. Проте дані клеї мають певні недоліки: міцність клейового з'єднання на зріз та їх водостійкість є меншою порівняно із клеями на основі синтетичних смол. Тому рекомендується їх модифікувати за допомогою фізичного, хімічного та ензимного методів. Дані методи рекомендовані для склеювання масивної деревини та для виробництва стружкових плит, фанери [1].

Найчастіше для виготовлення фанери застосовують хімічне модифікування соєвого протеїну. Хімічні речовини, які зазвичай використовуються для денатурації соєвих протеїнів - це кислоти, луги, солі. Механізми денатурації різні для різних груп речовин, і структура денатурованих протеїнів, ймовірно, також відрізняються [2]. Тому міцність склеювання та водостійкість клеїв на основі соєвих протеїнів, модифікованих різними денатурантами, також відрізняються. Так, додавання хімічних речовин (карбаміду, трипсину, гідроксиду натрію) дає змогу отримати клеї з широким діапазоном властивостей. Наприклад, додавання карбаміду дає змогу отримати клейове з'єднання, підвищеної водостійкості. Гідроксид натрію в поєднанні із соєвим протеїном підвищує міцність фанери на зріз та водостійкість клейового шару. Це пояснюється тим, що додавання гідроксиду натрію збільшує ступінь розкриття протеїнових молекул, а це призводить до збільшення контакту із склеюваною поверхнею лущеного шпону [3-6].

Солями, які можуть бути використані для денатурації протеїнів сої та підвищення їх міцності склеювання, а особливо водостійкості, є $NaHSO_3$ та Na_2SO_3. Модифікування соєвих протеїнів $NaHSO_3$ також має інші переваги, зокрема збільшення терміну зберігання клейової композиції [7, 8].

Підвищити водостійкість клейового з'єднання та міцність клейових композицій клеїв на основі соєвого протеїну можна шляхом введення незначної кількості фенолоформальдегідної смоли (1-5 мас.ч. смоли на 100 мас.ч. соєвого протеїну). Для поглиблення процесу поліконденсації необхідно ввести додатково агент зшивання, зокрема цитратну кислоту, оскільки вона містить карбоксильні групи, які можуть взаємодіяти із аміногрупами соєвого протеїну. Крім того цитратна кислота буде зменшувати лужність фенолоформальдегідної смоли, тим самим поглиблювати процес затвердіння клею.

Рекомендовано виготовляти клеї на основі соєвого протеїну для виробництва фанери. Клеї приготовляють наступним чином: до соєвого протеїну додавали дистильовану воду у співвідношенні 1:10; 1:15. Отримані суспензії модифікували за допомогою цитратної кислоти, натрій цитрату та натрій гідроксиду. Дані речовини мають різні значення pH середовища, що буде впливати на денатурацію соєвого протеїну. Модифікувальні речовини додавали в межах від 1 до 5 мас.ч.

Для виконання дослідів використовували лущений березовий шпон (розміром 300×300×1,5 мм, вологістю 8±2%) та виготовляли п'ятишарову фанеру за таких режимних параметрів склеювання: тиск – 1,8 МПа, температура – 150°С, тривалість – 10, витрата клею – 150 г/м^2. Для оцінювання якості склеювання фанери визначали міцність її на зріз згідно ДСТУ EN 314-2.

Отримано однорідні клейові композиції, які добре наносяться на поверхню лущеного шпону. Суттєво дані речовини впливають на pH середовища клейової композиції, відповідно це буде впливати на створення міцних адгезійних зв'язків.

Виготовлена фанера із використанням соєвої суспензії є екологічно чистим матеріалом, проте низької водостійкості. Збільшення вмісту модифікувальних речовин у клейовій композиції, зокрема фенолоформальдегідної смоли, призводить до зростання міцності фанери на зріз і коливається в межах від 0,65-1,4 МПа.

Отже, застосування клеїв, на основі соєвої суспензії, яку модифікували гідроксидом натрію дає можливість виготовляти фанеру міцністю фанери на зріз, що відповідає вимогам стандарту.

Список посилань

1.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.

2.Wescott JM High-soy-containing water-durable adhesives. / Wescott JM, Frihart CR, Traska AE. /J. Adhes. Sci. Technol. 2006;20:859–873.

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. 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.

6. Kunsheng Z. Biotechnology and food science [Текст] / Z. Kunsheng, L. Yangyang, R. Yunxia // Journal of Food Engineering, 2007. – №79, P. 1233–1237.

7. 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.

8. 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.

УДК 669.1:537.5

Урбанюк Є.А., канд. техн. наук, доцент
Хмельницький національний університет, urbanjuk@gmail.com

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ІОННОГО АЗОТУВАННЯ ДЛЯ ЗМІЦНЕННЯ ДИСКОВИХ ПИЛОК

Ефективність використання верстатів, що використовують дискові пилки з інструментальних сталей як інструмент, залежить від рівня організації виробництва, його технологічної підготовки, технічного стану верстатів та працездатності дискових пилок.

Дискові пилки для деревообробки працюють в екстремальних умовах: різальна частина зубців знаходиться під дією динамічних навантажень, високих температур та абразивно-агресивного середовища. Для збільшення терміну служби такого інструменту фізико-механічні та хімічні властивості поверхонь їх різальної частини мають мати високу стійкість від зношування та корозії, разом з тим, забезпечуючи достатній рівень пластичності для протидії крихкому руйнуванню від дії динамічних навантажень.

Сучасні методи хіміко-термічної обробки інструментальних сталей дають змогу досягати необхідних фізико-механічних якостей. До них відноситься також іонне азотування, яке дозволяє істотно зменшити технологічний час зміцнення та є енергоощадним завдяки застосуванню енергії тліючого розряду. Окрім того, даний метод екологічно безпечний.

Метод іонно-плазмового азотування в безводневих середовищах, який широко застосовується для підвищення зносостійкості та корозійної стійкості деталей машин та інструменту [1], може бути використаний і для зміцнення різальної частини дискових пилок із інструментальних сталей, так як насичення поверхневого шару металу іонізованим азотом з утворенням нітридів заліза та інших легуючих елементів забезпечує значне збільшення його поверхневої мікротвердості, зносостійкості та корозійної стійкості.

Доцільність застосування іонного азотування дискових пилок, виготовлених із інструментальних сталей, для підвищення їх довговічності визначається зростанням зносостійкості різальної частини зубів пилок при забезпеченням працездатності самого диска пилки, головними причинами втрати якої є втрата стійкості плоскої форми рівноваги та динамічної стійкості. Основними чинниками, дія яких може викликати появу критичного стану і призвести до виходу із ладу круглої пилки, є сили опору різанню, нерівномірне нагрівання по радіусу диска, початковий напружений стан, викликаний особливостями виготовлення і підготовки пилок, а також частота обертання диска при її роботі.

Для оцінки працездатності дискової пилки після зміцнення іонним азотуванням необхідно знати величини характеристик, що відповідають її граничним станам. Дослідження [2] показали, що втрата працездатності диска круглої пилки пов’язана, переважно, не із втратою ним статичної стійкості плоскої форми рівноваги, а із втратою динамічної стійкості. Тому, першою умовою забезпечення працездатності диска азотованої пилки, як і звичайної, є обмеження робочої частоти обертання диска, яка не повинна перевищувати мінімальної критичної частоти обертання. Другою умовою є забезпечення необхідної жорсткості периферійної зони диска при згинанні, нормативні значення якої залежать від діючих на пилку сил та вимог до якості розпилювання. Для дискових пилок з нанесеним по периферії дифузійним азотованим шаром такі відомості відсутні.

Проведені дослідження фізико-механічних характеристик та зносостійкості зміцненого іонно-плазмовим азотуванням поверхневого шару інструментальної сталі 9ХФ із застосуванням планування багатофакторного експерименту дозволили встановити характер комплексного впливу на них основних чинників режиму іонного азотування і виявити інтервали їх зміни, які можна вважати оптимальними. За результатами проведеного багатофакторного експерименту ними виявились температура стадії насичення 520...560°С,

тиск в робочій камері 200...320Па, тривалість азотування 150...210хв. і вміст аргону в газовій суміші 20...50%. Пилки, що були азотовані при вказаних режимах пройшли промислові випробування на однопилкових та багатопилкових верстатах і показали збільшення їх зносостійкості у 3…5 разів.

Для оцінки працездатності диска пилки було проведено моделювання напруженого стану неазотованої та азотованої пилок в статиці проводилось з допомогою спеціалізованої комп'ютерної програми «ALGOR». Метою комп'ютерного моделювання був детальний аналіз переміщень і напружень окремих дільниць диска пилки при його статичному навантаженні. Як видно із рис. 1,*а* при рівномірному навантаженні по контуру диска отримуємо порівняно рівномірний розподіл переміщень, а, отже, і напружень у тілі диска неазотованої пилки.

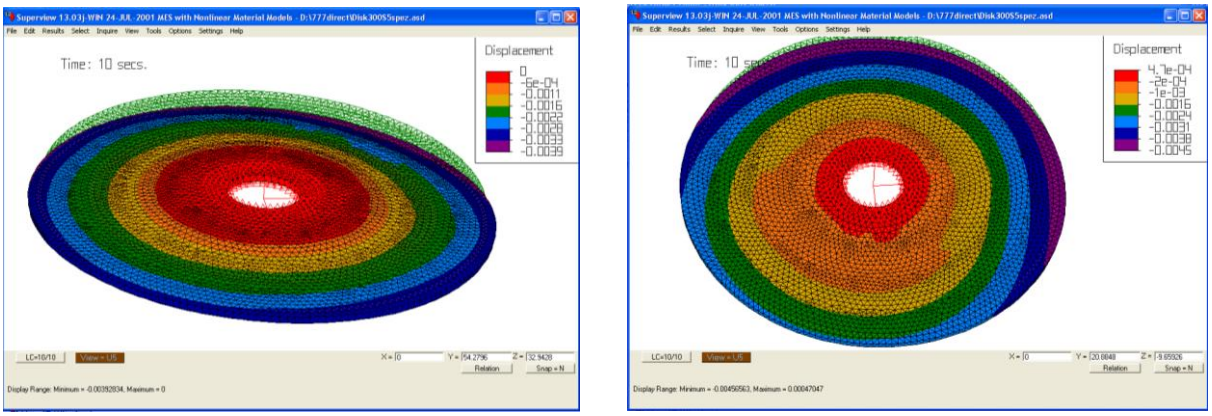


Рис. 1 – Картина напруженого стану диска пилки в статиці: а) неазотованої; б) азотованої

Для випадку нерівномірного нанесення азотованого шару по периферії диска перерозподіл внутрішніх напружень у тілі диска призводить до нерівномірних його деформацій (див. рис. 1, б), що у динаміці може привести до виходу із ладу, або навіть розриву тіла диска пилки. Тому при встановленні комплекту пилок в камеру для наступного їх азотування необхідно контролювати можливі відхилення радіального биття диска на оправці.

На можливу втрату динамічної стійкості диска пилки впливає частота його власних коливань, яка може змінюватись після нанесення азотованого шару на периферійну зону диска внаслідок перерозподілу внутрішніх напружень [3]. Для опосередкованого аналізу зміни частоти власних коливань диска азотованої пилки проводились дослідження на вібростенді ВЭДС-200А, який призначений для випробувань виробів на вібраційну міцність та стійкість в лабораторних і виробничих умовах. Аналіз результатів досліджень свідчить, що резонансні частоти для диска азотованої пилки дещо зменшуються, проте ця зміна не призводить до погіршення експлуатаційних характеристик пилок після їх зміцнення.

Отже, запропонований нами метод зміцнення дискових пилок для деревообробки може ефективно використовуватись в промислових умовах.

Список посилань

1. Каплун, В.Г. Научные основы технологии упрочнения деталей машин и инструмента ионным азотированием в безводородных средах / Дисс. на соиск. учен. степени докт. техн. наук. / Спец. 05.02.01 Материаловедение в машиностроении (промышленность). - Хмельницкий, 1990. - 451 с.

2. Стахиев, Ю.М. Работоспособность плоских круглых пил [Текст] / Ю.М. Стахиев – М.: Лесная промышленность, 1989. – 380 с.

3. Каплун В.Г., Кузовков Є.Г., Урбанюк Є.А. Аналіз напружено-деформованого стану дискових пил після іонного азотування [Текст] // Проблеми трибології (Problems of Tribology): Міжнародний науковий журнал. – Хмельницький, 1996. – №1. – С. 96-100.

УДК 621.928.93

Шевченко С.А., докт. техн. наук, доцент,
Погорілий В.К., аспірант,
Державний біотехнологічний університет, м. Харків, serg.shevchen@btu.kharkov.ua

МЕТОДИКА МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ДЕРЕВНИХ ЧАСТИНОК У ПЕРЕХІДНІЙ ЗОНІ ОЧИЩУВАЧА ПОВІТРЯ З АКТИВНИМИ РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ

У процесах деревообробки утворюється значна кількість деревних частинок, які відрізняються за породами деревини, розмірами, впливом на здоров'я працівників і довкілля [1]. Одними з найбільш розповсюджених є інерційні очисники повітря – циклони [2], перспективним напрямком розвитку яких є застосування активних робочих органів - обертових дисків, після потрапляння на які деревні частинки викидаються у вихідну зону очисника.

Процеси в перехідній зоні між корпусом циклону та активними робочими органами суттєво впливають на якість очищення повітря, оскільки саме від них залежать компоненти вектору швидкості деревної частинки, з якими вона потрапляє в проміжок між обертовими дисками, та висота над поверхнею диска.

Особливістю перехідної зони є те, що осесиметричний потік повітря змінює напрям на 90°, що супроводжується зміною площі поперечного перетину потоку. Отже, розглядатимемо потік ідеальної рідини в досліджуваній зоні очисника та розділятимемо його на елементарні безкінечно тонкі криволінійні трубки течії. Оскільки в межах кожної з них витрата потоку є незмінною, це дає змогу визначати модуль швидкості в заданій точці зони з урахуванням змінної площі поперечного перетину трубки течії.

Виходячи з того, що напрямок трубки течії змінюється на 90°, використовуватимемо еліптичну апроксимацію цього напрямку в площині, яка проходить через вісь обертання активних робочих органів. Вважатимемо такі еліпси подібними та, отже, такими, що характеризуються однаковим ексцентриситетом.

Оскільки вектор швидкості потоку є дотичним до трубки течії, це дає змогу розрахувати його напрямок, визначаючи дотичну до еліпсу. Будуючи площини, перпендикулярні до трубки течії в заданій точці перехідної зони й на вході в цю зону, та обчислюючи площі відповідних перетинів трубки течії, можна визначити, як змінюється швидкість ідеальної рідини по мірі її руху до активних робочих органів.

Результати визначення компонентів вектору швидкості потоку використовуються для чисельного моделювання руху деревних частинок в очиснику повітря з урахуванням сили тяжіння та сили опору повітря.

Список посилань

1. Mračková Eva. Creation of wood dust processing: size analysis, dust separation and occupational health [Text] / Eva Mračková et al. // Bioresources. –2016. – 11(1). – P. 209-222. doi: 10.15376/biores.11.1.209-222

2. Breiderhoff B. Simulation and optimization of cyclone dust separators / B. Breiderhoff et al. // Conference: Proceedings 23. Workshop Computational Intelligence. – 2013.

3. Шевченко С.А. Застосування системи автоматизованого проектування при моделюванні робочого процесу очисника повітря з активними робочими органами [Текст] / С.А. Шевченко, В.К. Погорілий // Наукові праці Всеукраїнської науково-практичної конференції «Застосування сучасних систем автоматизованого проектування в конструкторській та дослідницькій практиці» 30 квітня 2019 р. Харків : ХНАДУ. – 2019. – С. 47.

*УДК 630*81:658.512.2*

Шевченко С.А., докт. техн. наук, доцент
Державний біотехнологічний університет, м. Харків, serg.shevchen@btu.kharkov.ua

ВИКОРИСТАННЯ ВЕБ-ВЕРСІЇ AutoCAD ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЕРЕВИНИ

Досвід проведення лабораторних робіт в онлайн-форматі, накопичений на кафедрі деревооброблюваних технологій та системотехніки лісового комплексу Державного біотехнологічного університету (м. Харків), свідчить про високу ефективність використання веб-версії системи автоматизованого проєктування AutoCAD для вимірювань різноманітних геометричних параметрів, потреба в яких виникає при визначенні властивостей деревини [1]. При цьому використовувались заздалегідь зроблені скановані зображення зразків деревини чи фото, зроблені за допомогою USB-мікроскопа. Загалом, класифікуючи типові випадки вимірювань, їх можна розподілити на неінваріантні до масштабування зображення та інваріантні до такого масштабування.

На початковому етапі, коли студенти освоюють AutoCAD, доцільно визначати параметри, інваріантні до масштабування зображення (наприклад, частку пізньої деревини в річному шарі, кут між поверхнями торцевої тріщини усихання, частку кори в поперечному перетині колоди, відносне значення стріли прогину при жолобленні зразків).

По мірі здобуття навичок роботи в AutoCAD переходили до визначення параметрів, неінваріантних до масштабування (наприклад, кількості річних шарів у 1 см, розмірів структурних елементів деревини). Такі роботи доцільно починати з обробки сканованих зображень зразків деревини, роздільна здатність яких відома. Далі досліджували зображеннями з USB-мікроскопа, визначаючи їх масштаб безпосередньо в процесі роботи (для цього при фотографуванні в поле зору USB-мікроскопа додавали лінійку) [1].

Звернемо також увагу на те, що веб-версія AutoCAD є безкоштовною та не потребує встановлення в комп'ютер. Це дало змогу студентам використовують домашні комп'ютери з найрізноманітнішими операційними системами. Для обробки результатів вимірювань використовували електронні таблиці (часто - реалізовані в хмарних сервісах).

Загалом, можна погодитись з висновком [2] про те, що проведення лабораторних експериментів онлайн може бути ефективним для досягнення більшості очікуваних результатів навчання (за винятком окремих елементів практичних вправ) . Однак звернемо увагу й на переваги наведеної методики виконання робіт, що стосуються документування результатів вимірювань та зменшення впливу людського фактора в процесі передачі результатів вимірювань в електронні таблиці для подальшої обробки.

Певно, ці методики будуть використовуватись і при поверненні до звичного формату проведення досліджень в університетських лабораторіях, оскільки підвищення надійності отримуваних результатів дає змогу стверджувати про покращення якості досліджень.

Список посилань

1. Shevchenko Serhii. Using of Cloud Technologies in Laboratory Classes under Quarantine Restrictions [Text] / Serhii Shevchenko,Anastasiia Suska and Vasyl Diakonov // Series of monographs Faculty of Architecture, Civil Engineering and Applied Arts. University of Technology, Katowice. Monograph 50. Science and education for sustainable development. Publishing House of University of Technology, Katowice, 2022. P. 702-707, 985, 1002. DOI:10.54264/M005

2. Kelum A. A. Online Delivery of Teaching and Laboratory Practices: Continuity of University Programmes during COVID-19 Pandemic [Text] / A. A. Kelum et al. // Educ. Sci. – 2020. – Vol. 10. 291. DOI:10.3390/educsci10100291

УДК 674.815

Бринь О.І., канд. техн. наук, доцент
Національний лісотехнічний університет України, м.Львів, chupylo_olesya@ukr.net

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ СТРУЖКОВИХ ПЛИТ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДХОДІВ ТЕКСТИЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

Постановка проблеми. Стружкові плити широко застосовуються у будівництві, для меблевої промисловості, у вагонобудуванні. Вони легко обробляються, володіють високою механічною міцністю. У Європі виробництво стружкових плит становить 30,7 млн. м^3 (52 % усіх плитних матеріалів) [1]. Сировиною для виготовлення стружкових плит є деревина. В період 2017 – 2021рр. площа вирубаних лісів склала 1,2 млрд.га. Підвищений попит на деревину спричиняє збільшення її вартості та погіршення екологічної ситуації.

Текстильна промисловість є другою у світі за рівнем забруднення навколишнього середовища. На неї припадає 10% загальних світових викидів вуглецю. Загалом кількість текстильних відходів становить близько 18,8 тис.т у рік (з них 0,6 тис.т спалюється, 1,1 тис.т утилізується) [2]. Значна частина текстильних відходів (приблизно 66 %) надходить на звалища. Спричинене забруднення ґрунтів, водойм та повітря негативно впливає на навколишнє середовище. Тому запропоновано часткове розв'язання даної проблеми, а саме заміна частини деревинної сировини на текстильні відходи під час виробництва стружкових плит.

Матеріали та методики. Для проведення досліджень застосовували деревинну стружку вологістю 2%. Використовували текстильні відходи двох видів – бавовняні (Б) та поліестрові (П). Підготовка шматків текстилю розміром 10х10 мм здійснювалась методом різання текстильних відходів. Здійснювали заміну деревинної стружки на текстильні відходи у середньому шарі в кількості 5, 7,5 та 10 %. Використовувався клей, який готувався перед використанням із складових: КФС, парафінова емульсія, розчин карбаміду, сульфат амонію. Стружкову плиту запресовували за режимом – тиск 2,5 МПа, температура 190 ºС, час пресування 5 хв. (додатково 1 хв. на спускання тиску). Підготовка та випробування зразків здійснювалася відповідно до ДСТУ EN 326-1:2006 та визначення фізико-механічних властивостей СП – ДСТУ EN 310:2003 [3,4].

Результати досліджень. Результати фізико-механічних показників одержаних стружкових плит подано в табл. 1.

Таблиця 1 – Фізико- механічні показники стружкових плит

Назва	Водопоглинання, %		Набрякання, мм		Межа міцності під час статичного згинання, МПа	Модуль пружності під час статичного згинання МПа	Щільність кг/м^3	Розтяг, МПа
	2 год.	24 год.	2 год.	24 год.				
Контрольний	60,11	105,43	25,24	51,80	10,85	2547,03	767	0,26
Шматки поліестреру 5%	94,07	113,68	43,29	57,66	9,37	2359,57	744	0,17
Шматки бавовни 5%	82,96	107,14	37,40	66,80	10,73	2544,06	725	0,21
Шматки поліестреру 7,5%	83,65	116,43	44,46	64,10	9,77	2495,85	749	0,16
Шматки бавовни 7,5%	79,77	115,77	37,67	60,34	9,22	2105,14	715	0,14
Шматки поліестреру 10%	87,80	123,86	53,05	72,69	7,79	2032,12	691	0,13
Шматки бавовни 10%	84,42	115,16	43,66	63,47	8,64	2082,08	735	0,17

Водопоглинання та набрякання плит із вмістом текстильних відходів 5%, 7,5%, 10% є вищими у порівнянні з контрольними зразками. Так водопоглинання при 2 годинах дослідних зразків із шматками бавовни відрізняється від контрольних на 38%, 32,7%, 40,4%, а при 24 год. 1,9%, 10,4%, 9,22% відповідно; із шматками поліестеру – при 2 год.

56%, 39%, 46%, а при 24 год. – 7,6%, 10,4%, 17,9%. Таке зростання водопоглинання і набрякання плит з текстильними відходами спричинене негативним впливом наявності текстилю на утворення клейових зв'язків. Крім того бавовна більше адсорбує воду, що і спричиняє підвищене водопоглинання.

На рис.1 подано залежність межі міцності плит під час статичного згинання від кількості текстильних відходів у структурі плити приведеної до щільності 750 кг/м^3.

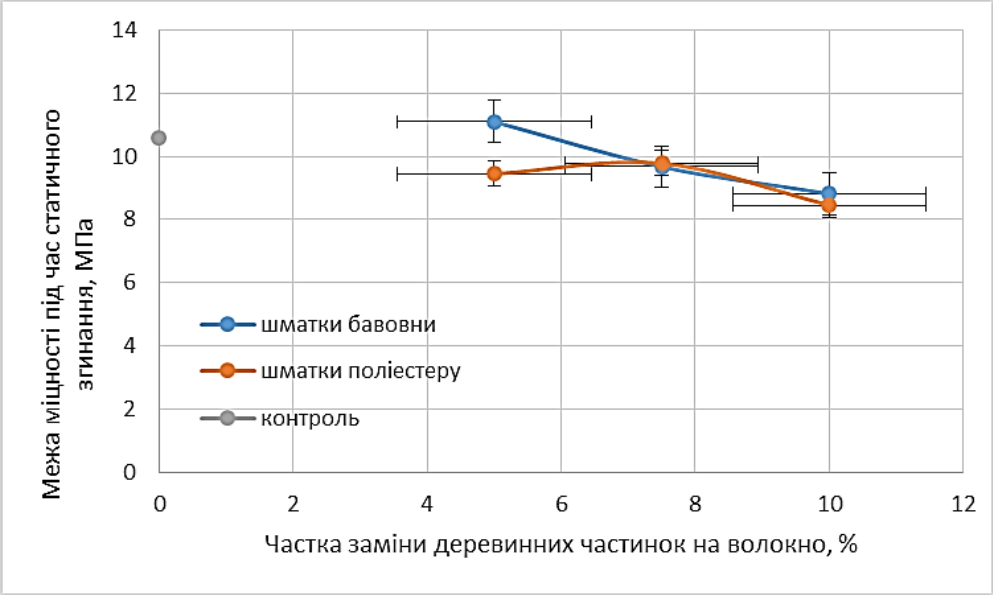


Рис.1 – Залежність межі міцності плит під час статичного згинання від кількості текстильних відходів

Межа міцності під час статичного згинання та модуль пружності стружкових плит із текстильними відходами є меншими, ніж у контрольних. Із збільшенням вмісту текстильних відходів в плитах межа міцності під час розтягу перпендикулярно пласті зменшується. Зменшення межі міцності можна пояснити недостатньою кількістю клейових зав'язків у структурі плити.

Висновок: Із заміною деревинних частинок на текстильні відходи у кількості 5%, 7,5%, 10% у середньому шарі фізико-механічні показники стружкових плит зменшуються. Найближчі до контрольних є зразки із вмістом бавовняних шматків 5%. Покращення фізико-механічних властивостей потребує корегування режимних параметрів пресування стружкової плити та ґрунтовнішого дослідження способу подрібнення текстильних відходів.

Список посилань

1. European Panel Federation.Wood-Based Panel Industry. Types of Wood-Based Panels and their Economic Impact. URL: https://europanels.org/the-wood-based-panel-industry/types-of-wood-based-panels-economic-impact/ (Last accessed: 22.05.2022).

2. Звіт про стратегічну екологічну оцінку. Проект національного плану управління відходами до 2030 року. Департаментом екологічної безпеки та дозвільно-ліцензійної діяльності Міністерства екології та природних ресурсів України. – Київ, 2018. – 49 с.

3. ДСТУ EN 326-1:2006 Плити деревинні. Відбирання зразків, вирізування та контролювання. Частина 1. Відбирання і вирізування випробних зразків, опрацювання результатів випробування (EN 326-1:1994, IDT). [Чинний від 01.10.2007]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2006.

4. ДСТУ EN 310:2003 Плити деревні. Визначання модуля пружності та границі міцності під час згинання (EN 310:1992, IDT). [Чинний від 2005.07.01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2003.

*УДК 630*377.4:531.6*

Луста Ю.Р., аспірант
Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, izeus98@gmail.com

КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СТІЙКОСТІ НА УХИЛІ ЛІСОЗАГОТІВЕЛЬНОГО КОМБАЙНА

Експлуатація сучасної лісозаготівельної техніки потребує визначення меж безпечних умов експлуатації. Найбільш актуальне таке завдання для машин, які здійснюють роботу в лісі, на поверхні зі значними ухилами та ґрунтами з різною несучою здатністю. Також для експлуатації таких машин існують ризики: асиметричність розташування робочих органів, нестаціонарна взаємодія з робочим середовищем, робота на поверхнях з боковим ухилом.

Наявні підходи визначення безпечних умов експлуатації, зазвичай ґрунтуються статичних методах механіки [1], дані методи не дають повного спектру для визначення безпечних умов експлуатації та не враховують стан опорної поверхні та динамічне навантаження.

Розглядається харвестер – лісозаготівельний комбайн, що працює на ґрунтовій території з ухилом (рис. 1). На асиметрично розташовану стрілу – маніпулятор з харвестерною головкою діє нестаціонарна сила **F**, яка виникає внаслідок нестаціонарної взаємодії робочого органі машини з стовбуром дерева (удар, захоплення, падіння стовбура). Завдання полягає у визначенні допустимих ухилів території для експлуатації харвестера в умовах дії сили **F**.

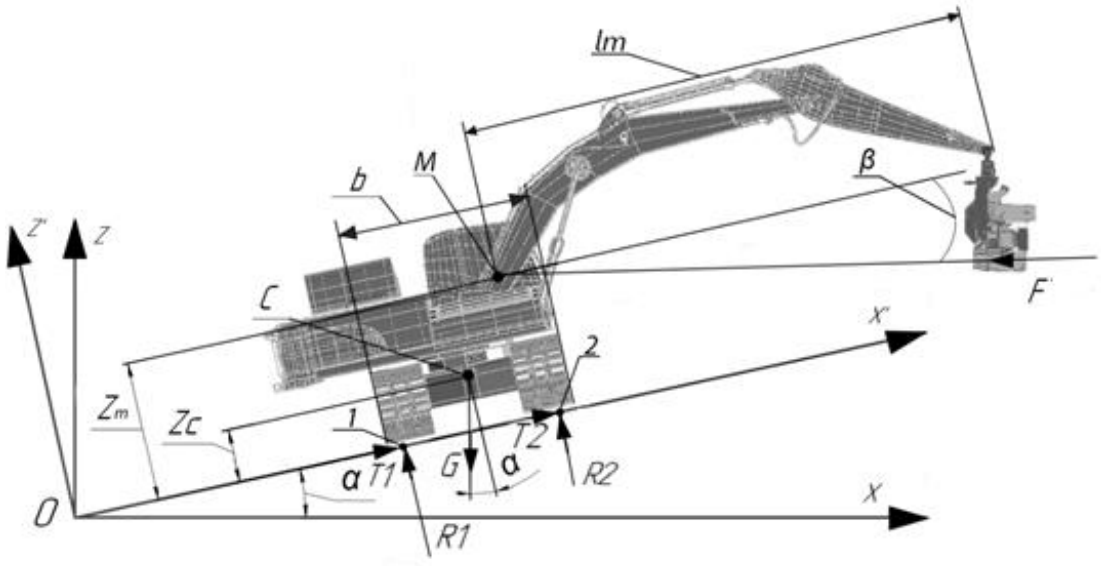


Рис. 1 – Зовнішні сили й опорні реакції, що діють на харвестер, що виконує роботу на ухилі

Для розв'язку даної задачі пропонується застосовувати комплексний підхід: визначати допустимі ухили, виходячи з умови стійкості до перекидання та з умови стійкості до бокового сковзання.

Стійкість до перекидання. У випадку, коли взаємодія робочого органу – маніпулятора харвестера з зовнішнім чинником (перешкодою, стовбуром тощо) є нестаціонарною – баланс сил запишемо у відповідності до с даної на рисунку 1 схеми. Для даного випадку розглядаємо динамічне навантаження на робочий орган, яке характеризується силою **F**.

На рисунку 1 застосовано позначення: $\mathbf{R_1}$, $\mathbf{R_2}$ – нормальні реакції опорної поверхні відповідних рушіїв; $\mathbf{T_1}$, $\mathbf{T_2}$ – відповідні дотичні реакції; **β** – кут між поверхнею руху та напрямком сили **F**; **M** – точка прикладання сили **F**, **lm** – довжина асиметрично

розташованого робочого органу; **z_M** – відстань від поверхні руху до точки **M**. Інші позначення зрозумілі з рисунку.

На основі даної схеми плоско-паралельної системи сил (рис. 1) отримано систему рівнянь:

$$\begin{aligned} T_1 + T_2 &= G\sin\alpha + F_i\cos\beta, \\ R_1 &= -R_2 + G\cos\alpha - F_i\sin\beta, \\ \cos\alpha_1 - \sin\alpha_1\frac{2z_C}{b} &= \frac{2Fi}{G}\left(\sin\beta + \frac{z_M}{b}\cos\beta\right) \end{aligned} \quad (1)$$

Перші два рівняння (3) є справедливими для загального випадку кута ухилу місцевості α, третє, в свою чергу, лише для граничного кута ухилу а третє справедливе лише для граничного значення ухилу α_1, за якого **R2 = 0**, – машина перекидається.

Із аналізу результатів можна відзначити, що значення критичного ухилу **α_1** залежить від вагових характеристик машини та навантаження прикладеного до харвестера, а також геометричних параметрів харвестера і не залежить від фізико-механічних параметрів ґрунту.

Стійкість до бокового сковзання. Взаємодія рушія харвестера з опорною поверхнею відображається параметром дотичних реакцій ґрунту **T_1**, **T_2**, розміром контакту всієї площі гусениці з опорною поверхнею **S_K** та здатністю ґрунту протидіяти зсуву **τ_S** [2].

Втрата стійкості через бокове сковзання настає, коли дотичні напруження, перевищують тримну здатність ґрунту, яка у відповідності визначається з наступної рівності:

$$\tau_S = c + \sigma \cdot tg\varphi\,, \quad (2)$$

де c – зчіплення частинок ґрунту,

φ – кут внутрішнього тертя,

$\sigma \approx \frac{R_1 + R_2}{S_K}$ – середнє значення нормальних напружень під гусеничними рушіями машини.

Застосовуючи до умови стійкості результати силового балансу (1) отримаємо:

$$\cos\alpha_2 \cdot tg\varphi - \sin\alpha_2 = \frac{1}{G}\left(Fi \cdot \sin\beta \cdot tg\varphi - c \cdot S_K\right) \quad (3)$$

Із аналізу отриманого результату (3) зазначимо, що граничний кут **α_2** залежить як від вагових характеристик машини та корисного навантаження, так і від фізико-механічних характеристик ґрунтової поверхні руху.

Методи визначення допустимих експлуатаційних умов лісозаготівельної техніки, що працює на ґрунтових поверхнях з ухилом, реалізовано формулами (1) та (3), які й визначають такі умови. Для визначення граничних умов потрібно знайти кути **α_1** та **α_2** та вибрати мінімальний з них. Тестовими розрахунками становлено, що для деяких типів ґрунтів бокове сковзіння наступає за значно менших кутів, аніж перекидання.

Список посилань

1. Библюк Н. І. Лісотранспортні засоби: Теорія. / Н. І.Библюк. – Львів:Панорама, 2004. –453 с.

2. Терцаги К. Теория механики грунтов: пер. с немецкого. / Терцаги К. – Москва: ГСИ. 1961. – 507 с.

*УДК 630*377.4:531.6*

Щупак А.Л., асистент
Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, andriyshchupak@gmail.com

ОСНОВНІ ВТРАТИ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМІ «ЛІСОТРАНСПОРТНА МАШИНА-ҐРУНТОВА ПОВЕРХНЯ РУХУ»

Транспортування заготовленої деревини лісовими машинами ґрунтовими поверхнями руху відбувається зі значними витратами енергії на зворотні та незворотні фізичні процеси. Такі енергоперетворювальні процеси поглинають енергію двигуна, що знижують техніко-економічні показники роботи лісотранспортних машин (продуктивність та паливна економічність) [1].

Контактна взаємодія рушія лісотранспортної машини з опорною поверхнею головно призводить до деструктуризації ґрунту, дисипативних перетворень у шині та в об'ємі ґрунту. Дані механічні процеси структуризовано на окремі типи з характерними для них видами енергетичних втрат:

- тип А -гістерезисні втрати в об'ємі ґрунту (в'язкісні втрати енергії в ґрунті внаслідок в'язкого течіння ґрунтової маси; втрати на бокове витискання ґрунту та бульдозерний ефект; втрати, пов'язані з подоланням липкості тощо);
- тип Б - втрат енергії в об'ємі ґрунту, що деструктуризується (втрати на бокове тертя під час заглиблення шини в ґрунт; втрати на заглиблення ґрунтозачепів у ґрунт; втрати енергії, пов'язані з проковзуванням колеса об ґрунт під час буксування тощо);
- тип В - гістерезисні та інші втрати в шині (втрати на радіальну, тангенціальну, кутову деформації шини; втрати на деформацію у боковому напрямку; втрати у випадку зменшення тиску повітря в шині тощо).

Співвідношення між втратами енергії лісотранспортної машини для типових експлуатаційних умов (від загальних втрат) складає: тип А – 54,7 % ; тип Б – 15,7 %; тип В – 16%; втрати енергії в трансмісії машини – 12 % та інші втрати 1,6%.

Для втрат типу А найбільш енергопоглинаючими процесами є в'язке течіння ґрунтової маси (28,6 %), а також деформація ущільнення (29,2 %).

Втрати енергії в об'ємі ґрунту, що деструктуризується (тип Б) характеризуються енергоперетвореннями в теплову енергію і поверхневу енергію деструктуризації ґрунту. На сьогодні такі процеси потребують додаткового дослідження.

Втрати внутрішньої енергії (гістерезисні втрати – тип В) в ділянках деформування і відновлення профілю шини складають до 90 % усіх втрат в шині.

Структуризація і математичний опис наведених енергоперетворень дозволило виявити найбільш енергозатратні види енергоперетворень і визначити найвагоміші чинники впливу на енерговтрати: величина вертикального навантаження, тиск повітря в шині, стан опорної поверхні руху тощо. Отримані результати дають можливість визначити умови мінімізації втрат енергії у системі «лісотранспортна машина-ґрунтова поверхня руху» і за таких умов встановлювати ефективні, серед наведених вище, експлуатаційні чинники та прогнозувати відповідні їм раціональні експлуатаційні режими. Розроблена енергетична концепція взаємодії рушія з ґрунтом у системі «ЛТМ-ҐПР» забезпечить екологічну сумісність параметрів ново проєктованих лісотранспортних машин, підвищену економічну ефективність технології заготівлі деревини.

Список посилань

1. Щупак А. Л. Енергетичний підхід до оцінювання ефективності роботи колісної лісотранспортувальної машини. / Щупак А. Л., Мачуга О. С.// XXIV Міжнародна науково-технічна конференція «Гідроаеромеханіка в інженерній практиці», Київ 27-30 травня 2019 р.: матеріали конференції. – Київ, 2019. – с. 99 –101.

УДК 674.09

Мороз О.Р., аспірант
Маєвський В.О., докт. техн. наук, професор
Копинець З.П., канд. техн. наук
Миськів Є.М., канд. техн. наук
Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, tlsdbv@nltu.edu.ua

ПОРІВНЯННЯ ЯКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПИЛОМАТЕРІАЛІВ, ВИЗНАЧЕНИХ ЗА РІЗНИМИ СТАНДАРТАМИ

Після відміни державних стандартів (ГОСТ) з 01.01.2019 року чинним на цей час стандартом для встановлення якості пиломатеріалів є ДСТУ EN 975-1-2001 Пиломатеріали. Сортування листяної деревини за зовнішнім виглядом. Частина 1. Дуб і Бук. Підприємства, в основному, для встановлення якості пиломатеріалів на внутрішньому ринку використовували ГОСТ 2695-83 «Пиломатериалы лиственных пород. Технические условия.» Під час укладання контрактів із закордонними споживачами, здебільшого, використовують стандарти країн, у які постачають пиломатеріали. Тому актуальним є порівняння відмінених та чинних державних стандартів для встановлення якості пиломатеріалів.

У виробничих умовах проведено паспортизацію сухих обрізних дубових пиломатеріалів (100 шт.) і встановлено їхній сорт за двома стандартами ГОСТ 2695-83 і ДСТУ EN 975-1-2001.

Встановлено, що між результатами оцінювання якісної характеристики досліджуваних пиломатеріалів за чинним ДСТУ EN 975-1-2001 та відміненим ГОСТ 2695-83 стандартами з урахуванням порівняльної характеристики вимог, наведених у цих двох стандартах, існує певна закономірність наведена на рис. 1.

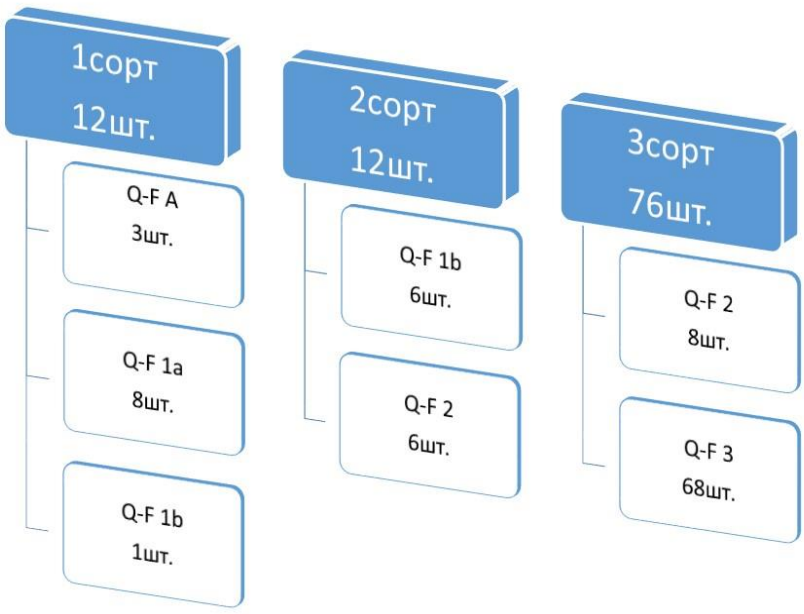


Рис.1 – Співставлення сортності пиломатеріалів за ГОСТ 2695-83 та ДСТУ EN 975-1-2001

Зокрема, пиломатеріали вищих сортів за ГОСТ 2695-83 відповідали вищим сортам за ДСТУ EN 975-1-2001. Різна кількість сортів у використаних стандартах, у ДСТУ EN 975-1-2001 – 5, а у ГОСТ 2695-83 – 3, вимагає певного перерозподілу між сортами. Так для прикладу, пиломатеріали 1-го сорту за ГОСТ 2695-83 перерозподілені на три сорти (Q-FA,

Q-F1a, Q-F1b) за ДСТУ EN 975-1-2001, пиломатеріали 2-го сорту за ГОСТ 2695-83 перерозподілені на два сорти (Q-F1b, Q-F2) за ДСТУ EN 975-1-2001, а пиломатеріали 3-го сорту за ГОСТ 2695-83 перерозподілені на два сорти (Q-F2, Q-F3) за ДСТУ EN 975-1-2001.

*УДК 674.06*674.21*

Удовицька М.В., викладач вищої категорії
Технологічний коледж державного вищого навчального закладу "Національний лісотехнічний університет України", udovi@ukr.net
Маєвський В.О., докт. техн. наук, професор
Удовицький О.М., канд. техн. наук
Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, udovi@ukr.net

ПРОГНОЗУВАННЯ ДЕФОРМУВАННЯ ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕТИНУ ПИЛОМАТЕРІАЛІВ ДЛЯ КЛЕЄНИХ ЩИТОВИХ КОНСТРУКЦІЙ

Клеєні щитові конструкції (КЩК) є поширеними серед конструкційних елементів для виробництва різноманітних виробів з деревини є [1, 2]. У випадку використання КЩК для фасадних поверхонь, окрім фізико-механічних характеристик пиломатеріалів, важливого значення набувають також показники естетичності [3].

Причин зміни форми пиломатеріалів багато: анізотропія фізико-механічних властивостей деревини, неоднакове всихання за різними структурними напрямами, залишкові напруження, що виникають при сушінні та механічній обробці заготовок тощо. Зокрема в роботах [4,5,6] досліджено, що деревина із зміною вологості змінює свій об'єм пропорційно кількості видаленої або введеної гігроскопічної вологи. При цьому найчастіше спостерігається зміна форми поверхонь (деформація) пиломатеріалу за його шириною, що обумовлене неоднорідністю всихання в радіальному і тангенціальному напрямках.

У роботі [4] причинами деформування названо високу чутливість до зміни вологості, неоднаковість властивостей деревини від серцевини до кори, будова та напрям волокон деревини.

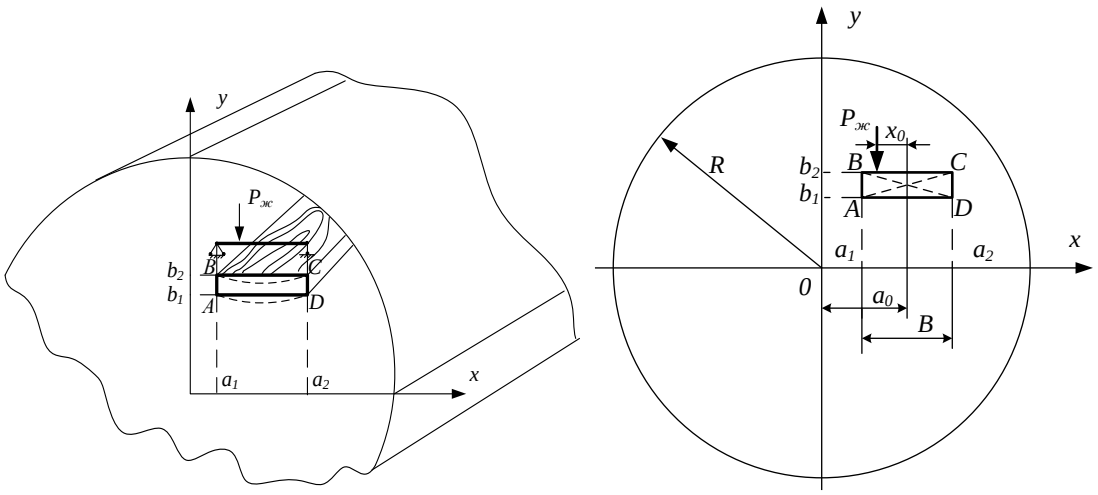
В джерелі [5] наводяться рівняння і розрахунки, що використовуються для розрахунку оцінки очікуваних розмірних змін в міру зміни вологості деревини.

В роботі [6] запропоновано модель, що дає можливість оцінити та наочно проілюструвати зміну форми пиломатеріалу залежно від розташування дошки в колоді, зміни вмісту вологи та розмірів пиломатеріалу.

Якщо припустити, що під час процесу всихання (розбухання) виникає умовне зусилля (назвемо його силою жолоблення), яке відповідає навантаженню балки зосередженою силою, то для визначення сили жолоблення, а також величини деформації пиломатеріалу вздовж вертикальної осі (прогину) в довільній точці його поперечного перерізу, можна використати методи опору матеріалів.

Представимо довільний поперечний переріз дошки ABCD у виді двохопорної балки, завантаженої силою $\boldsymbol{P_ж}$ (рис. 1). Для визначення сили жолоблення $\boldsymbol{P_ж}$, отримано наступне рівняння:

$$P_{ж} = \frac{B(1+\beta\Delta W)\Delta W}{(\frac{B}{2}-x_o)(\frac{B}{2}+x_o)}\left[\left(\frac{E_oK_o(b_2^2-b_1^2)}{2}+\frac{(E_oC+K_oA)(b_2^3-b_1^3)}{3}+\frac{AC(b_2^4-b_1^4)}{4}\right)-\right.$$
$$\left.-\frac{E_oK_o(b_2-b_1)+(AK_o+CE_o)\frac{(b_2^2-b_1^2)}{2}+\frac{AC(b_2^3-b_1^3)}{3}}{E_o(b_2-b_1)+A\frac{b_2^2-b_1^2}{2}}\times\left(\frac{E_o(b_2^2-b_1^2)}{2}+\frac{A(b_2^3-b_1^3)}{3}\right)^2\right]. \qquad (1)$$



а) б)

Рис. 1 – Розрахункова схема для визначення сили жолоблення (а) та точки її прикладання (б)

Для двохопорної балки, завантаженої несиметрично прикладеною в прольоті балки зосередженою силою $\boldsymbol{P_ж}$, отримаємо рівняння для визначення абсциси z_f перерізу з найбільшим прогином і величину найбільшого прогину y_{max}:

$$z_f = \sqrt{\frac{a^2+2ab}{3}} = \sqrt{\frac{a(a+2b)}{3}} = \sqrt{\frac{(l-b)(l+b)}{3}} = \sqrt{\frac{l^2-b^2}{3}}. \quad (2)$$

Максимальний прогин:

$$y_{\max} = -\frac{P_Ж \cdot b}{6l}\left(a^2+2ab^2-\frac{a^2+2ab}{3}\right)\cdot\sqrt{\frac{a(a+2b)}{3}} = = \frac{P_Ж}{9\sqrt{3}}\frac{b(a^2+2ab)^{3/2}}{a+b} = \frac{P_Ж \cdot b}{9\sqrt{3}}\cdot\frac{(l^2-b^2)^{3/2}}{l}. \quad (3)$$

Розроблений математичний апарат для теоретичного дослідження формозміни пиломатеріалів дає змогу реалізувати послідовні інженерні розрахунки сили жолоблення пиломатеріалу та можливої зміни його форми з урахуванням його експлуатації в змінних температурно-вологісних полях. Величина поперечного жолоблення залежить від розмірів перетину пиломатеріалу та координат його пластей, зміни вологості пиломатеріалу. Також можна зробити висновок про те, що існують пиломатеріали в межах поперечного перетину колоди з різною опірністю поперечному жолобленню, а отже є більш чи менш придатними до їх застосування в КЩК. Отримані результати стосовно формозміни пиломатеріалу узгоджується з відомими дослідженнями.

Список посилань

1. Ференц О.Б. Технологія столярних виробів. Навчальний посібник. / О.Б. Ференц, В.М. Максимів. – Львів: НЛТУ України, 2011. – 400 с.

2. B. Porter. Carpentry and Joinery. –2001. –Vol. 1. – 694p. – (Third Edition).

3. Маєвський В.О. Основні напрями досліджень у виробництві клеєних щитових конструкцій з деревини із дотриманням текстурних особливостей. / В.О. Маєвський, М.В. Удовицька. // Науковий вісник: зб. наук.-техн. праць. – Львів: РВВ НЛТУ України. – 2014. – Вип. 24.5. – С. 150–155.

4. Ormarsson, Sigurdur. Numerical Analysis of Moisture-Related Distortion in Sawn Timber. Doctoral thesis, monograph. Göteborg: Chalmers University of Technology, Dep. of Structural Mech , 1999, p. 213.

5. Wood Handbook, Wood as on Engineering Material. Gen. Tech. Rep. / FPL−GTR−190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. – 2010. – 508 p.

6. P. H. Mitchell. Modeling the cupping of lumber. BioResources, 2016, 11(3), p. 6416-6425.

УДК 674.06

Маєвський В.О., доктор техн. наук, професор
Копинець З.П., канд. техн. наук
Ференц О.Б., канд. техн. наук, доцент
Кушпіт А.С., канд. техн. наук, доцент
Мороз Р.О., аспірант
Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, tlsdbv@nltu.edu.ua

ВПЛИВ РОЗМІРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПИЛОМАТЕРІАЛІВ НА ОБ'ЄМНИЙ ВИХІД ЧОРНОВИХ ЗАГОТОВОК

Розкрій пиломатеріалів на заготовки є невід'ємною технологічною операцією під час виготовлення напівфабрикатів та продукції з деревини. Важливим є нормування витрат пиломатеріалів на виготовлення чорнових заготовок враховуючи сучасні вимоги до якості пиломатеріалів і заготовок.

Проведено експериментальні дослідження виходу чорнових заготовок з сирих необрізних дубових пиломатеріалів у виробничих умовах. Пиломатеріали товщиною 54 мм, усередненою шириною від 200 мм до 340 мм, усередненою довжиною від 2250 мм до 3110 мм розпилювали партіями в середньому по 15 м^3. Розпиляно 48 партій. Після розпилювання пиломатеріалів отримували чорнові заготовки перетином 41×54 мм, фіксованих довжин 2450, 2050, 1250, 1050 мм та різнодовжинних мінімальною довжиною 200 мм. Залежність об'ємного виходу чорнових заготовок від ширини пиломатеріалів наведено на рис. 1, а від довжини – на рис. 2.

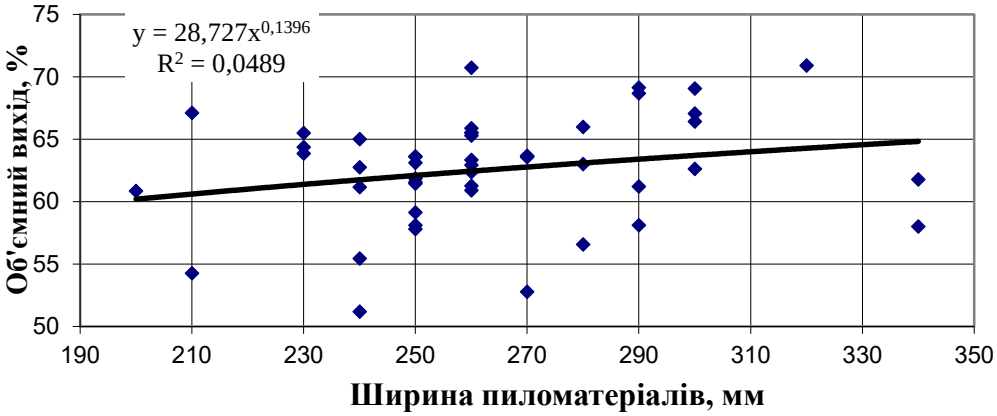


Рис. 1 – Залежність об'ємного виходу чорнових заготовок від ширини пиломатеріалів

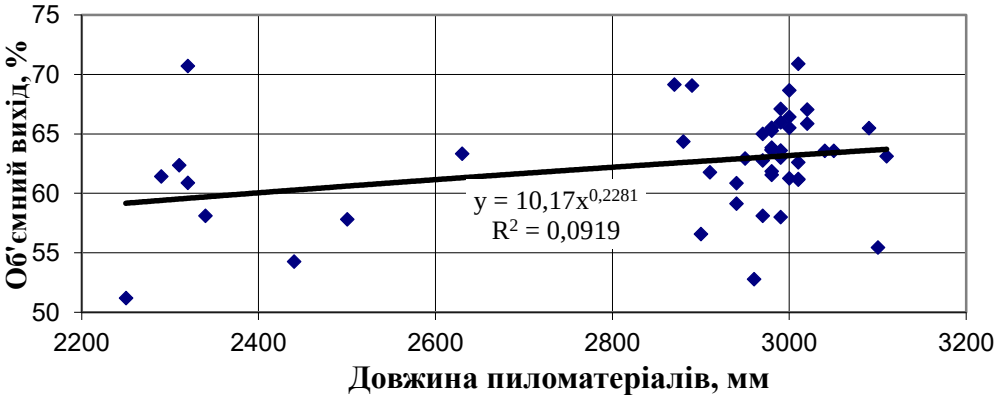


Рис. 2 – Залежність об'ємного виходу чорнових заготовок від довжини пиломатеріалів

Результати експериментальних досліджень свідчать, що спостерігається залежність об'ємного виходу чорнових заготовок від ширини та довжини пиломатеріалів. Зі збільшенням ширини і довжини пиломатеріалів збільшується об'ємний вихід чорнових заготовок.

*УДК 630*377.4:531.6*

Мачуга О. С., докт. техн. наук, доцент
Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, oleg_mach@ukr.net

ЯКІСТЬ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ОБРОБЛЕННЯ ДЕРЕВИНИ

Перебіг будь-яких процесів в природі та техніці підпорядковуються двом основним принципам механіки – першому та другому началам термодинаміки. Перший із них фіксує незмінність енергетичного ресурсу в будь-якій механічній системі. Другий – фіксує напрям реалізації термодинамічного процесу.

Технологічні процеси, зокрема оброблення деревини, передбачають наявність джерела енергії **Едж** з відповідною потужністю **Nдж** .

Така енергія надається системі «машина-робочий орган-деревина» і, відповідно до першого начала термодинаміки, накопичується системою у вигляді внутрішньої енергії: теплової енергії та поверхневої енергії відокремлених унаслідок технологічного процесу частинок деревини – кінцевої продукції, стружки, деревного пилу.

Таким чином можемо записати рівняння енергетичного балансу для такого типу технологічних процесів:

$$N_{дж} = N_{прод} + N_{тепл} + N_{стр} + N_{пил} \quad (1)$$

Доданки в правій частині рівняння (1) відповідають потужностям енергетичних втрат, перерахованих вище: теплових, виробничих, крупних відходів, дрібних відходів. Сутність другого начала термодинаміка стосовно рівняння (1) полягає в тому, що активна енергія (анергія) процесу, яка співпадає з підведеною потужністю **Nдж**, повністю передається доданкам в правій частині (1) та певним чином розподіляється між ними. Не існує механічного процесу, який би в цьому випадку дав би змогу реалізувати зворотність розглядуваного технологічного процесу.

У послідовність технологічних процесів виробництва виробів із деревини можемо виділити наступні підпроцеси:

- зрубування стовбурної деревини та очищення її від гілля і кори;
- первинне транспортування деревини;
- навантажувально-розвантажувальні роботи;
- виготовлення заготовок;
- виготовлення кінцевої продукції;
- інші підпроцеси.

Для кожного з перелічених вище підпроцесів справджується рівняння типу (1)

Просумовуючи такі рівняння для усіх підпроцесів можемо записати наступне загальне для усього процесу рівняння:

$$\Sigma N_{дж} = \Sigma N_{прод} + \Sigma N_{тепл\ втр} + \Sigma N_{поверх\ втр} \quad (2)$$

У виразі (2) $\Sigma N_{прод}$ це є сума ідеалізованих мінімальних технологічних витрат енергії для виготовлення готового виробу. Наприклад – розділення заготовки на продукт і відходи (див. наприклад [1]). Інші показники потужності пов'язуються з усіма непродуктивними втратами на всіх підпроцесах. Це загальні теплові втрати та втрати на формування нових поверхонь мікро та макровідходів, тобто – поверхонь зрізів деревини, поверхонь

подрібненого під час транспортування деревини ґрунту, поверхонь розпилів деревини на заготовки, поверхонь тирси, стружки, пилу, втрати в гідравлічному та механічному обладнанні машин та механізмів та багато іншого. Енергетика таких процесів в загальному охарактеризована в [2] та дістала розвиток у низі подальших наукових досліджень.

Унаочнення результату, поданого у виразі (2) запропоновано у структурній схемі, зображеній на рисунку 1.

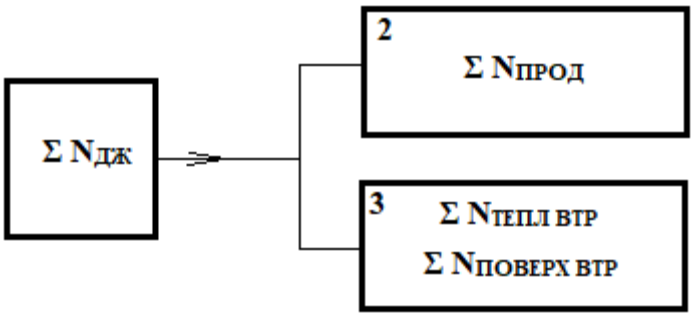


Рис. 1 – Структурна схема енергоперетворень у технологічному процесі оброблення деревини

Аналізуючи схему з рис. 1 відзначимо, що блок 2 є незмінним, оскільки він власне характеризує мінімально можливу енергію, необхідну для виконання наскрізного технологічного процесу від сировини до готового виробу. Зменшення загальних втрат енергії (блок 1) можливий шляхом зменшення усіх непродуктивних витрат, що супроводжують технологічні процеси. З цією метою блок 3 повинен структуруватись на найдрібніші елементи та відшуковувати такі технологічні режими, які б мінімізували кожен із таких елементів, як це наприклад реалізовано в [3].

Наявність енергетичного ресурсу з блоку 3 потужності, охарактеризований на рисунку 1, окрім негативного впливу на собівартість продукції має ще й інший недобрий наслідок – негативний вплив на довкілля через нагрівання оточуючого середовища, забруднення різними видами полідисперсних відходів тощо.

Отже зменшення енергозатрат у технологічних процесах оброблення деревини безпосередньо пов’язане зі зменшенням негативного техногенного впливу на довкілля. Досягнення такої комплексної мети мінімізації енергетичного ресурсу **Σ Nдж** потрібно у всіх підпроцесах виокремити складники непродуктивних втрат та знайти способи їх мінімізації, як це пропонується щодо окремих підсистем [2, 3]. Інший шлях зменшення техногенного впливу на довкілля розглядуваних технологій оброблення деревини та підвищення їх економічної ефективності базується на широкому запровадженні енергетики відновних джерел [4].

Список посилань

1. Базарбаев Н. Энергетика технологических процессов в строительном производстве. / Базарбаев Н., Ярошев Д. М. – Ташкент: Изд-во «Фан» УзССР, 1980. – 112 с.

2. Мачуга О. С. Розвиток наукових засад енергетичного підходу в розв’язуванні проблем взаємодії машин із робочим середовищем : автореф. дис. …докт. техн. наук. : 05.05.04; Національний лісотехнічний університет України. Львів: ФОП Кепещук П. М., 2019. 48 с.

3. Oleg Machuga, Andrij Shchupak, Natalia Shevchenko, Mykhajlo Bojko. Energetické charakteristiky formovania koľaji pri ťažbe dreva. *Mobilné energetické prostriedky – Hydraulika – Životné prostredie – Ergonómia mobilných strojov: Vedecky recenzovaný zbornik.* Zvolen: TUZVO. 2021. S. 173 – 184.

4. Мачуга О. С. Раціоналізація енергозабезпечення лісозаготівлі шляхом використання відходів деревини та гідроресурсів в якості поновлюваних джерел енергії. / О. С. Мачуга // (КЗЯТПС – 2021) : матеріали тез доповідей. НУ «Чернігівська політехніка», 2021. – Т.2. – с. 115 – 116.

УДК 674.815 : 631.572

Копанський М.М., канд. техн. наук, доцент
Козак Р.О., д-р. техн. наук, доцент
Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, mkopansky@ukr.net

ВИКОРИСТАННЯ ОПАЛОГО ЛИСТЯ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВОЛОКНИСТИХ ПЛИТ СЕРЕДНЬОЇ ТВЕРДОСТІ

Актуальність теми. Опале листя переважно розглядається як один із різновидів сміття, утилізація якого пов'язана із значними проблемами. Здебільшого його утилізація здійснюється шляхом спалювання. Це завдає великої шкоди для людей та навколишнього середовища. Одним із шляхів ефективного використання листя може бути часткова заміна ним деревинної сировини при виробництві деяких деревинних композиційних матеріалів, та в інших виробництвах. Перевагою даної сировини є великій її запас із щорічним відновленням і мінімальні фінансові витрати. Однак, можливість використання опалого листя у цьому напрямку мало досліджена. Враховуючи вищесказане нами здійснено пошукові дослідження використання опалого листя як сировини у виробництві волокнистих плитах середньої твердості.

Метою роботи було дослідження властивостей волокнистих плит середньої твердості виготовлених з використанням опалого листя, дослідження та обгрунтування способів використання рослинних відходів на прикладі опалого листя і з'ясування можливості використання опалого листя як сировини у виробництві волокнистих плит середньої твердості. Для досягнення поставленої мети необхідно визначено такі основні завдання досліджень:

- виготовити волокнисті плити середньої твердості з додаванням у вихідну композицію різну кількість опалого листя (5,10,15,20,25 %);
- визначення фізичних властивостей волокнистих плит (водопоглинання і набрякання за товщиною);
- визначення механічних властивості плит (межа міцність при статичному згині).

Матеріали та методика досліджень. Експериментальні дослідження проводилися у лабораторії кафедри технологій деревинних композиційних матеріалів, целюлози та паперу НЛТУ України на лабораторному обладнанні кафедри.

Для виконання даної роботи було використовувалися такі матеріали:

- деревинне волокно вологістю 92,6 % ;
- листя листяних порід (осика, береза, граб) вологістю 17,1%;
- фенолформальдегідна смола (ФФС) в кількості 1% до плит з вмістом листя 10,20,30,40,50% та 2,4,6 % смоли до плит з 10% вмісту листя;
- сірчанокислий алюміній $Al_2(SO_4)_3$ в кількості 1% до маси абсолютно сухої смоли.

Плити виготовлялися при таких режимах: температура сушіння - 120°С , час витримки - 3 години. Підготовка та випробування зразків здійснювалася відповідно до стандартних методик визначення фізико-механічних властивостей ВП.

Випробування зразків плити здійснювалися згідно ГОСТ 54333-2011. Зразки виготовлялися у формі прямокутного паралелепіпеда товщиною рівною товщині плити. Ширина зразка становила 40 мм, а довжина – 120 мм.

З кожної випробовуваної плити одну половину зразків вирізували вздовж, а іншу половину – поперек плити.

Товщину зразка вимірювали у центрі поперечної осі. Довжину зразка вимірювали за його повздовжньою, а ширину за поперечною віссю.

В межах групи зразків з однаковим орієнтуванням одну половину випробовували, кладучи на опори випробувального пристрою лицевою площиною вверх, а іншу половину – лицевою площиною вниз.

При визначенні межі міцності при згині здійснювали навантаження зразка з постійною швидкістю до руйнування і реєстрували максимальне навантаження з точністю до 1%. Час від початку навантаження до руйнування зразка складав (60 ±20) с.

Межу міцності при згині зразка ($\sigma_{зг}$) в МПа обчислювали за формулою (1):

$$\sigma_{зг} = \frac{3 \cdot F \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2}, \quad (1)$$

де F – сила навантаження, що діє на зразок у момент руйнування, Н;

l – відстань між опорами випробувального пристрою, мм;

b, h – відповідно ширина і товщина зразка, мм

Проведені експериментальні дослідження дозволили отримати результати, які забезпечують встановлення закономірностей впливу технологічних параметрів на фізичні властивості волокнистих плит виготовлених з використанням опалого листя.

Висновок. Аналіз результатів досліджень дає змогу зробити такі висновки:

- збільшення вмісту листя у плитах спричиняє зменшення межі міцності плит при статичному згині;
- збільшення вмісту клею обумовлює зростання міцності волокнистих плит.
- підвищення вмісту частинок виготовлених з опалого листя збільшує набрякання за товщиною;.
- залежність водопоглинання плит від вмісту клею має обернено пропорційний характер;
- водопоглинання плит лежить у прямо пропорційній залежності від кількості листяних частинок.
- використання листя у виробництві волокнистих плит середньої твердості дасть змогу значно покращити стан довкілля.

Таким чином, часткова заміна деревинних волокон волокнами, виготовленими із опалого листя, дає змогу розширити сировинну базу для виготовлення волокнистих плит, зменшити їх собівартість і, відповідно, зекономити цінну деревинну сировину, що є надзвичайно актуальним в умовах зростаючого її дефіциту

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. / Бехта П.А. – К.: Основа, 2003. – 336 с.

3. Попик О.В. Еколого-економічні аспекти поводження з опалим листям на урбанізованих територіях. / Попик О.В. // Економічні інновації: Зб. наук. пр. – Одеса: ІПРЕЕД НАН України, 2014. – Вип. 58. – С.266-272.

СЕКЦІЯ 3.
РОБОЧІ ПРОЦЕСИ ТА СИСТЕМИ ПРОМИСЛОВОЇ ГІДРАВЛІКИ ТА ПНЕВМАТИКИ

УДК 621.65

Джафаров Т.В., аспірант,
Ратушний О. В., канд. техн. наук, доцент,
Сумський державний університет, t.dzhafarov@pgm.sumdu.edu.ua

ПІДВИЩЕННЯ НАПІРНОСТІ СТУПЕНЯ ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСА ШЛЯХОМ СТВОРЕННЯ ВІД'ЄМНОЇ ЗАКРУТКИ НА ВХОДІ У РОБОЧЕ КОЛЕСО

Незважаючи на відомі методи підвищення реального напору ступеня відцентрового насосу, задача підвищення напору без зміни його габаритних розмірів продовжує залишатися актуальною.

В даній роботі пропонується дослідити можливості підвищення напору шляхом створення від'ємної закрутки на вході в робоче колесо.

Насосні лопатеві системи сьогодні відповідно до чинних рекомендацій проектуються з умови наявності перед робочим колесом впорядкованої структури потоку рідини (вісесиметричний потік із рівномірним розподілом швидкостей по всьому перетину) і нульовим значенням циркуляції швидкості (г1 = 0) [1,2]

В теорії і практиці вітчизняного насособудування не була належно оцінена можливість корисного використання значного за величиною від'ємного моменту швидкості потоку перед робочим колесом, який може створюватися різними способами. У доступній для широкого кола фахівців літературі відсутні однозначні докази того, що наявність від'ємного моменту швидкості потоку перед робочим колесом погіршує його напірні й енергетичні характеристики [3]. Водночас створення від'ємної закрутки на вході як до осьового, так і до відцентрового робочих коліс можна розглядати як контрроторний ефект. Сприятливий вплив невеликої від'ємної закрутки потоку на вході в робоче колесо відзначено для насосів середньої швидкохідності (ns = 200).

Під час експериментального дослідження ступенів насоса ЕПН-8 завдяки деякій від'ємній закрутці потоку, що створюється зворотними каналами відведення, вдалося не лише збільшити напір проміжного ступеня, а й збільшити ККД на 1,5–2 % [4]. Експериментальне дослідження впливу закручування вхідного потоку на характеристики відцентрових насосів виявили залежність закрутки на вході в робоче колесо на величини колової та радіальної складових швидкості, напору і потужності привода [5]. Закручування потоку здійснювалося в напрямку обертання на 27, 43 і 50˚ і проти напрямку обертання на –25, –43 і –51˚. Водночас величини напору і витраченої потужності визначалися за об'ємних витрат 0–160 м^3 /год і порівнювалися за відносних витрат 0,7; 1,0 і 1,3. Дослідження дозволили визначити абсолютні і відносні зміни характеристик вхідного ступеня відцентрового насоса, пов'язані з цілеспрямованим (використання поворотних лопаток) або ненавмисним закручуванням потокуп. М. Калініченком були проведені експериментальні дослідження впливу від'ємної закрутки на вході в лопатеву систему робочого колеса заглибного моноблочного насоса ОПВ 3600-8.

На кафедрі прикладної гідроаеромеханіки Сумського державного університету проводилися дослідження закрутки потоку на напірну й енергетичну характеристики осьового насоса ОПМ 2500-5 з лопатевою системою типу «напрямний апарат – робоче колесо» [6, 7]. Щодо застосування негативної циркуляції вдалося домогтися підвищення напору, енергетичні та антикавітаційні якості насоса також були на високому рівні.

Отже, усі розглянуті вище дані досліджень дозволяють зауважити про доцільність проведення подальшого вивчення і застосування на практиці від'ємної циркуляції швидкості (закрутки) на вході в робоче колесо насоса.

Список посилань

1. Ломакин А. А. Центробежные и осевые насосы / А. А. Ломакин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва – Ленинград : Машиностроение, 1966. – 364 с.

2. Лопастные насосы : справочник / под общ. ред.: В. А. Зимницкого, В. А. Умова. – Ленинград: Машиностроение, 1986. – 334 с.

3. Евтушенко А. А. Стандартизация выбора параметров вновь создаваемых насосов общепромышленного назначения / А. А. Евтушенко // Гидравлические машины и гидропневмоагрегаты: теория, расчет, конструирование : тем. сб. науч. трудов / отв. ред. И. А. Ковалев. – Киев : ИСДО, 1994. – С. 20–28.

4. Горгиджанян С. А. Погружные насосы для водоснабжения и водопонижения / С. А. Горгиджанян, А. И. Дягилев. – Ленинград : Машиностроение, 1968. – 112 с.

5. Veränderung: Untersuchungen der Vordralleinflusse auf Kennlinien von Kreiselpumpen Schröder Valentin // Maschinenmarkt. – 1994. – 100, № 27. – P. 34–37.

6. Калиниченко П. М. Некоторые уточнения уравнений гидромеханики и теории лопастных насосов / П. М. Калиниченко. – Киев : ИСМО, 1999. – 240 с.

7. Бурлака В. Б. Влияние момента скорости потока перед рабочим колесом на местоположение оптимального режима работы лопастного насоса / В. Б. Бурлака, А. Г. Гусак, А. А. Евтушенко // Вестник Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт». Машиностроение. – 2000. – № 38, Т. 2. – С. 243–248.

УДК 62-253.5

Ратушний О. В., канд. техн. наук, доцент
Куліков О. А., аспірант
Сумський державний університет, kulikov.aleksandr322@gmail.com

ЧИСЛОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ КУТА АТАКИ ЛОПАТЕВОГО ДИСКУ КОНТРРОТОРНОГО СТУПЕНЯ

На сьогодні в різних галузях промисловості широко розповсюджені відцентрові консольні насоси. Такі насоси повністю досліджені та мають найоптимальніші значення напору та ККД, які тільки можливо досягти. Новою віткою в насособудуванні з'являється консольний контрроторний відцентровий насос. Цей насос має змінену проточну частину та складніший принцип дії передачі енергії від робочих органів рідині. Робоче колесо обертається за годинниковою стрілкою (*I*), а лопатевий диск (*II*) обертається проти годинникової стрілки. За рахунок цього між дисками з'являється контрроторний ефект, який в свою чергу передає рідині значно більше енергії ніж звичайні відцентрові насоси [1].

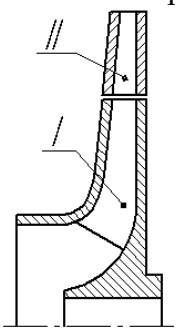


Рис. 1 – Ескіз контрроторного ступеня *I* – робоче колесо; *II* – лопатевий диск.

У зв'язку із змінами швидкостей насос може створювати значно більший напір, але течія рідини у такому насосі значно складніша і потребує всебічного дослідження. Одним з

напрямків - дослідження вплив кута атаки лопатей диску *II* на характеристики ступеня та течії рідини в ньому [2].

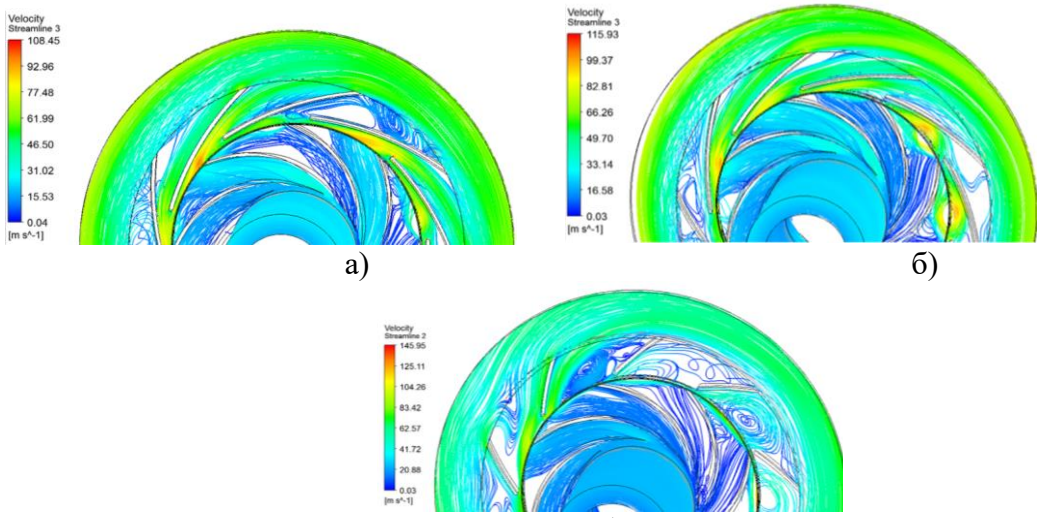
Для отримання стабільної напірної характеристики експериментальним шляхом виявлено, що кут установки лопаті повинен знаходитись в межах $\beta_1=15\text{-}30^0$. Якщо кут завеликий, то в робочих органах насоса буде відбуватися відрив потоку від лопаті та вихроутворення на її тильній стороні. Якщо кут замалий, то рідина не буде правильно взаємодіяти з лопатями в результаті чого відбувається погана енергопередача, що в свою чергу зменшує напір. Як перший, так і другий варіант має негативні наслідки у вигляді зниження ККД [3].

Наведені вище кути установки лопаті доцільно використовувати у звичайних насосах, де закрутка потоку на вході в робоче колесо майже нульова. У контрроторному ступені все значно складніше. Після виходу рідини з робочого колеса рідина потрапляє до лопатевого диску з неймовірно великою закруткою потоку. Копіювання кутів напрямного апарату також сумнівне завдання, так як напрямний апарат статичний, а лопатевий диск обертається з тією ж швидкістю, що і робоче колесо з напрямом протилежним йому.

Об’єктом дослідження є контрроторона ступінь з базовим робочим колесом насоса ЦНС-180/1900. Для дослідження були створені наступні лопатеві диски, що мають наступні кути установки лопатей з метою отримання напірних та енергетичних характеристик. Ступінь 1 (СТ1) – $\beta_1=0^0$, Ступінь 2 (СТ2) – $\beta_1=5^0$ Ступінь 3 (СТ3) – $\beta_1=15^0$.

Дослідження проводилось за допомогою програмного продукту ANSYS CFX, в якому закладено метод чисельного вирішення фундаментальних законів гідромеханіки [4, 5]: рівнянь руху в'язкої рідини спільно з рівнянням нерозривності. Це є достатньою умовою обґрунтованості застосування результатів чисельного дослідження. Слід зазначити, що ANSYS CFX неодноразово випробувався при вирішенні задач насособудування, розбіжність результатів чисельного і фізичного моделювання не перевищує 5%, тому даний програмний продукт придатний для вирішення поставленого завдання дослідження.

В результаті досліджень було отримано характеристику течії в контр роторному ступені (рис.2). Результати досліджень занесені до таблиці 1.



а) б)

в)

Рис. 2 – Течія рідини у ступенях а) СТ1 $\beta_1=0^0$; б) СТ2 $\beta_1=5^0$; в) СТ3 $\beta_1=15^0$;

Таблиця 1 – Характеристики контрроторних ступеней

Кут атаки лопаті β_1	Напір (Н), м	Потужність(N), КВт	ККД (η), %
(СТ1) $\beta_1=0^0$	331	293	0,55
(СТ2) $\beta_1=5^0$	326,2	344	0,46
(СТ3) $\beta_1=15^0$	265,4	327	0,39

Як можемо побачити в результаті дослідження виявилося те, що чим менший кут β_1, тим краще це для рідини. У ступені 3 можемо бачити відрив потоку від лопаті та утворення вихорів, що впливає на ККД, який знизився до 39% на відміну від першого ступеня, де ККД найбільший – 55%. Також на характеристики ступенів впливають самі між лопатеві канали. Чим більший цей канал, тим шанс утворення вихору буде більшим.

Список посилань

1. Ратушний О. В. VI технологічний уклад: перспективи розвитку систем, які передають енергію рідині : монографія / О. В. Ратушний. – Суми : Сумський державний університет, 2020. –212 с.

2. Kulikov, A. A., Ratushnyi, A. V., Kovaliov, I. A., Mandryka, A. S., & Ignatiev, A. S. (2021). Numerical study of the centrifugal contra rotating blade system. Paper presented at the Journal of Physics: Conference Series, , 1741(1) doi:10.1088/1742-6596/1741/1/012008 Retrieved from www.scopus.com

3. Ржебаева, Н.К. Расчет и конструирование центробежных насосов [Текст] : учеб. пос. / Н.К. Ржебаева, Э.Е. Ржебаев. – Сумы : СумГУ, 2009. – 220 с.

4. L.G. Loitsianskyi (2003) Mechanics of liquid and gas [Mehanika zhidkosti i gaza]: Study guide - 7th edition. M.: Drofa, 840 p.

5. ANSYS CFX 13.0 Solver Theory. Release 13.0, 2010. 261 p. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.ansys.com.

УДК 629.021

Апаракін А.Р., канд. техн. наук, асистент
Підгаєцький М.М., канд. техн. наук, доцент
Центральноукраїнський національний технічний університет, anton.aparakin@gmail.com

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ГЕРМЕТИЧНОСТІ ЦАПФ ВАЛА-СЕКТОРА КУЛЬКО-ГВИНТОВОГО ГІДРОПІДСИЛЮВАЧА РУЛЯ

Значна частка відмов при експлуатації кулько-гвинтового гідропідсилювача (КГГП) припадає на розгерметизацію цапф вала-сектора. По даним ПАТ НВП «Радій», отриманим із результатів експлуатації – відмови по розгерметизації вала-сектора складають:

- 2019 рік – 6 шт із 180 шт, що знаходились у експлуатації на момент оцінки;
- 2020 рік – 7 шт. із 392 шт., що знаходились у експлуатації на момент оцінки.

Аналіз причин розгерметизації, необхідно починати з аналізу процесу взаємодії цапфи валу, що ущільняється, з опорним підшипником та ущільненням. Якщо зробити припущення, що вихідна поверхня, під дією інтенсивного навантаження пружно деформується, та одночасно ця поверхня являється ущільнюваною, то неминуче виникнення розгерметизації спряження.

Зона пружного розтягу розташована по одну сторону від центру контакту. По іншу сторону – матеріал зазнає стискання. У зоні стиску утворюється зазор, який викликає розгерметизацію ущільнення. З метою усунення пульсуючого зазору на герметичність спряження, пропонується виконати ряд конструктивних доопрацювань:

- ввести розділювальну канавку між опорною та ущільнювальною частинами цапфи;
- розділювальну канавку укомплектувати ущільнюючим елементом.

На рис. 1 приведена схема модернізованого ущільнення цапфи вал-сектора, з врахуванням обумовлених вище вимог. За такої схеми пружна (пластична) деформація поверхні 1 не буде впливати на ущільнювану поверхню 4, так як вона розділена канавкою 2. Одночасно з цим, обумовлена канавка 2 використовується для монтажу додаткового ущільнюючого елементу R13 (T-Polyurethane) фірми Seal Jet. Даний елемент має низьке значення коефіцієнту тертя, забезпечує надійну герметичність, при тиску вище 20,0 МПа та у діапазоні температур T˚C -50…+110.

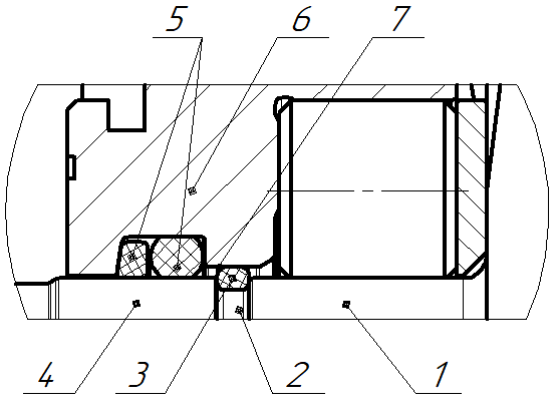


Рис. 1 – Ескіз а) та тривимірна модель б) гідростатичної втулки

Список посилань

1. Гинцбург, Л.Л. Гидравлические усилители рулевого управления автомобилей [Текст] / Л. Л. Гинцбург – М.: Машиностроение, 1972. – 121 с.

2. Чайковский, И.П., Саломатин П.А. Рулевые управления автомобилей [Текст] / И. П. Чайковский, П. А. Саломатин – М.: Машиностроение, 1987. – 176с.

3. Компанія «Сіал Джет Україна» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://sju.ua/.

УДК 66.021.1:532.5

Ляпощенко О.О., докт. техн. наук, професор
Старинський О.Є., аспірант
Мандрика О.О., студент
Сумський державний університет, o.starynskyi@pohnp.sumdu.edu.ua

ЧИСЛОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОГІДРОДИНАМІКИ ПРИ СЕПАРАЦІЇ ВОДОНАФТОВИХ ЕМУЛЬСІЙ

На стадії первинної підготовки нафти, на зміну комплексу високовартісного обладнання, прийшов інший спосіб, що передбачає використання блочних установок підготовки нафти (УПН), до яких також можна віднести багатофункціональні підігрівачі-деемульсатори типу “Heater-Treater” [1]. Перевагою блочних установок зменшення металоємності та кількості одиниць обладнання на стадії первинної підготовки за рахунок поєднання декількох технологічних процесів, підігрів, дегазація, знесолення, видалення механічних домішок та деемульсація, в одному апараті.

Слід зазначити, що в більшості відомих конструкцій багатофазних розділювачів за напрямком руху вуглеводневої суміші спочатку встановлюються пакети листових насадок, тобто блоки для гідродинамічної коалесценції, а потім блок електричної коалесценції. При цьому пакети коалєсцерів (блоки гідродинамічної коалесценції) в основному призначені для прискорення процесу сплывання/осадження дисперсних часток, в той час як блоки електростатичної коалесценції призначені для руйнування поверхневих захисних (адсорбційних) шарів та укрупнення дисперсних краплин. Відповідно до закону Стокса швидкість осадження/спливання дисперсних часток залежить від їх діаметру, тому доцільно встановлювати послідовно блоки електростатичної та гідродинамічної коалесценції, що дозволить підвищити інтенсивність процесу розділення.

В такому випадку спочатку відбувається руйнування адсорбційних шарів та укрупнення краплин дисперсної фази, а потім їх осадження/спливання та перехід у суцільну фазу. Для реалізації даного способу обробки емульсії були розроблені нові сепараційні пристрої [2], оскільки при проведенні літературного огляду аналогічні пристрої не були виявлені. Принцип роботи даного блоку полягає в наступному: двокомпонентна емульсія

направляється до блоку електростатичної коалесценції, який складається з двох вертикальних електродних кільцевих решіток та призначений для створення неоднорідного електричного поля, при цьому одна з решіток складається з пластинчатих а інша з штирових електродів та за допомогою опорних ізоляторів з'єднуються між собою, де під дією неоднорідного електричного поля відбувається руйнування поверхневих оболонок та інтенсивна коалесценція дисперсних часток, одразу після чого рідинний потік з укрупненими дисперсними частинами надходить до блоку гідродинамічної коалесценції, який виконаний з гофрованих листових пластин або з плоских листових пластин з трапецеїдальною формою поперечного перерізу, де під впливом інерційних сил укрупнені дисперсні частки осаджуються/спливають та переходять в суцільну фазу.

Провести числові дослідження процесу розділення двокомпонентної емульсії під дією електричного поля та інерційних сил можливо за допомогою методів обчислювальної гідродинаміки, які базуються на методі скінченних об'ємів. При цьому існують певні складності при розробці розрахункової моделі, що пов'язані з побудовою розрахункової сітки та імітацією дії електричного поля на дисперсну фазу емульсії. Так при моделюванні течії двокомпонентної емульсії у блоці гідродинамічної коалесценції необхідно створювати якісну розрахункову сітку, відштовхуючись від розміру дисперсних часток та геометрії гофрованих листових пластин, що є основною проблемою при проведенні числових моделювань [3].

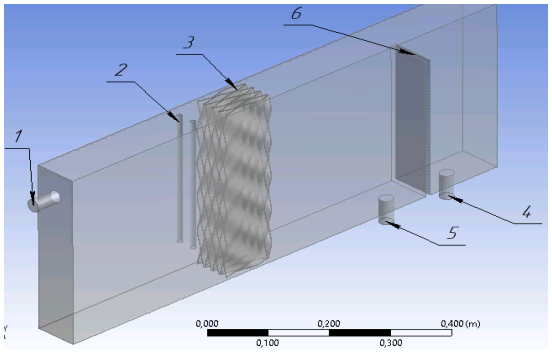


Рис.1 – Розрахункова область блоку електростатичної та гідродинамічної коалесценції (1 – вхід водонафтової емульсії; 2 – штирові електроди, 3 – пакет синусоїдальних листових пластини; 4 – вихід легкої фази (нафти); 5 – вихід важкої фази (води); 6 – переливна перегородка)

Одним із підходів для вирішення даної проблеми є використання моделей пористого середовища, які дозволяють значно зменшити скінченно-об'ємну розрахункову сітку. Більшість математичних моделей пористого середовища базуються на рівнянні Дарсі-Вейсбаха [95]. Цей закон передбачає, що швидкість рідини в будь-якій точці пористого середовища прямо пропорційна градієнту тиску в цій точці, а інерційний опір відсутній, а наявний лише в'язкісний опір. При цьому врахування інерційного опору є також необхідним оскільки розділення емульсії відбувається і під дією інерційних сил також.

Методи та способи комп'ютерного моделювання поведінки дисперсних рідинних або твердих часток під дією електричного поля в літературі майже не представлені. Методики представлені в роботі [107], для імітації електричного поля, утвореного між електродами включають в себе використання UDF (user-defined function), що базується на моделі Taylor-Melcher Leaky Dielectric Model. Слід зазначити, що моделювання процесу розділення водонафтової емульсії, які включають в себе одночасне використання моделі пористого середовища та симуляцію поведінки дисперсних часток в суцільній фазі під дією електричного поля на даний момент не були проведені іншими науковцями. Тому розробка такої розрахункової моделі є актуальним завданням для нафтової та газової промисловості,

і дозволить перевірити запропонований спосіб сепарації та оцінити його ефективність у порівнянні з традиційними способами.

Робота виконана за підтримки International Association for Technological Development and Innovations (IATDI) та МОН України (ДР №0120U102036 «Створення нових гранульованих матеріалів для ядерного палива та каталізаторів в активному гідродинамічному середовищі») під керівництвом д.т.н., проф., Склабінського В.І.

Список посилань

1. O. Liaposhchenko, et. al., “Improvement of Parameters for the Multi-Functional Oil-Gas Separator of ‘HEATER-TREATER’ Type,” in 2019 IEEE 6th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA), 2019, pp. 66–71.

2. О.О. Ляпощенко, І.В. Павленко, В.І. Склабінський, В.А. Смирнов, О.Є. Старинський, О.М. Хухрянський, О.О. Голохвост, Пристрій для розділення двокомпонентних емульсій: Пат. №144878 U Україна, № u 202003764; Надрук. 26.10.2020, Бюл. № 20, 2020.

3. S. Solnar, M. Dostal, K. Petera, T. Jirout, “Application of the temperature oscillation method in heat transfer measurements at the wall of an agitated vessel”, Acta Polytechnica, vol. 58(2), 2018, pp. 144–154.

4. CFD Modelling of a Horizontal Three-Phase Separator: A Population Balance Approach / N. Kharoua, L. Khezzar, H. Saadawi / American Journal of Fluid Dynamics 2013, 3(4): 101-118.

5. Rahmat Amin, Numerical simulation of multiphase flows under electrohydrodynamics effects / Amin Rahmat; PhD thesis, 2017.

УДК 621.225

Аврунін Г.А., канд.. техн.. наук,
Пімонов І.Г., канд. техн. наук,
Щербак О.В. канд. техн. наук,
Мороз І.І., ст. викладач,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, griavrunin@ukr.net
Пилипенко Є.С., канд. техн. наук,
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ ГІДРОПРИСТРОЇВ В ОБ’ЄМНИХ ГІДРОПРИВОДАХ МОБІЛЬНИХ ПІДЙОМНИКІВ З РОБОЧИМИ ПЛАТФОРМАМИ

Мобільні підйомники з робочими платформами (МПРП) знайшли широке застосування при виконанні робіт в будівництві, технологічному обслуговуванні будинків, споруд та доріг, при ліквідації аварій і пожеж у висотних будинках, а також у багатьох інших ситуаціях. Зростання висотності будівель і поява вітроенергетичних установок привели до створення МПРП з висотою підйому платформи до 112 м і корисною масою до 700 кг.

Створення таких машин вимагає забезпечення високого ступеня безпеки виконання технологічних операцій, стійкості машин при переміщенні робочого обладнання, розробку і впровадження систем діагностики і контролю параметрів, що забезпечують безпечну експлуатацію машин. Попередній аналіз показав, що об’ємний гідропривод (ОГП) повсюдно використовується для приводів основного технологічного (робочого) обладнання МПРП, а також для приводу пересування самохідних шасі колісного та гусеничного типів, і забезпечує безпеку персоналу, що знаходиться на робочій платформі.

Саме бурхливий розвиток ОГП, вдосконалення їх конструктивних параметрів, підвищення надійності гідравлічних вузлів і агрегатів забезпечило не менше інтенсивний розвиток конструкцій МПРП за останні роки. У той же час практично повна відсутність навчальної та спеціальної літератури з ОГП для МПРП є підставою для написання цих тез.

З урахуванням високого рівня інформаційної підтримки, зокрема принципових гідросхем і номенклатури гідропристроїв в самохідних МПРП, розглянуті моделі JLG Lift

виробництва An Oshkosh Corporation Company (США). Ці машини відрізняються високим рівнем гідрофікації і використанням гідропристроїв провідних світових виробників.

Аналіз застосування ОГП в МПРП імпортного виробництва показав, що в цих машинах застосовуються в основному гідропристрої передових зарубіжних виробників – Atos, Bondioli & Pavesi і Casappa (Італія), Poclain (Франція), Mico і Parker (США), Rexroth Bosch Group і Hydac (ФРН), Sauer-Danfoss (ФРН, Данія, США) і ін.

Встановлено, що в об'ємних гідроприводах пересування мобільних підйомників з робочими платформами застосовують аксіально-поршневі з планетарними редукторами та героторні і радіально-поршневі гідромотори-колеса. Гідравлічні принципові схеми мають незамкнені з дросельним керуванням швидкості гідромоторів або замкнені ланцюги циркуляції робочої рідини і для таких гідроприводів використовують аксіально-поршневі насоси з регульованим робочим об'ємом. Для підвищення швидкості підйомників застосовують гідромотори с регульованим робочим об'ємом.

Подальші роботи планується присвятити аналізу динамічних характеристик гідроприводів пересування на основі математичного моделювання з використанням пакету прикладних програм VisSim.

УДК 621.22

Сахно Є.Ю., докт. техн. наук, професор
Національний університет «Чернігівська політехніка», evsakhno@ukr.net

МОДЕРНІЗАЦІЯ ГІДРОСТАТИЧНОГО ПІДШИПНИКА РОТОРНОГО ВУЗЛА

Одним з перспективних напрямків модернізації та ефективного функціонування гідростатичних підшипників (ГСП) є автоматичне регулювання жорсткості та їх несучої здатності не змінюючи геометричні параметри підшипника. В зв'язку з конструктивними особливостями вузлів машини та її агрегатів ГСП повинні відповідати встановленим нормативам, тому постає задача підвищення експлуатаційних параметрів опор за рахунок вдосконалення конструктивних елементів гідростатичного вузла використовуючи нову конструкцію для подачі робочої рідини до навантаженого валу, який обертається в гідростатичному підшипнику [1,2].

В основу технічної ідеї поставлено задачу вдосконалити регулятор жорсткості ГСП (див. патент України № 109810) шляхом збільшення зони регулювання тиску між валом і перемичками ГСП при перекосі вала в опорі, для здійснення мікропереміщень вала по всій площині гідростатичного підшипника в залежності від напряму прикладання ударних навантажень, які виникають при роботі машини. Удосконалення полягає в тому, що в перемичках запропонованого підшипника (по периметру карманів) виконано *n* додаткових отворів, в залежності від конструктивних, технологічних та експлуатаційних характеристик роторного вузла. При цьому в підшипнику існує основна і додаткова система подачі робочої рідини до карманів ГСП. В основний системі подача рідини відбувається постійно, а в додатковій подача відбувається порціонно у відповідні отвори в перемичках гідроопори в залежності від напряму зміщення вала під навантаженням, і тим самим забезпечуючи процес регулювання мікропереміщеннями вала в ГСП по всій площині контакту поверхонь. В результаті цього додатковий об'єм робочої рідини подається в спряження «шийка вала – перемичка гідроопори», що підвищує тиск в конусній щілині і запобігає металевому контакту вала з підшипником. При цьому слід мати на увазі, що витрати в додаткових отворах підшипника значно менші чим витрати через основні, і це виключає зміну нормального режиму роботи гідровузла. Слід відмітити, що додатковий об'єм рідини подається короткочасно, і після стабілізації ударного навантаження подача рідини припиняється. Подача додаткового об'єму робочої рідини, безпосередньо в точці найбільшого контакту вала з перемичкою підшипника дає можливість своєчасної

автоматичної компенсації витрат рідини змащування і регулювання положення вала в опорі з підвищенням жорсткості підшипника, зменшення зносу шийки вала і секцій гідроопори [3].

Регульований гідростатичний підшипник складається з корпусу 1 з карманами 2 (рис. 1). При цьому кількість карманів обумовлюється експлуатаційними характеристиками роторного вузла. Підшипник має основні отвори 3 для подачі робочої рідини в кармани ГСП, та додаткові отвори 4, які виконано в перемичках, а кількість додаткових отворів *n* встановлюється конструктором в залежності від умов експлуатації гідровузла. Отвори виконуються в перемичках по периметру кармана, тим самим забезпечуючи збільшення площі регулювання тиску в спряженні «вал-підшипник», що дає можливість регулювати мікропереміщення практично по всьому об'єму підшипника. Підшипник має основну систему живлення 5 карманів (рис. 1) з регульованими дроселями 7, та додаткову систему живлення 6 з дроселями 8 для подачі додаткової кількості робочої рідини в отвори, що виконані в перемичках гідростатичного підшипника. Канал 9 слугує для подачі додаткової кількості робочої рідини в отвори в перемичках, які на рис. 1 не показано.

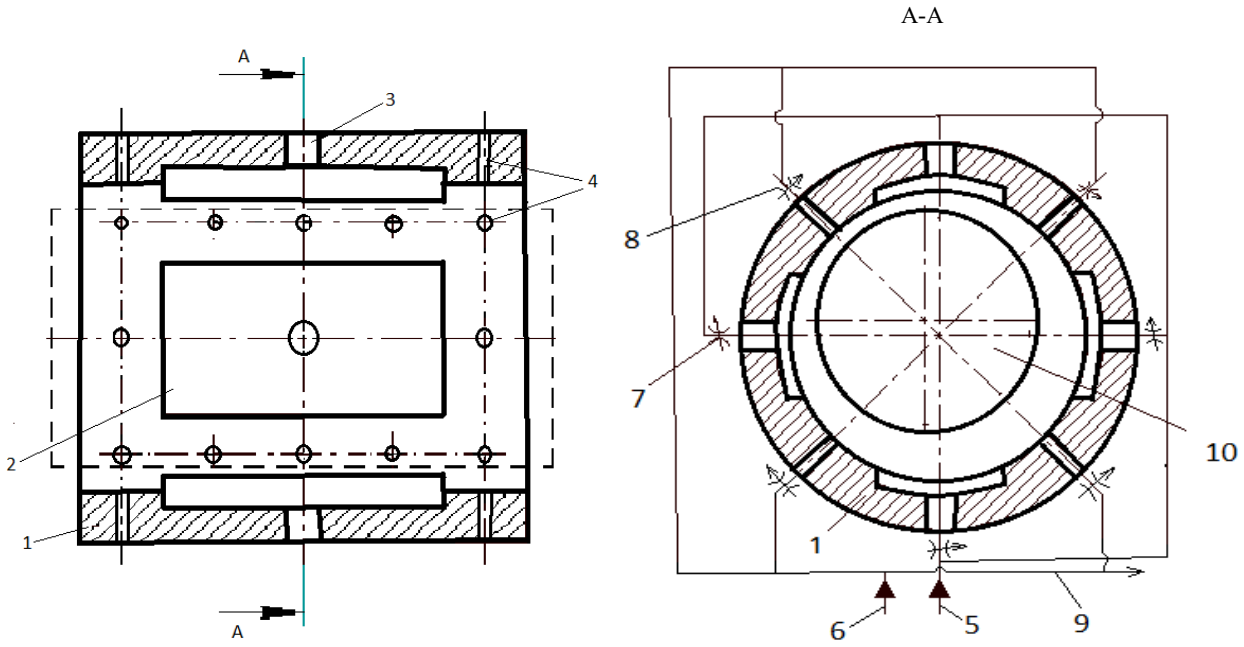


Рис. 1 – Модернізований гідростатичний підшипник

Робота підшипника полягає в наступному. При запуску машини вал 10 починає обертатися в гідростатичному підшипнику. При цьому відбувається подача робочої рідини з основної системи живлення 5 через регульовані дроселя 7 до карманів 2 ГСП. В момент збільшення навантажень на вал машини він зміщається та відбувається його перекіс в напрямку дії прикладених сил, що викликає металевий контакт між спряженими поверхнями та знос опорних шийок ротора та перемичок гідроопори. Для корегування положення валу в підшипнику через отвори, що виконані в перемичках підшипника подається додаткова кількість робочої рідини, яка потрапляє в зону контакту вала і підшипника. При цьому подача робочої рідини відбувається саме в ті додаткові отвори 4, які попадають в зону металевого контакту між валом і підшипником. Також отвори 4 можуть слугувати для видалення надлишків робочої рідини з гідровузла. Таким чином змінюючи порядок подачі додаткової кількості рідини в отвори 4 можливо управляти мікропереміщеннями вала в гідроопорі практично по всій робочій поверхні ГСП.

На основі вищезазначеного можна зробити наступні висновки. В даній роботі розглянуто питання щодо проектування нової системи живлення гідростатичних опор та здійснено

моделювання процесів руху робочої рідини в підшипнику, які є досить актуальними. Їх вирішення дозволяє управляти положенням вала під час роботи машини.

Список посилань

1. Федориненко Д.Ю. Шпиндельні гідростатичні підшипники*:* Монографія / Д.Ю. Федориненко*,* С.П. Сапон*;* Черніг. нац. технол. ун-т. – Чернігів: ЧНТУ, 2016. – 403 с.

2. Струтинський С.В. Гідростатичний сферичний опорний вузол поворотного стола із струменевим приводом мікропереміщень /Струтинський С.В. //Вісник НТУ «ХПІ», 2014. – №60(1102). – с. 130-138.

3. Сахно Є.Ю. Створення системи стабілізації радіального положення кривошипа в гідро опорі / Сахно Є.Ю. // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. – Краматорськ, 2018. – №42. – с.72-79.

УДК 62-226.31

Петренко С.С., аспірант
Панченко В.О., канд. техн. наук, доцент
Сумський державний університет, pan_va@ukr.net

ПРОЄКТУВАННЯ НАПРЯМНОГО АПАРАТА БАГАТОСТУПЕНЕВОГО ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСА

Одним із способів підвищення конкурентоспроможності на ринку насосного обладнання є зниження вартості насоса, чого можна досягти за рахунок зниження його ваги і габаритних характеристик [1].

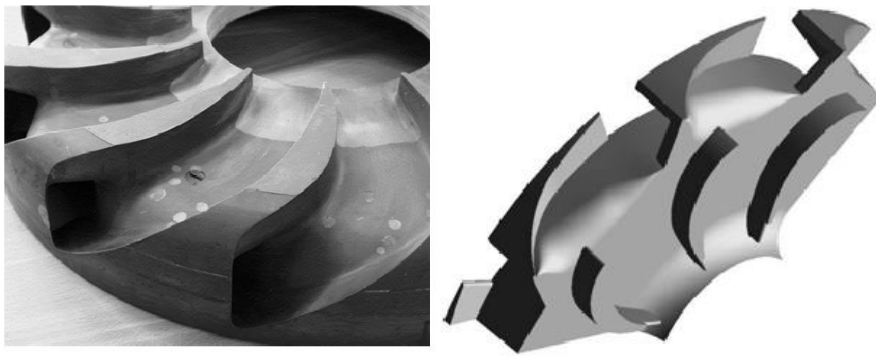
В багатоступеневому відцентровому насосі цей ефект можна отримати шляхом зменшення радіального розміру напрямного апарату (НА).

НА використовується для перетворення кінетичної енергії на виході з робочого колеса в статичний тиск з якомога меншими втратами [2]. Різні конфігурації використовуваних НА показані на рис. 1. НА багатоступеневих насосів поєднуються зі зворотними каналами, які направляють середовище на наступний ступінь.

Напрямні і зворотні канали багатоступеневих насосів проєктують в основному в наступних варіантах:

1) напрямні та зворотні лопаті утворюють єдиний безперервний канал (рис.1 *а*), схожий на тривимірну вигнуту секцію [2]. Цей тип конструкції зменшує гідравлічні втрати, але коштує дорожче в проєктуванні та виробництві;

2) напрямні канали і зворотні канали можуть бути розділені за допомогою безлопатевої кільцевої зони, як показано на рис.1 *б*. Середовище залишає напрямний апарат в радіальному напрямку і відхиляється в цьому кільці на кут до 180° для того, щоб увійти в зворотні канали в радіальному напрямку [2].



а) б)

Рис. 1 – Напрямні апарати: а) суцільного виконання (вид на зворотні лопатки), б) з безлопатевою кільцевою зоною

Огляд літературних джерел [1, 2, 3] показав, що велику увагу було приділено головним чином проєктуванню дифузорних каналів. В той час як методологічні вказівки з проєктування геометрії перевідної зони та зони зворотних каналів майже відсутні. Таке проєктування доцільно проводити з урахуванням необхідності забезпечення мінімального радіального розміру НА та відповідного зниження його ваги і габаритних характеристик.

Список посилань

1. Lugovaya, S., Olshtynsky, P., Rudenko, A., Revisited Designing of Intermediate Stage Guide Vane of Centrifugal Pump. Procedia Engineering, 2012. 223–230 pp.

2. Gülich J. F. Centrifugal pumps / Johann F. Gülich. – Berlin, Heidelberg : Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010.

3. Калінкевич, М.В. Проектування зворотних напрямних апаратів відцентрового компресора [Текст]: навч. посіб. / М.В. Калінкевич, А.М. Калашніков. − Суми: СумДУ, 2011. − 141 с.

СЕКЦІЯ 4.
ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ТА СИСТЕМИ ХІМІЧНОЇ, ЛЕГКОЇ, ПЕРЕРОБНОЇ ТА ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 544. 023

Іщенко О.В., докт. техн. наук, доцент,
Плаван В.П., докт. техн. наук, професор,
Ляшок І.О., канд. техн. наук, доцент
Галаган В.В., студентка
Київський національний університет технологій та дизайну, e.ishchenko5@gmail.com

ТЕХНОЛОГІЯ ОДЕРЖАННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

Асортимент полімерів різного походження постійно розширюється, але тільки деякі з них використовуються для виготовлення матеріалів медичного призначення. Екологічні полімери мають формуючі, біологічно активні, пролонгуючи властивості та біодоступність низькорозчинних сполук, це зумовлює можливість їх застосування для розробки лікарських засобів [1]. Необхідність розробки вітчизняної технології створення екологічних біоактивних полімерних матеріалів для трансдермальних систем та надання їм функціональних властивостей. Плівкові матеріали на основі полісахаридів мають ряд переваг, оскільки певні функціональні групи забезпечують утворення зв'язків різної міцності між полімером-носієм і лікарським препаратом, що дає можливість регулювання швидкості дифузії, активності та стабільності зв'язаної речовини [2]. Також є перевагою, доступність вітчизняної первинної сировина, для одержання матеріалів на основі полісахаридів.

До найпоширеніших природних полімерів, які застосовуються в якості основи матричної трансдермальної терапевтичної системи у фармацевтичній технології застосовуються крохмаль, клітковина, желатин, білки, природні смоли, колаген, альгінати та ін.; до синтетичних – поліетиленоксиди, пропіленгліколь, полівініловий спирт, полівінілпіролідон, синтетичні смоли та ін. [3]. Слід зауважити, що використання природніх полімерів не забезпечує достатньої механічної міцності.

В роботі досліджували композиції на основі композицій крохмалю з полівініловим спиртом з додаванням розчинів хітозану у молочній кислоті для одержання плівок, придатних для використання в медицині.

Для одержання біосумісних плівок використовували хітозан CAS № 9012-76-4, кукурудзяний крохмаль CAS № 9005-25-8, гліцерин, полівініловий спирт ПВС марки 16/1 (масова частка ацетатних груп, не більше 0,9-1,7%). Полімерні плівки формували методом поливу, формувальний розчин наносили на поліпропіленову поверхню та сушили плівку при 40 °С протягом 24 год (рис. 1).

Готували 2,5 % розчин хітозану у 5 % молочній кислоті та окремо 10 % водний колоїдний розчин крохмалю. Композиції готували за двома способами. За першим – змішували підготовлені розчини у співвідношеннях хітозану (Хт): крохмаль (Кр) 1:3, 1:1, 3:1 мас.ч. За другим способом – розчини змішували в тих же співвідношеннях і витримували на водяній бані 10 хвилин. Плівки, які були отримані за двома способами, були крихкими і розчинялись у воді. Для вирішення цієї проблеми – в композицію додали 2 мас.% полівінілового спирту (ПВС) та 1 мас.% гліцерину.

Гліцерин використовували в якості пластифікатора. Для отримання екологічних матеріалів у вигляді водонерозчинних хітозановмісних плівок проводять їх термостабілізацію на заключній стадії виготовлення при температурі 75 ^{o}С протягом 1, 2, 3 годин. Товщина отриманих плівок 0,22 - 0,24 мм.

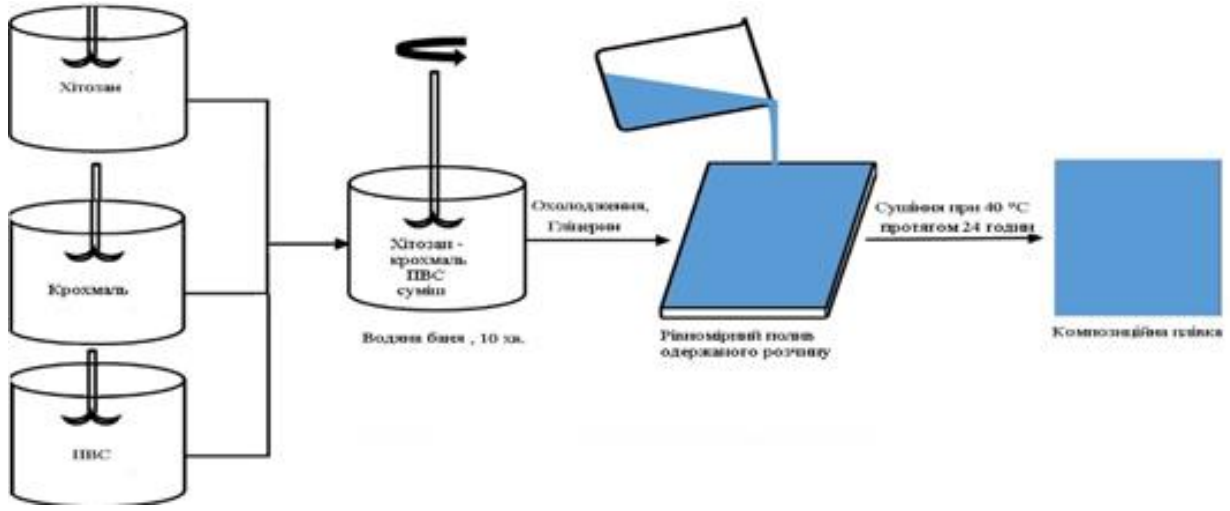


Рис. 1 – Схема одержання плівки медичного призначення методом поливу на основі полісахаридів

В роботі було досліджено реологічні характеристики розчинів, сорбційні, фізико-механічні властивості, мікроскопічні структури плівок.

Встановлено, що композиції приготовані за другим способом мають показники в'язкості менші, ніж для композицій одержаних за першим способом. Зі збільшенням вмісту крохмалю відносна питома в'язкість зростає, але за другим способом відбувається деструкція крохмалю у молочній кислоті, що призводить до зниження в'язкості.

Було встановлено, що зі збільшенням вмісту крохмалю сорбційна здатність плівок поступово зменшується від 200 до 110 %.

Термостабілізація дає можливість регулювати сорбційні властивості плівок на основі хітозану з різним вмістом крохмалю, і як наслідок контролювати вивільнення лікарських препаратів та впливати на розчинність плівок в залежності від терміну їх експлуатації. Це, ймовірно, пов'язано з одночасним протікання релаксаційного упорядкування (кристалізації) надмолекулярної структури полімерів композиції, що призводить до втрати розчинності матеріалу у воді при кімнатній температурі..

Виявили, що зі збільшенням вмісту крохмалю розривна напруга зростає з 0,38 до 1,64 МПа, а відносне подовження максимальне у композиції при співвідношенні компонентів 1:1. Подальше збільшення вмісту крохмалю призводить до зменшення відносного подовження плівок. Плівки отримані за другим способом більш еластичні, та рівномірні за своєю структурою.

При мікроскопічному дослідженні було виявлено, що всі плівки мають однорідну структуру, однак зразки плівок, виготовлені за другим способом показали кращі результати. На мікрофотографіях в поляризованому світлі за першим способом підготовки плівок спостерігається наявність більшої кількості крохмальних зерен, що пов'язано з відсутністю деструкції крохмалю у розчині з хітозаном та молочною кислотою. Зразки плівок мають характерну сітчасту структуру, в якій краплі полімеру оточені тонкими прошарками розчинника.

В цілому плівки одержані за другим способом, мають покращені фізико-механічні властивості: розривна напруга 1,64 МПа. Встановлено, що термостабілізація та збільшення вмісту крохмалю знижують сорбційну здатність плівок з 200 до 110 %, що дає можливість регулювати кінетику вивільнення активного компоненту.

Список посилань

1. Habib, W. Fast-dissolving drug delivery systems, critical review in therapeutics / W. Habib, R. Khankari, J. Hontz – Drug Carrier Syst, 2000. – V. 17– P. 61-72.

2. Krajewska B. Application of chitin- and chitosan-based materials for enzyme immobilizations: a review / B. Krajewska // Enzyme and Microbial Technology. – 2004. – V. 35. – P. 126–139.

3. Leila N. Hassani. Auto-associative amphiphilic polysaccharides as drug delivery systems. / Leila N. Hassani, Frederic Hendra, Kawthar Bouchemal // Drug Discov Today. – 2012. – № 17, № 11/12 – P. 608–614.

УДК687.053+681.326.32(07)

Орловський Б.В., докт. техн. наук, професор
Місяць М.В., аспірант
Київський національний університет технологій та дизайну, mlp-knutd@ukr.net

ПАРАМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ І СИНТЕЗ ВИБОРУ ЗАХВАТІВ МАНІПУЛЯТОРІВ ДЕТАЛЕЙ КРОЮ З ТЕКСТИЛЮ

Для параметричного аналізу захватів маніпуляторів деталей крою з текстилю прийнято узагальнений показник якості K_j , $\forall K,\ K(j),\ j = \overline{(1 \dots 6)}$ процесу поштучного відділення від стосу текстильних деталей крою. Об'єкти дослідження функціонально-адекватні захвати, які позначені наступними ідентифікаторами Y_j:

$\boldsymbol{Y_1}$ – голчастий захват (механічне захоплення);
$\boldsymbol{Y_2}$ – цанговий захват (механічне захоплення);
$\boldsymbol{Y_3}$ – 3х пальцевий адгезивний захват (хіміко-механічне захоплення);
$\boldsymbol{Y_4}$ – захват з пневматичними присосками (пневматичний захват);
$\boldsymbol{Y_5}$ – пластина аеродинамічна (аеродинамічний захват);
$\boldsymbol{Y_6}$ – комбінований 2х-3х інструментальний захват.

Для побудови математичних моделей K_j вхідними параметрами (змінними) функціонально-адекватних ЗШМ прийнято наступні параметри ППЯ $x_i, \forall x, x(i), i = \overline{(1 \dots 8)}$ для поштучного відділення текстильних деталей крою з пачки:

$x_1 := 0.075 \dots 1.0$ – кількісний показник оцінки відношення площі перекриття робочим інструментом або робочим середовищем до площі поверхні деталі з текстилю, що відокремлюється з пачки;

$x_2 := 1.0 \dots 0,\ 0.5$ – якісний показник оцінки гарантованого відділення та утримання однієї деталі з текстилю з урахуванням сили інерції деталі під час її переміщення по осях 0X та 0Z;

$x_3 := 1.0 \dots 0,\ 0.5$ – якісний показник оцінки типу траєкторії ЗШМ або характеру руху робочого середовища;

$x_4 := 0 \dots 1.5,\ 0.5$ – якісний показник оцінки способу взаємодії ЗШМ з деталлю крою з текстилю;

$x_5 := 1.0, 0$ – кількісний показник відношення коефіцієнта x_2 до продуктивності швейної машини $\left(\frac{x_2}{t_{\text{шм}}}\right)$;

$x_6 := 0 \dots 2.0,\ 1.0$ – кількісний показник продуктивності процесу поштучного відділення деталей при паралельному, послідовному та комбінованому способах контакту для пари «ЗШМ – деталь» (Рис.2);

$x_7 := 1.0, 0$ – кількісний показник наявності додаткових технічних засобів підвищення надійності поштучного відділення деталі з пачки;

$x_8 := 0,\ 3.0,\ 5.0$ – кількісний показник необхідності програмно керованих модулів переміщення деталей крою з текстилю в робочій зоні голкової пластини та притискної лапки швейної машини.

Для кількісного обґрунтування раціональних рішень на основі кореляційно-регресійного аналізу деякої сукупності можливих захватів швейних маніпуляторів і способів поштучного

відділення з пачки деталей крою з текстилю побудовані локально-інтегральні моделі у вигляді рівняння лінійної регресії (1):

$$K = a_0 + \sum_{i=1}^{n} a_i . x_i \quad (1)$$

Аналіз кореляційних зв'язків між обраними параметрами x_i виконаний на основі побудови квадратної симетричною кореляційної матриці $\|a_{ij}\|$, елементи якої $a_{ij} \neq 0$ для $i \rangle j = j \rangle i$ та $a_{ij} = 1$ для $i = j$ є коефіцієнтами r_{ij} парної кореляції (таблиця 1). Стовпець матричного рівняння складається з коефіцієнтів r_{ij} парної кореляції між *i*-м параметром x_i і узагальненим показником якості K_{e}, прийнятим за базовий параметр і наданим незалежними експертами. Ці коефіцієнти є мірою лінійної залежності між K_j і обраної (з урахуванням значущості коефіцієнтів рівняння регресії) сукупністю всіх параметрів, які залишилися після відсівання незначущих параметрів x_i, тобто є параметрами R_k множинної кореляції і обчислюються за формулою [3]:

$$R_k = R_{1(2\ldots m)} = \sqrt{1 - \frac{|A|}{A_{II}}}\ , \quad m = (\overline{1, M}), \quad (2)$$

де $|A|$ – визначник кореляційної матриці $\|a_{ij}\|$;
A_{II} – алгебраїчне доповнення елементів a_{ij}.

Таблиця 1 – Матриця вихідних змінних та результати чисельних розрахунків К-моделей функціонально адекватних захватів маніпуляторів поштучного відокремлення з пачки деталей крою з текстилю

Захвати швейного манипулятора	Приватні показники якості x_i								
	K_{e}	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8
Y_1	1.0	0.15	1.0	0	0.5	1.0	0	1.0	0
Y_2	0.8	0.075	1.0	0	0	0	0	1.0	0
Y_3	0.9	0.2	0.5	0	0	0	0	0	0
Y_4	0.5	0.125	0	0	0.5	0	0.5	1.0	0
Y_5	1.0	0.70	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	5.0
Y_6	1.1	1.0	1.0	0.5	1.5	1.0	2.0	1.0	3.0
Попарні коефіцієнти кореляції та елементи кореляційної матриці									
$r_{i\text{к}1}$ a_{i1}	1.0 0.71	0.54 0.13	0.70 0.26	0.42 -0.02	0.41 0.04	0.64 0.13	0.16 -0.02	-0.03 -0.07	0.44- 0.0009
$r_{i\text{к}2}$ a_{i2}	1,0 0.62	0.54 0.23	0.70 0.22	0.42 -0.03	0.41	0.64 0.11	0.16 -0.05	- -	0.44- 0.001
$r_{i\text{к}3}$ a_{i3}	1,0 0.60	0.54 0.19	0.70 0.24	0.42 -0.03	0.41	0.64 0.12	- -	- -	0.44- 0.002
$r_{i\text{к}4}$ a_{i4}	1,0 0.60	0.54 0.15	0.70 0.25	0.42 -0.03	- -	0.64 0.10	- -	- -	0.44- 0.004
$r_{i\text{к}5}$ a_{i5}	1,0 0.60	0.54 0.15	0.70 0.25	- -	- -	0.64 0.10	- -	- -	0.44- 0.008
$r_{i\text{к}6}$ a_{i6}	1,0 0.60	0.54 0.12	0.70 0.25	- -	- -	0.64 0.01	- -	- -	- -

Тому, що значення коефіцієнтів множинної кореляції R_k знаходяться в діапазоні $0.8 \leq R_k \leq 0.9$, то можна стверджувати, що величина узагальненого показника якості K_j з використанням «К-моделей» розглянутої множини функціонально адекватних схватов

швейних маніпуляторів, з ймовірністю близькою до «1» дорівнює лінійної комбінації параметрів x_i у відповідності з наступними отриманими моделями (3) … (8).

Таблиця 2 – Коефіцієнти множинної кореляції R_k для моделей (3)…(8)

$R_1 = 0.8093$
$R_2 = 0.8195$
$R_3 = 0.8129$
$R_4 = 0.8333$
$R_5 = 0.8267$
$R_6 = 0.8682$

$K_1 = 0{,}7172+0{,}1281x_1 +0{,}2565x_2 –0{,}0239x_3 +0{,}0393x_4 +0{,}1336x_5 –0{,}0198x_6 –0{,}1736x_7 –0{,}009x_8$ (3)

Після першого уточнення моделі K_1 і відсіву слабо корельованого з моделлю K_1 фактора x_7 отримана наступна розрахункова модель (4):

$K_2 = 0{,}6234 + 0{,}2298x_1 + 0{,}2162x_2 – 0{,}0335x_3 –0{,}0019x_4 + 0{,}1112x_5 –0{,}0520x_6 –0{,}0013x_8$ (4)

Після наступного уточнення моделі K_2 і відсіву слабо корельованого з моделлю K_2 фактора x_6 отримана наступна розрахункова модель (5):

$K_3 = 0{,}6077 + 0{,}1877\ x_1 + 0{,}2565x_2 –0{,}0239\ x_3 – 0{,}0393\ x_4 + 0{,}1207\ x_5 – 0{,}0024\ x_8$ (5)

Після наступного уточнення моделі K_3 і відсіву слабо корельованого з моделлю K_3 фактора x_4 отримана наступна розрахункова модель (6):

$K_4 = 0{,}5978 + 0{,}1534\ x_1 + 0.2508\ x_2 – 0.0319\ x_3 – 0.1022\ x_5 – 0.0036\ x_8$ (6)

Після наступного уточнення моделі K_4 і відсіву слабо корельованого з моделлю K_4 фактора x_3 отримана наступна розрахункова модель (7):

$K_5 = 0{,}5986 + 0{,}1382\ x_1 + 0{,}2502\ x_2 + 0{,}1013\ x_5 – 0{,}0080\ x_8$ (7)

Після наступного уточнення моделі K_5 і відсіву слабо корельованого з моделлю K_5 фактора x_8 отримана наступна розрахункова модель (8):

$K_6 = 0{,}6026 + 0{,}1224\ x_1 + 0{,}2480\ x_2 + 0{,}0957\ x_5$ (8)

Розраховані значення узагальненого показника якості K_j, для шести функціонально адекватних захватыв маніпуляторів поштучного відокремлення з пачки деталей крою з текстилю наведені в таблиці 3.

Таблиця 3 – Результати чисельних розрахунків значення K_j по моделям (3)…(8)

K_j для захватів $Y_1 \dots Y_6$	K_e	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6
Y_1	1.0	0.9725	0.9842	0.9746	0.9745	0.9724	0.9646
Y_2	0.8	0.8097	0.8568	0.8616	0.8601	0.8599	0.8598
Y_3	0.9	0.8711	0.7774	0.7652	0.7539	0.7533	0.7511
Y_4	0.5	0.5594	0.5991	0.6094	0.6170	0.6171	0.6179
Y_5	1.0	1.0210	1.0290	1.0220	1.0170	1.0210	1.0210
Y_6	1.1	1.0660	1.0530	1.0670	1.0780	1.0750	1.0690

Обираємо отриману К-модель (8), у якої залишилося наступні два кількісних і один якісний приватні показники якості поштучного відокремлення деталей крою з текстилю: x_1 – кількісний показник відношення площі перекриття робочим інструментом або робочим середовищем площі поверхні деталі з текстилю, що відокремлюється з пачки; x_2– якісний показник гарантованого відділення та утримання однієї деталі з текстилю з урахуванням сили інерції деталі під час її переміщення по осях 0X та 0Z; x_5 – кількісний показник відношення коефіцієнта x_2 до продуктивності швейної машини $\left(\frac{x_2}{t_{\text{шм}}}\right)$. Цим вимогам відповідає безконтактний аеродинамічний захват Y_5.

Список посилань

1. Огірко О. І. Теорія ймовірностей та математична статистика: навчальний посібник / О. І. Огірко, Н. В. Галайко. – Львів: ЛьвДУВС, 2017. – 292 с.

УДК 67/68.05:621/865.8

Орловський Б.В., докт. техн. наук, професор
Київський національний університет технологій та дизайну, mlp-knutd@ukr.net

АНАЛІЗ І СИНТЕЗ ЦИКЛОВИХ МЕХАТРОННИХ СИСТЕМ З ПРОГРАМОВАНИМ ЛОГІЧНИМ КОНТРОЛЕРОМ

Циклічно-модульне проектування для вирішення практичних задач автоматизації технологічних машин галузевого машинобудування розглянуто в роботах [1, 2] та інших. На рис.1 наведені деякі варіанти потенційно можливих графів з двома пневмоциліндрами, з побудови яких починається перший етап проектування, а саме етап аналізу мехатронних систем цільового призначення.

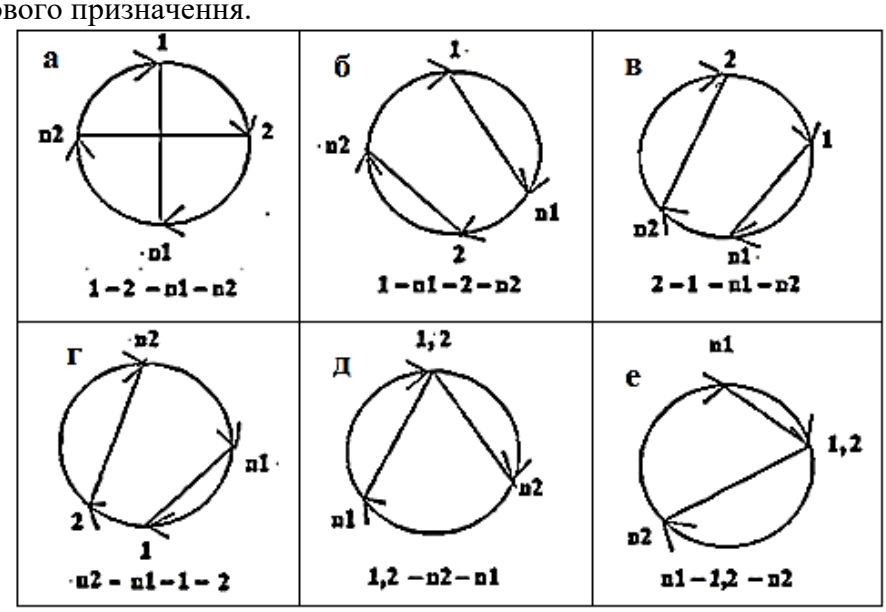


Рис. 1 – Варіанти потенційно можливих графів з двома пневмоциліндрами з МОНОстабільним та з БІстабільним керуванням

Типовий мехатронний модуль для циклу **1 – n1 – 2 – n2** (див. рис.1, б) для двох виконавчих механізмів (пневмоциліндрів ПЦ1 і ПЦ2 двосторонньої дії) з бістабільним керуванням є інформаційно невизначеним і тому в таблиці на рис.2, а причино-наслідкових зв'язків для прямих та зворотних команд наведені дві строки з однаковими логічними командами. Для позбавлення інформаційної невизначеності циклом керування в таблиці (рис.2, б) та на рис.3, а доданий елемент пам'яті 3.

ПЦ1	ПЦ2	З – елемент пам'яті
1	0	-
0	0	-
0	1	-
0	0	-

а

ПЦ1	ПЦ2	З – елемент пам'яті
1	0	0
1	0	1
0	0	1
0	1	1
0	1	0
0	0	0

б

Рис. 2 – Таблиці аналізу інформаційної повноти циклу 1 – n1 – 2 – n2:
а – інформаційно невизначений граф; б – інформаційно визначений граф

В результаті отримуємо цикл 1 – 3 – n1 – 2 – n3 – n2 . Аналіз і синтез циклових механіко-технологічних систем з ПЛК при мехатронному керуванні циклом 1 – 3 – n1 – 2 – n3 – n2 наведений на рис.3, де 1 – пряма команда Y1 для першого пневмоциліндру двосторонній дії; 3 – команда SET включення елемента пам'яті Y3; n1 – зворотна команда Yn1 для першого пневмоциліндру; 2 – пряма команда Y2 для другого пневмоциліндру двосторонній дії; n3 – команда RESET вимкнення елемента пам'яті Yn3; n2 – зворотна команда Yn2 для другого пневмоциліндра.

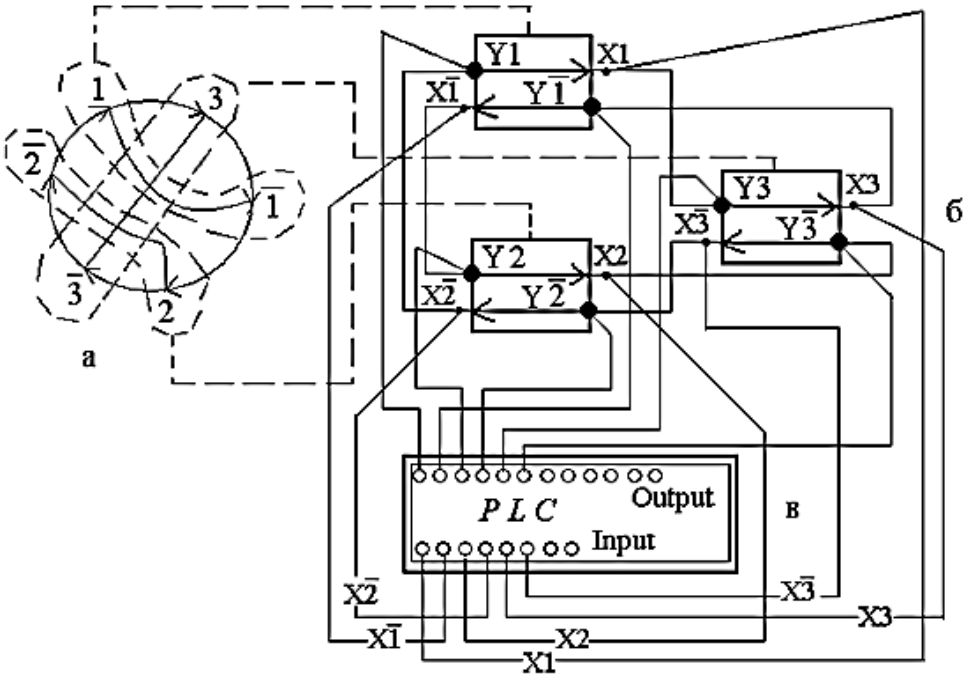


Рис. 3 – Схема типових етапів аналізу і синтезу проектування РТС: а – функціональний граф; б – бістабільний пневморозподільник; в – програмуемий логічний контролер (PLC); а - б – перехід від функціонального графу циклового процесу до структури пневморозподільника; б та в – перехід від структури пневморозподільника до структури PLC для перетворення інформаційно-енергетичного потоку у інформаційно-технологічний потік

На етапах (рис.3, а) і (рис.3, б) виконується ***аналіз*** *об'єкту проектування*. При аналізі на засадах технічного завдання будуються графи функціонально-адекватних циклових мехатронних систем і виконується їх порівнювальний аналіз з метою вибору найбільш раціонального, з точки зору техніко-економічних переваг. На цієї стадії проектування визначаються параметри (змінні) для складання **Allocation List** (Алокейшен листа) і розробки програми проекту. Розробка програмного кода для прошивки контролера є наступною стадією проектування, а саме ***синтезом*** *об'єкту проектування* і який реалізується на етапі (рис. 3, в) для прошивки програмованого логічного контролера (***PLK***).

Список посилань

1. Губарев А.П. Механотроника: от структуры системы к алгоритму управления: Учеб. пособие / А.П. Губарев, О.В. Левченко. – К.: НТУУ» КПИ», 2007. – 180 с.

2. Орловський Б.В. Мехатроніка в галузевому машинобудуванні / Б.В. Орловський. – К. КНУТД. – 2018. – 416 с.

UDC 66.081.63

Huliienko S.V., Ph.D., associate professor
Muzyka S.M.
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",
sergiiguliienko@gmail.com

MATHEMATICAL SIMULATION OF THE REVERSE OSMOSIS: CURRENT STATE AND PERSPECTIVE OF DEVELOPMENT

The reverse osmosis process is widely used in water treatment systems, chemical, food, biotechnological industry and other fields. The important direction in the investigations of this process is the mathematical simulation which allows to increase effectiveness of design and exploitation of membrane equipment with lower number of experiments. In work [1] the critical analysis of the publication about this topic from 2000 to 2010 was carried out. The follow-up of this work is the analysis of publication in the next period of time: from 2011 to 2020. For this purposes the publications in leading journals in main systems of scientific information including *ScienceDirect* [2], *Springer* [3], and *DOAJ* [4] ware analyzed.

The distribution of the publication by the years is represented on the Fig. 1. These results show that the reverse osmosis simulation is still actual direction of investigation of the membrane processes and the interest for such researches increased.

In work [1] it was pointed out, that the conventional models include such groups of modes as models based on irreversible thermodynamics, diffusion based models and pore flow based models. Some investigations involving computational fluid dynamics, artificial neuron networks, optimization and economical analysis were identified as individual groups. The analysis of published works in this field has shown that it is reasonable except identified in previous work [2] to consider individually the methods of molecular dynamics and energy analysis. According to this into account, the distribution of the approach in publication chosen for review is shown on Fig. 2.

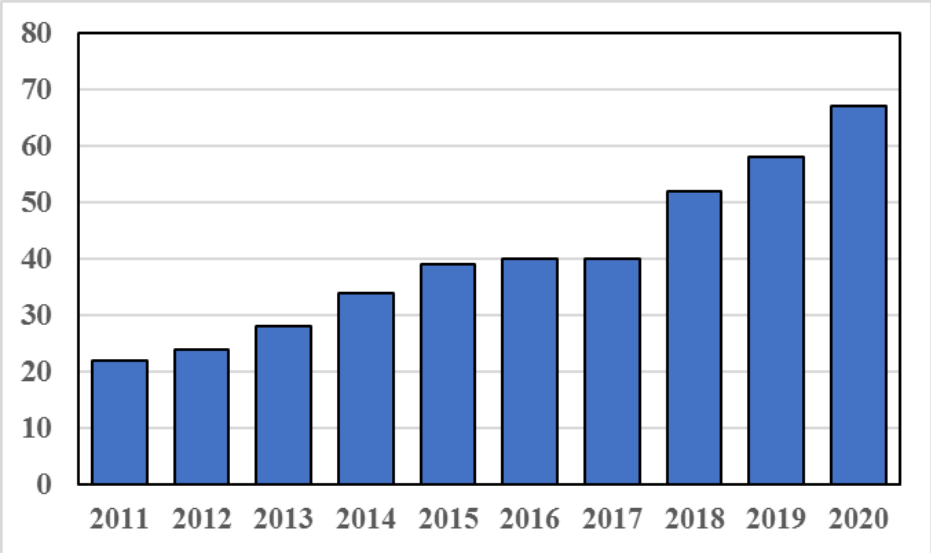


Fig. 1 – The distribution of the publication about reverse osmosis simulation chosen for analysis by years

As in previous period, the biggest number of works is dedicated to simulation with using of computational fluid dynamics and optimization methods, whereas the number of model with using concept of irreversible thermodynamics and pore flow is still relatively low. The main difference is unexpected high number of diffusion based models, which is probably related to the fact that

this models are relatively simple and take into account the membrane properties in contrast with irreversible thermodynamics based models.

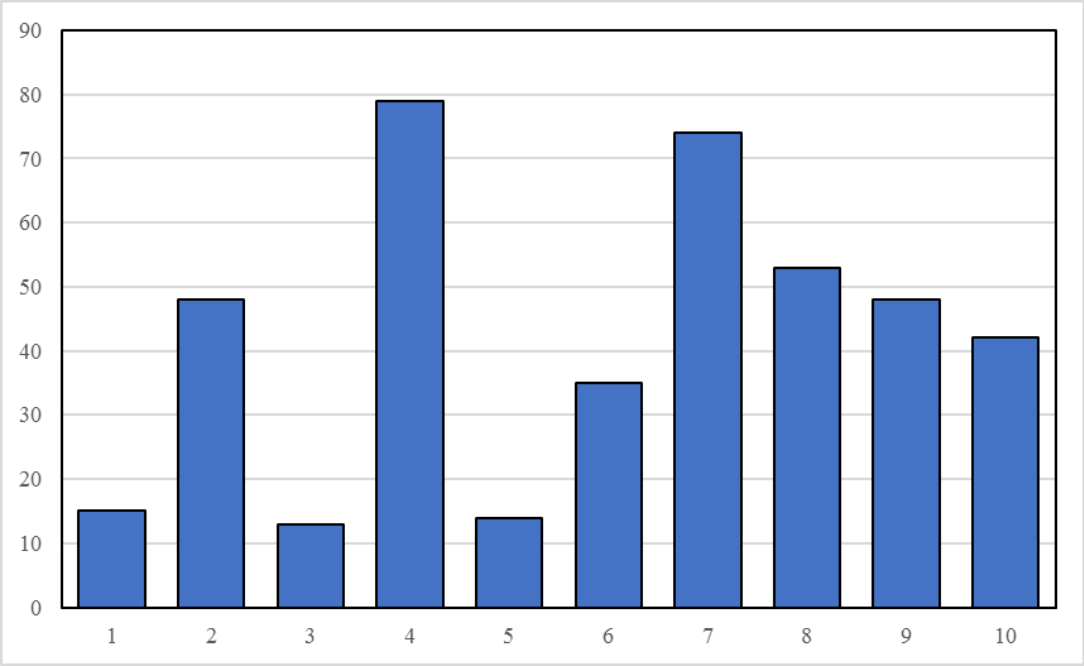


Fig. 2 – The distribution of the reverse osmosis models by groups in chosen publication: 1 – irreversible thermodynamics; 2 – diffusion; 3 – pore flow; 4 – computational fluid dynamics; 5 – artificial neuron network; 6 – molecular dynamics; 7 – optimization; 8 – energy analysis; 9 – economical analysis; 10 – other approaches.

The relatively low number of publication about the simulation of the reverse osmosis with using of the artificial neuron networks also attract attention. Despite the dynamical development of this method of simulation in practically all kinds of humane activity, the number of investigation of the reverse osmosis with this approach is still at the same level with irreversible thermodynamics and pore flow based models. At the same time, the number publication about reverse osmosis modeling using the molecular dynamics method has become quite high which allow to suggest the perceptivity of this approach.

In general, taking into account intensive development of the computer technologies and software (including presence of free open software such as OpenFOAM), the most perspective ways in the reverse osmosis simulation in coming years will be the computational fluid dynamics and molecular dynamics and also optimization methods.

References

1. Huliienko S. V. Korniienko Y. M., Gatilov K. O. (2020). Modern trends in the mathematical simulation of pressure-driven membrane processes. *Journal of Engineering Sciences*, Vol. 7(1), pp. F1–F21, doi: https://doi.org/10.21272/jes.2020.7(1).f1

2. ScienceDirect.com | Science, health and medical journals, full text articles and books. [Electronic source]: [Web-site]. – Electronic data. – Access mode: https://www.sciencedirect.com/ (date of the requests 20.04.2022) – Name from the screen.

3. Home – Springer [Electronic source] : [Web-site]. – Electronic data. – Access mode: https://link.springer.com/ (date of the requests 20.04.2022) – Name from the screen.

4. Directory of Open Access Journals – DOAJ [Electronic source] : [Web-site]. – Electronic data. – Access mode: https://doaj.org/ (date of the requests 20.04.2022) – Name from the screen.

УДК 541(49+64):539.2

Демченко В.Л., докт. хім. наук, ст. дослідник
Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України, м. Київ, dvaleriyl@ukr.net

ФОРМУВАННЯ НАНОКОМПОЗИТІВ МЕТОДОМ КАТОДНОГО НАПИЛЕННЯ НАНОЧАСТИНОК СРІБЛА НА ПОВЕРХНЮ ПОЛІЛАКТИДУ

Інфекційні захворювання, спричинені мікроорганізмами і вірусами й досі залишаються однією із найбільших проблем охорони здоров'я у всьому світі, незважаючи на швидкий прогрес у створенні лікарських препаратів і технологій. Тому сьогодні існує потреба у створені нових матеріалів із вищою антимікробною і противірусною активністю і меншою токсичністю для людини і довкілля.

У роботі розроблено простий спосіб виготовлення срібловмісних полімерних нанокомпозитів на основі полілактиду (ПЛА) методом напилення наночастинок срібла на поверхню зразків. Тривалість процесу становила 1, 3 та 5 хв. За допомогою трансмісійної електронної мікроскопії встановлено, що в зразках ПЛА, напилених протягом 5 хв, утворюється шар з наночастинок срібла завтовшки ~100 нм. Середній розмір наночастинок становить 5.9 нм. У цих зразках методом ширококутової рентгенографії виявлено малоінтенсивні дифракційні піки, які характеризують структуру металічного срібла. Результати, отримані методами термогравіметричного аналізу та диференціальної сканувальної калориметрії, свідчать про сильну взаємодію між полімерною матрицею полілактиду й напиленим шаром срібла. Показано, що найбільший вплив на термостійкість і температуру склування ПЛА чинить найтонший шар срібла, напилений протягом 1 хв. Це може бути пов'язано з тим, що за таких умов утворюються дрібніші наночастинки, які активніше взаємодіють з полімерною матрицею ПЛА, ніж при напиленні протягом 3 і 5 хв. Встановлено, що в процесі напилення срібла на поверхню ПЛА значно підвищується його ступінь кристалічності.

Виявлено, що нанокомпозити ПЛА-Ag, виготовлені методом напилення наночастинок срібла, проявляють антимікробну активність щодо тест-культур мікроорганізмів *S. aureus*, *E. coli* та *P. aeruginosa*, причому вона зростає при збільшенні тривалості напилення. Найвищу антимікробну дію зафіксовано за тривалості напилення срібла 5 хв, діаметр зон затримки росту становив 15,05±0,8 мм щодо *S. aureus*, 11,65±0,5 мм щодо *E. coli*, 17,23±1,1 мм щодо *P. aeruginosa*. Також виявлено відносну противірусну активність нанокомпозитів, виготовлених напиленням срібла, щодо вірусу грипу А, вірусу простого герпесу 1 типу та аденовірусу серотипу 2. Створені нанокомпозити не були токсичними (не пригнічували життєздатність культур клітин MDCK, ВНК та Hep-2).

Як наслідок, синтезовані матеріали можуть мати потенціал для біомедичних застосувань.

Список посилань

1. Demchenko V., Riabov S., Sinelnikov S., Radchenko O., Kobylinskyi S., Rybalchenko N. Novel approach to synthesis of silver nanoparticles in interpolyelectrolyte complexes based on pectin, chitosan, starch and their derivatives. *Carbohydrate Polymers*. 2020. Vol. 242. P. 116431.

2. Demchenko V., Rybalchenko N., Zahorodnia S., Naumenko K., Riabov S., Kobylinskyi S., Vashchuk A., Mamunya Ye., Iurzhenko M., Demchenko O., Adamus G., Kowalczuk M. Preparation, Characterization, Antimicrobial and Antiviral Properties of Silver-containing Nanocomposites based on Polylactic Acid–Chitosan. *ACS Applied Bio Materials*. 2022.

3. Demchenko V., Mamunya Ye, Kobylinskyi S., Riabov S., Naumenko K., Zahorodnia S., Povnitsa O., Rybalchenko N., Iurzhenko M., Adamus G., Kowalczuk M. Structure-Morphology-Antimicrobial and Antiviral activity Relationship in Silver-containing Nanocomposites based on Polylactide. *Molecules.* 2022.

УДК 629.734.7.018.4

Сила І.М.
Бойченко О.І.
Корольов О.О., канд. техн. наук, доцент
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Чернігів

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО МОДЕРНІЗАЦІЇ МАЙСТЕРНІ ЕЛЕКТРИЧНОГО СПЕЦІАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ (МЕС) ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ В ЇЇ СКЛАД ЕФЕКТИВНИХ ЗАСОБІВ ДІАГНОСТИКИ

На теперішній час у Збройних Силах України проводиться модернізація бронетанкового озброєння, результати якої суттєво змінять його якісні показники. Поряд с цим, робота щодо модернізації ремонтних машин вимірювальних та діагностичних засобів проводиться повільно. На думку авторів, модернвзовані майстерні бронетанкового озброєння повинні бути оснащені сучасним обладнанням, яке у цілому підвищить коефіцієнт технічної готовності бронетанкової техніки.

На основі аналізу технічно-експлуатаційної документації, а також досвіду експлуатації майстерні електроспецобладнаня (далі – МЕС) у військах та її бойового застосування в ООС, зроблено висновок, що дана майстерня як морально, так і фізично застаріла. МЕС не може забезпечити весь спектр робіт з проведення технічного обслуговування та ремонту електроспецобладнаня бронетанкового озброєння та техніки (далі – БТОТ) з причини не відповідності виконання цих робіт на техніці, яка експлуатується на даний час в ЗСУ.

Вирішення даного протиріччя можливо за рахунок впровадження (встановлення) сучасних діагностичних комплексів та засобів ремонту електроспецобладнаня (далі – ЕСОбл) комплексу озброєння бойових машин.

Отже виникає потреба проведення комплексного дослідження з аналізу характеристик та можливості застосування в польових умовах засобів діагностики та ремонту, також необхідно провести дослідження та розрахунки з енергоспоживання цих пристроїв та стендів, оптимізувати кількість особового складу екіпажу та його розташування і приладів діагностування, ремонту для більш зручного розгортання їх у польових умовах та провести економічний розрахунок.

На основі цих досліджень розробити рекомендації щодо модернізації МЕС, не змінюючи її колісну базу. Метою досліджень є аналіз відповідності МЕС сучасним вимогам для польових майстерень та вироблення шляхів її модернізації.

Обґрунтуванням зазначених досліджень є статистика виходу з ладу електричної та електронної складових систем, вузлів та агрегатів БТОТ, а також проведення експертного опитування фахівців БТОТ, щодо обладнання МЕС новим кузовом та новим обладнанням, яке повинне відповідати вимогам проведення діагностики ЕСОбл, в тому числі комплексу озброєння БТОТ.

Модернізацію МЕС доцільно проводити шляхом встановлення нового обладнання на базі кузова К-131, КТ-131 для проведення діагностики та ремонту ЕСОбл, у тому числі, складових комплексу озброєння. Майстерня повинна бути укомплектована, як переносними, так і стаціонарно встановленими приладами, що дозволяють виявити несправний блок або вузол та визначити окремі електричні параметри ЕСОбл бронетанкового озброєння. Зазначене потребує розроблення та впровадження принципово нових вимірювальних комплексів та приладів, а саме:

– переносний прилад для дослідження параметрів контрольного рознімання Ш2 коробки БУ-К1 стабілізаторів озброєння 2Е42, 2Е26М, 2Е42-2;

– переносний прилад для дослідження параметрів контрольного рознімання Ш8 блоку П2 виробу 1Г42;

– переносний прилад для дослідження параметрів контрольного рознімання Ш17 блоку П2 виробу 1Г42;

– переносний прилад для регулювання та діагностики далекомірів приладів 1Г42, 1Г46 та 1А40 із введенням умовної дальності;

– переносний прилад для дослідження параметрів контрольного рознімання Ш2 коробки БУ-К1 стабілізатора озброєння 2Е28М;

– переносний прилад для дослідження параметрів контрольного рознімання КПА блоку БУ стабілізатора озброєння 2Е36;

– переносний прилад для дослідження параметрів контрольного рознімання КПА блоку БУ стабілізатора озброєння СВУ-500;

– переносний прилад для дослідження параметрів контрольного рознімання пульту управління стабілізатору озброєння СВУ-500;

– переносний прилад для дослідження параметрів контрольного рознімання Ш31 блоку БУ-47 та роз'ємів Ш4 та Ш5 блоку БУ-43 механізмів заряджання;

– стаціонарний стенд для перевірки працездатності та проведення ремонту електромашинного підсилювача ВД ЕДМ-16У та ЕМП-12ПМБ;

– вольт-амперметр цифровий універсальний із комплектом щупів;

– мегомметр, для перевірки стану ізоляції та перевірки обмоток електродвигунів та генераторів;

– частотомір універсальний, для перевірки частотних та амплітудно-частотних характеристик блоків, та якості частоти змінного струму комплексу озброєння;

– тахометр електронний, для вимірювання швидкості обертання динамічних елементів комплексу озброєння.

До кожного приладу (стенду) для з'єднання його з вузлами ЕСОбл, що діагностується, додається комплект елементів для сполучення. Визначено що для забезпечення електроживлення МЕС БТОТ необхідно впровадити джерело автономного електроживлення потужністю не менше 4 кВт.

Модернізація МЕС дозволить підвищити рівень справності бронетанкової техніки Збройних Сил України шляхом забезпечення якості технологічних процесів її ремонту та відновлення, в тому числі і в умовах бойових дій.

Список посилань

1. Майстерня электроспецоборудования [Текст]"Техническое описание и инструкция по эксплуатации", Москва: Воениздат, 1985. 190 с.;

2. Сладких С.О. "Майстерня електроспецобладнаня (МЕС)" [Текст] / С.О. Сладких, В.М.Щокін, П.А.Бондарук // Харків, 2011 – 125 с.;

3. Пересувні засоби технічного обслуговування і ремонту [Текст] Навчально-методичний посібник. Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ., 2014. – 213 с.;

4. Дачковський В.О. Методика обґрунтування тактико-технічних вимог до рухомих засобів ремонту озброєння та військової техніки. / Дачковський В.О. – Social development & Security. 2019. – № 9(6). – 86-101. DOI: 10.33445/sds.2019.9.6.7

5. Dachkovskyi, V. O. Methodology of explanation of tactical and technical requirements for means of evacuation of weapons and military equipment. Social development & Security. 2020. №10(3), 104–113. DOI: 10.33445/sds.2020.10.3.9).

6. Анализ и совершенствование применяемого оборудования подвижных танкоремонтных мастерских. Шифр «Оборудование»: отчет по НИР /УО «Военная академия Республики Беларусь»; рук. темы М.П. Брель. Минск, 2009. – 81 с.

УДК 678.057.5

Бакалов В.Г., канд. техн. наук, доцент,
Кузьменко В.А., ст. наук. співробітник
Яриш І.Ю., наук. співробітник
Державний НДІ випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Чернігів

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ВИТЯГУВАННЯ ПЛОСКОЇ ПОЛІМЕРНОЇ ПЛІВКИ ПІСЛЯ ПЛОСКОЩІЛИННОЇ ГОЛОВКИ І НА ПРИЙМАЛЬНО-ОХОЛОДЖУЮЧОМУ ВАЛКУ

Полімерні плівки знаходять все більше застосування в якості пакувальних матеріалів. Таки матеріали використовуються в різних галузях промисловості. Сучасні методи розрахунку не дозволяють визначити ширину формуємої полімерної плівки в залежності від геометричних параметрів приймально-охолоджуючого обладнання. Це стримує впровадження такого обладнання у промисловість.

Найбільший вплив на якість виробленої плівки, при її виробництві методом плоскощілинної екструзії, надають два вузла – екструзійна головка, яка формує полімерну плівку з розплаву і приймально-охолоджуючий валок, який витягує і охолоджує плівку [1, 2]. Приймально-охолоджуючий валок встановлюється за екструзійною головкою і забезпечує витягуванням необхідну товщину, ширину плівки і охолоджує її до необхідної температури.

У зв'язку з вищенаведеним на якість полімерної плівки впливають:

– реологічні процеси, які проходять в екструзійній голівці;

– процес витягування полімерної плівки, який має місце на ділянці між екструзійною головкою і охолоджуючим валком;

– процес витягування полімерної плівки на охолоджуючому валку, який супроводжується зміною ширини плівки.

В роботах [1, 2] представлена розрахункова схема для визначення ширини і товщини полімерної плівки при її витягуванні між плоскощілинною головкою і приймально-охолоджуючим валком. Представлена розрахункова схема базується на тому, що:

– сила тертя між полімерною плівкою і валком прикладена в одній точці;

– сила, яка витягує полімерну плівку, також додана в одній точці і спрямована перпендикулярно осі валка.

Така схема не зовсім точно описує процеси витягування полімерної плівки між плоскощілинною головкою і охолоджуючим валком [1, 2].

Відомо [1, 2], що витягуюча сила зменшується від максимального значення в точці дотику полімерної плівки приймально-охолоджуючого валка до мінімального значення, яке існує в плівці після проходження нею приймально-охолоджуючого валка.

У зв'язку з цим ширина і товщина полімерної плівки, будуть відрізнятись від значень розрахованими за формулами робіт [1, 2].

Робота присвячена розробці математичної моделі процесу витягування плоскої полімерної плівки між плоскощілинною головкою і приймально-охолоджуючим валком, а також процесу витягування і звуження ширини плівки на охолоджувальному валку.

На рис. 1 наведена схема витягування полімерної плівки після плоскощілинної головки і на приймально-охолоджуючому валку.

Авторами розроблена математична модель, яка складається із диференційного рівняння першого порядку для розрахунку кута нахилу краю полімерної плівки θ в процесі витягування між плоскощілинною головкою і охолоджуючим валком, витягування плівки на валку і рівняння для розрахунку ширини полімерної плівки в залежності від відстані між плоскощілинною головкою і охолоджуючим валком (L), діаметром охолоджуючого валка, коефіцієнтом тертя між плівкою і валком.

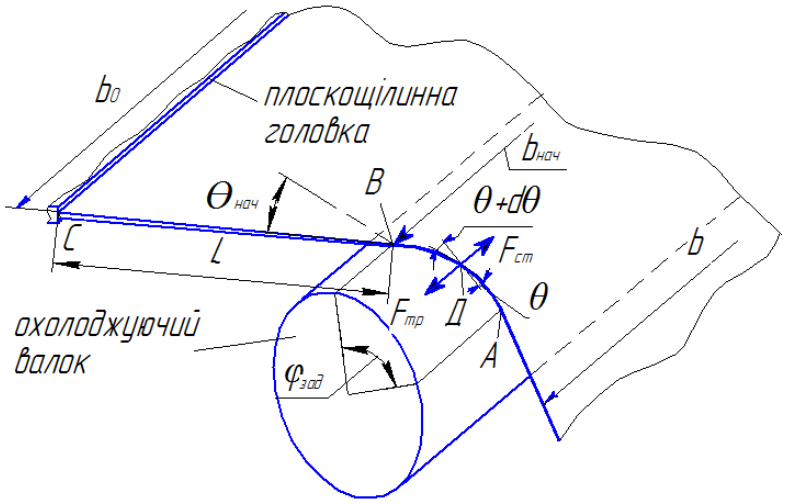


Рис. 1 – Схема витягування полімерної плівки після плоскощілинної головки і на приймально-охолоджуючому валку

Список посилань

1. Чередніченко П.І. Моделювання процесу руху полімеру у плоскощілинній головці / П.І.Чередніченко, В.Г.Бакалов, О.В.Бакалов // Математичні машини і системи. Інститут проблем математичних машин і систем НАН України, 2009. – №1. – С.150–158.

2. Чередніченко П.І. Плоскощілинні головки для ламінування матеріалів. Конструкція, розрахунок, проектування / П.І.Чередніченко, В.Г.Бакалов, О.В.Бакалов. – Чернігов: ЧДТУ, 2009. – 141 с.

УДК 613.262

Лапицька Н. В., PhD, ст. наук. співробітник
Національний університет «Чернігівський колегіум» ім. Т. Г. Шевченка,
nadegda.lapttskaja@gmail.com
Борисюк К. Г., наук. співробітник
Державний НДІ випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Чернігів,
Мозгова К. А., студентка
Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т. Г. Шевченка

ВИРОБНИЦТВО ЗБАГАЧЕНОГО СЛИВОВОГО ПЮРЕ ДЛЯ ХАРЧУВАННЯ ВІЙСЬКОВИХ

На сучасному етапі розвитку харчової промисловості значна увага приділяється виробництву продуктів, що позитивно впливають на здоров’я людини, забезпечуючи її організм необхідними есенціальними речовинами. Велике значення у харчуванні всіх верств населення мають фрукти, ягоди, овочі та, відповідно, соки й пюре з них, адже дозволяють наситити організм людини широким спектром вітамінів і мінеральних речовин. Це дозволить йому повноцінно функціонувати та чинити опір збудникам різних хвороб.

Враховуючи ситуацію в Україні на сьогоднішній день слід подбати про повноцінне, збалансоване харчування для військових. Потрібно врахувати той факт, що військові, які знаходяться на завданні, не можуть споживати овочі, фрукти, ягоди та пюре з них у кількостях, необхідних для збереження їх здоров’я. У зв’язку з цим, актуальним питанням є розробка продуктів, що будуть мати зручне фасування, зберігатися протягом тривалого часу без зниження показників якості й при цьому забезпечувати організм корисними речовинами.

В даній роботі були проведені дослідження, направлені на виробництво сливового пюре, що збагачене шротом зародків пшениці (ШЗП) в якості білково-вітамінного комплексу.

Вивчалися показники якості такого пюре, а також розглядалася можливість використання консервантів природного походження, таких як шрот плодів шипшини (ШПШ) (НВ ТОВ «Житомирбіопродукт»). В пюре досліджувались показники кислотності, смакові властивості, а також вміст білку. Визначали вплив ШПШ на терміни придатності готового продукту, що є важливим для харчування військових в польових умовах.

Сливове пюре отримували шляхом прямого пресування слив сорту «Венгерка» після чого у вичавки вносили 5% від маси слив шроту зародків пшениці, витримували від 60 до 90 хв і повторно пресували з метою збільшення виходу пюре та збагачення його есенціальними речовинами шроту. Внесення консерванту здійснювали у готове пюре в кількості від 1 до 7% від маси пюре. З метою продовження тривалості зберігання збагаченого пюре також проводили його теплову обробку замість використання консерванту. Даний процес здійснювався при температурі, що не перевищувала 85-90℃ протягом від 30 до 120 хв при постійному перемішуванні.

В ході проведення експерименту було встановлено, що за внесення ШЗП кислотність отриманого пюре підвищується на 5,4%, що позитивно впливає на органолептичні показники готового продукту – він стає не таким солодким порівняно із контролем (сливовим пюре без добавок). Вміст білку в готовому продукті підвищується на 8-9%, що є дуже важливим для організму людини, а особливо – для військових, що мають складні умови праці. Тривалість зберігання такого соку становила 6 діб після чого починалося мікробіологічне псування.

Внесення в якості консерванту ШПШ мало також вплив і на кислотність готового продукту та на його смакові якості. Так, додавання добавки в кількості від 1 до 2% від маси пюре підвищувало його кислотність на 2,2-4,5% відповідно, в смаку була більш виражена кислотність. При цьому термін зберігання продукту дещо подовжувався і становив 12-18 діб, що у 2-3 рази більше порівняно із пюре без використання шроту, але значно менше, ніж необхідно для введення такого продукту в пайок для військових.

Використання шроту плодів шипшини в кількості від 3 до 7% спричиняло збільшення кислотності продукту на 8,9-12,4%, в смаку з’явилася приємна відчутна кислотність, відчувався присмак і легкий аромат шипшини, що посилювався із збільшенням дозування добавки. Було також встановлено, що таке пюре може зберігатися від 30 до 45 діб, що може бути актуальним для використання даного шроту в якості консерванту. Слід зазначити, що при такому способі виробництва відбувається додаткове збагачення готового продукту вітамінами С, Е, РР, β-каротином, мінеральними речовинами натрієм, калієм, кальцієм, некрохмальними полісахаридами, у тому числі пектиновими речовинами і лігніном.

При проведенні теплової обробки збагаченого за допомогою ШЗП сливового пюре було встановлено, що проведення її протягом від 30 до 40 хв за температури 85-90℃ майже не впливає на тривалість зберігання продукту подовжуючи його від 12 до 24%. Показники якості при цьому залишаються незмінними. В той же час, за оброблення продукту теплом від 45 до 120 хв тривалість його зберігання значно подовжується – вона становить від 40 до 90 діб, що у 6,7-15 разів більше порівняно із необробленим пюре.

Були також проведені дослідження сумісного використання ШПШ як консерванту та проведення теплової обробки. Результати експерименту показали, що мікробіологічне псування пюре при цьому починає проявлятися лише через 120-186 діб. Змінюються і органолептичні показники – пюре має кисло-солодкий смак і легкий аромат хліба з нотками шипшини.

Таким чином, було встановлено, що використання шроту плодів шипшини в якості консерванту при виробництві збагаченого сливового пюре є актуальним за використання його в кількості від 3 до 7%. Також рекомендується такий спосіб консервування із тепловою обробкою, яку слід здійснювати від 45 до 120 хв за температури 85-90℃. Це дозволить отримати високоякісний продукт із підвищеним терміном зберігання.

УДК 677.055

Дворжак В. М., канд. техн. наук, доцент
Київський національний університет технологій та дизайну, v_dvorjak@ukr.net

МЕХАНІЗМ ЗМІНИ ГЛИБИНИ КУЛІРУВАННЯ В'ЯЗАЛЬНОЇ МАШИНИ

Для отримання трикотажного полотна потрібної щільності необхідно змінювати довжини петель. На в'язальних машинах довжини петель змінюють завдяки зміні так званої глибини кулірування. У круглов'язальних машинах з клинами, нерухомими відносно голечниці, глибину кулірування змінюють завдяки зміні положення клинів відносно відбійної площини. Для цього зазвичай використовують механізм [1], який складається з підпружиненого повзуна з прикріпленими до нього замикальним та кулірним клинами, що встановлюється в корпусі замкового блоку з можливістю руху вздовж виконаної у ньому напрямної. Зміна положення повзуна забезпечується регулювальним гвинтом, який загвинчується в різьбовий отвір корпусу замкового блоку та через двоплече коромисло з'єднується з повзуном. Регулювальний гвинт виконаний заодно з рукояткою, яка своїми виїмками контактує з пластинчастою пружиною-фіксатором. Для зміни глибини кулірування повертають рукоятку на певну кількість кроків. До недоліків подібних механізмів слід віднести певну дискретність значень положень при регулюванні з похибкою встановлення клинів, що визначається половиною кроку між виїмками рукоятки, та зміну положення клинів у процесі роботи через втрату жорсткості пружини повзуна, що може призвести до нерівномірності вироблення трикотажного полотна.

Для усунення вказаних недоліків пропонується конструкція механізму, побудована на основі чотириланкового коромисло-повзунного механізму (рис. 1).

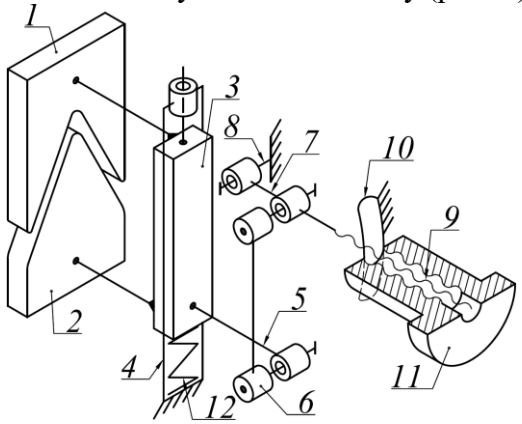


Рис. 1 – Конструктивна схема механізму зміни глибини кулірування

У механізмі повзун *3* є підпружиненим та виконується з повідком *5*, що кінематично з'єднується з шатуном *6* та коромислом-регулятором *7*, яке встановлюється на вісь *8*, що закріплюється в корпусі замкового блоку з клинами *1* та *2*. Різьбова частина *9* коромисла-регулятора *7* проходить крізь прорізь *10* корпусу замкового блоку. На різьбову частину *9* нагвинчується гайка *11*, яка притискається до прорізі *10*. Регулювання глибини кулірування здійснюється відгвинчуванням гайки *11* і поворотом коромисла-регулятора *7* відносно осі *8*. У запропонованому механізмі, на відміну від механізму запропонованого в роботі [1], шатун *6* має спрощену конструкцію без вільчастих головок, пружина *12* забезпечує вибирання можливих зазорів в обертальних кінематичних парах.

Список посилань

1. Дворжак В. М. Вдосконалення механізму зміни глибини кулірування круглов'язальної машини МС-5 / Дворжак В. М., Лозян А. Ф. // Наукові розробки молоді на сучасному етапі: VIII Всеукраїнська наукова конференція молодих вчених та студентів. Київ, 23-24 квітня 2009 р. – К.: КНУТД, 2009. – Т. 2. – С. 166-167.

УДК 678.643

Савченко О.М., канд. техн. наук, доцент,
Сиза О.І., докт. техн. наук, професор,
Городиська О.В., канд. техн. наук,
Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т. Г. Шевченка, м. Чернігів,
savchenkolm68@ukr.net
Гейко В.В., начальник науково-дослідної лабораторії,
Гута С.С., мол. наук. співробітник,
Державний НДІ випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м. Чернігів,
gvvadim@ukr.net

ІНГІБІТОРИ КОРОЗІЇ ДЛЯ ЗАХИСТУ ПОВЕРХНІ ОБЛАДНАННЯ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

Корозійного впливу піддаються майже всі металеві складові частини військової техніки, обладнання, зброя та боєприпаси. Одним із найефективніших методів захисту металів від корозії є інгібіторний метод [1]. Інгібітори корозійних процесів повинні відповідати гігієнічно-санітарним нормам, правилам техніки безпеки, бути вибухо-, пожежо- і екологічно безпечними речовинами. Розширення асортименту екологічно безпечних інгібіторів корозії можливе шляхом екстракції речовин, які мають протикорозійні властивості, з рослинної сировини. Наприклад, запропоновано інгібітор ЕК-2 (відходи крохмале-патокового виробництва), що ефективно захищає Ст.3 та сталі 10, 20, 45, 40Х, 30ХГТ за кімнатної та підвищеної температур у розчинах сульфатної кислоти [2]. В останні роки розроблено і запатентовано інгібітори МГ-ЧДТУ, ФЕС на основі рослинної сировини та відходів олійно-жирової промисловості [3-6].

Мета роботи полягала у розробці нових високоефективних нетоксичних інгібіторів корозії на основі продуктів переробки екологічно-безпечної природної сировини України для захисту сталевої поверхні військової техніки та обладнання з «ефектом післядії».

Досліджували протикорозійну активність розроблених нами інгібіторів на основі відходів рослинної сировини – водно-спиртових екстрактів, приготовлених методом мацерації (настоювання) шкірки граната (ШГ) та насіння гірчиці (ГС).

Швидкість корозії визначали гравіметричним (сталь Ст3, експозиція у воді 192 год, у 1н HCl – 24 год) та електрохімічним (сталь 20, потенціостат П-5827) методами [9] за температури 293К. За результатами випробувань розраховували ступінь захисту сталей (*Z*, %) та коефіцієнти гальмування корозії (γ).

За поляризаційними дослідженнями у розчині 1н HCl можна зробити висновок, що рослинні екстракти є інгібіторами змішаного катодно-анодного типу, при цьому $\gamma_a > \gamma_к$.

Результатами гравіметричних досліджень визначено оптимальні концентрації інгібіторів у нейтральному середовищі 20 г/л (табл. 1). При оптимальних концентраціях інгібіторів ступінь захисту сталі в 1М розчині хлоридної кислоти становить 93,39-97,80 **%** (температура 293 К).

Таблиця 1 – Порівняльні значення протикорозійного захисту при оптимальних концентраціях інгібіторів

Інгібуюча добавка	$C_{ін}$, г/л	Z_m, %	$C_{ін}$, г/л	Z_m, %
	Водогінна вода		HCl	
ГС	20	95,70	30	97,80
ШГ	20	72,90	40	93,39

Оскільки військова техніка, обладнання, зброя та боєприпаси потребують захисту від корозії в процесі зберігання, консервації, ремонту та стоянки, тому протикорозійний захист може бути реалізовано за умов наявності «ефекту післядії» інгібіторів корозії – збереження захисної дії протягом тривалого часу після попередньої обробки поверхні сталі.

Наявність ефекту післядії перевіряли після обробки поверхні сталевих зразків Ст3 розчином 1н HCI з додаванням інгібіторів в оптимальній концентрації (ГС – 30 г/л, ШГ– 40 г/л).

Встановлено, що при додаванні інгібіторів ГС та ШГ у розчин 1н HCl, ефект післядії (за визначенням ступеня захисту Z_m) складає 50,5% та 56,9 % відповідно, а час необхідний при цьому – 1 година. У зв'язку з цим проведено науковий пошук синергістів для створення композиції з ефектом післядії при нетривалому часі обробки – протягом 20 хв.

Найкращі результати отримано при модифікації інгібітору ШГ інгібітором МГ-ЧДТУ (на основі модифікованої гірчичної олії). За результатами експерименту встановлено, що оптимальне співвідношення між ШГ і МГ-ЧДТУ становить 4:1 (композиція ШГ-МГ) ефект післядії (за визначенням ступеня захисту Z_m) складає 78,5%. Виявлено синергічну дію компонентів (ШГ та МГ-ЧДТУ) у формуванні інгібуючого ефекту композиції ШГ- МГ ($\gamma_{син.}$ = 1,7-2,5).

Отже, досліджувані відходи рослинної сировини – шкірки плодів гранату та насіння гірчиці – є джерелом ефективних, екологічних інгібіторів корозії вуглецевих сталей для захисту обладнання військової техніки. Максимальні протикорозійні властивості спостерігаються при застосуванні інгібіторів у кислому середовищі: на основі шкірки плодів гранату – ступінь захисту Z_m= 93,39%, на основі зерен гірчиці – Z_m= 97,8 %. Тоді як у водогінній воді обидва інгібітори є менш ефективними (Z_m = 72,9 % і 95,7% відповідно).

Запропонована композицію ШГ- МГ з «ефектом післядії» на основі екстракту шкірки гранату та модифікованої гірчичної олії рекомендується для запобігання перебігу корозійних процесів шляхом переходу металу у стійкий пасивний стан за рахунок утворення на поверхні металу захисних фазових плівок. Інгібітор зберігає свою протикорозійну дію й після травлення поверхні металу, що дозволяє використовувати його у складі промивних розчинів.

Список посилань

1. Хімічна корозія та захист металів: навчальний посібник / [П. І. Стоєв, С. В. Литовченко, І. О. Гірка, В. Т. Грицина]. – Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2019. – 216 с.

2. Чен Н. Г. Исследование защитного эффекта технического ингибитора коррозии ЭК-2 в растворах серной кислоты / Чен Н. Г., Писарев Ю. Г., Чен Л. Н., Будко Н. С. // Защита металлов. 1977. – Т. 13. – № 2. – С. 127–129.

3. Савченко О. М. Ингибиторная защита системы теплообменного оборудования промышленных предприятий от коррозии и бактериального загрязнения / Савченко О. М., Сиза О. І. // Экотехнологии и ресурсосбережение. 2005. – № 3. – С. 20–24.

4. Протикорозійні властивості продуктів переробки рослинної сировини / [Сиза О. І., Корольов О. О., Савченко О. М., Гаценко С. В., Пасічніченко І. В.] // Фіз.-хім. Механіка матеріалів. – Спец. Випуск. 2006. – № 5. – С. 874–888.

5. Деклараційний патент України на корисну модель № 70027. Інгібіторкорозії / Сиза О. І., Савченко О. М., Квашук Ю. В.. Заявл. 07.11.2011. Опубл. 25.05.2012, Бюл. № 10, МПК (2006.01), C23 F11/10.

6. Корольов О. О. Дослідження протикорозійних властивостей відходів хімічного та харчового виробництв / Корольов О. О., Сиза О. І., Савченко О. М. // Вісник Чернігівського державного технологічного університету: зб. Чернігів: ЧДТУ, 2006. – № 26. – С. 123–128.

УДК 676.242.3.06

Плосконос В.Г., канд. техн. наук, доцент,
Порохов Д.В., магістрант,
Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», vploskonos@gmail.com

ПОШУК МОЖЛИВОСТЕЙ СТВОРЕННЯ ПАКУВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ БЕЗ ВМІСТУ ЕКОЛОГІЧНО ШКІДЛИВИХ ДОБАВОК

Метою даної дослідницької роботи є вивчення особливостей розроблення пакувальних матеріалів із заданими властивостями без вмісту екологічно шкідливих добавок, що є досить актуальним.

Вирішення такого класу задач має базуватися на проведені серії експериментальних досліджень в лабораторних умовах та отримання результатів, які слугуватимуть основою для подальшого розроблення нових видів пакувальних матеріалів з наперед заданими характеристиками міцності та властивостями жиронепроникності.

Для досягнення поставленої мети в даній роботі реалізовано серію експериментальних досліджень в широкому діапазоні зміни всіх впливових факторів. В результаті проведення такої серії спланованих експериментальних досліджень стало можливим в подальшому розробити комплекс математичних моделей. Планується за використання такого класу математичних моделей та сучасних комп'ютерних технологій провести пошук оптимальних умов для створення пакувальних матеріалів з наперед заданими та екологічно безпечними властивостями.

Як відомо, споживачі пакувального матеріалу – це кондитерські фабрики, хлібокомбінати, пекарні, м'ясокомбінати, холодокомбінати, заводи з перероблення риби, підприємства, що виготовляють шпулі для текстильної промисловості, чаєфасувальні фабрики, організації, що заготовляють лікарські трави, виробники комбінованих матеріалів та паковання для фаст-фудів і багато інших.

Пакувальний папір для фасування кожного із видів продукції вирізняється за масою площі 1 м^2, білістю, комплексом бар'єрних властивостей, механічними показниками міцності, придатністю його поверхні для нанесення друку. Наприклад, для вистилання противнів під час виготовлення кондитерських і хлібобулочних виробів, паковання для вершкового масла, маргарину, фаршу, сирних виробів використовують пергамент і підпергамент, тобто такий пакувальний матеріал, що витримує високі температури, а також характеризується високим опором проникненню жиру. Такі види пакувального паперу мають відносно невисоку масу площі 1 м^2 (від 20 до 60 г/м^2). Для паковання продукції м'ясокомбінатів (копчені ковбаси, м'ясо тощо) застосовується також жиро- вологостійкий папір з підвищеними бар'єрними властивостями, в той час, як для паковання заморожених м'яса і риби може використовуватись підпергамент з невисокою жиростійкістю.

Проведений аналіз літературних джерел показує, що на сьогодні не існує ідеальних пакувальних матеріалів і хімічних речовин або їх сполук, що мають універсальні властивості і забезпечують не тільки високий рівень жиронепроникності пакувального матеріалу, а і забезпечують необхідний комплекс його структурно-фізичних властивостей, а також експлуатаційних властивостей, які забезпечують технологічність перероблення пакувального матеріалу під час його виготовлення, фасування і паковання та нанесення багатофарбової етикетки на одному з його боків.

Разом з тим, на сьогоднішній день відомий цілий ряд хімічних сполук, речовин і комплексів, які застосовуються з метою підвищення жиронепроникності шляхом введення до композиції паперової маси або методом нанесення на поверхню паперового полотна [1, 2, 3].

Як показують результати проведених досліджень, забезпечення достатнього рівня комплексу споживчих і експлуатаційних властивостей можливе за рахунок складу, до якого

входять три або чотири компоненти, розчинені у воді [3]. Крім забезпечення необхідної жиронепроникності, оброблення паперу зазначеним складом сприяє також зростанню механічної міцності, а саме: міцності на злом під час багаторазових перегинів та показника відносного видовження. Неважко зрозуміти, що оброблення паперу подібними складами, регулюючи вміст кожного з компонентів і співвідношення між ними, дає змогу експериментатору виготовляти пакувальні матеріали для різних сфер застосування, тобто фасування і пакування в нього продуктів та товарів з високим, а також незначним вмістом жиру, але з підвищеним вмістом вологи, в тому числі для пакування продукції, що вимагає високої механічної міцності (наприклад, завертання цукерок і карамелі тощо) в машинному та поперечному напрямках, та подовженого терміну зберігання.

Таким чином, в даній роботі, яка є першим із етапів пошукових досліджень, проведено серію експериментів, на базі яких можливо розробити ряд математичних залежностей за різними показниками міцності пакувальних матеріалів нового покоління.

Список посилань

1. Плосконос В. Г. Методологія розробки нових композиційних матеріалів на основі паперу та картону з використанням інноваційних та комп'ютерних технологій / Плосконос В. Г. // Міжнародний науковий журнал "Інтернаука". – 2020. – № 3(83). – с.55-59, DOI: 10.25313/2520-2057-2020-3-5626.

2. Трухтенкова Н.Е. Технология упаковочной бумаги / Трухтенкова Н.Е., Килипенко А.В. и др. – М:, "Лесная промышленность",1974. – 288 с.

3. Рибальченко В.В. Підвищення жиронепроникності пакувального паперу. / Рибальченко В.В., Коптюх Л.А, Плосконос В.Г., Осика В.А. // Упаковка 2007. – № 2. – с. 23-26.

УДК 621.941-229.3:531.133

Чорна О.Р., аспірантка,
Байцар Р. І., докт. техн. наук, професор,
Національний університет «Львівська політехніка», chornaolha@ukr.net

ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ НАССР ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ

Еволюція стандартів безпеки та якості харчових продуктів дозволила збільшити очікування споживачів, викликати довіру споживача, що продукти є безпечними та придатними для споживання. Безпека харчових продуктів визначається як їжа, яка не несе загрози здоров'ю споживачу, незалежно від того, чи використовується вона за призначенням. Тому дуже важливо створення та впровадження системи безпеки харчової продукції [1].

Законодавство відіграє важливу роль у пошуку вищого рівня захисту життя та здоров'я людей і встановлює загальні гігієнічні правила для харчової промисловості та процедури контролю за дотриманням вимог. Кожен, хто бере участь у лінії харчового ланцюга, від первинного виробництва до споживачів, повинен переконатися, що продукти харчування є безпечними та придатними для споживання. Доведено, що ефективний контроль гігієни є обов'язковим, щоб уникнути несприятливих для здоров'я людей, харчових захворювань, травм харчового походження і псування їжі та економічних наслідків. Захворювання харчового походження викликаються небезпеками (хімічними, біологічними та фізичними), які можуть виникнути на будь-яких етапах харчового ланцюга.

Комісія Codex Alimentarius визнана на міжнародному рівні урядами та харчовою промисловістю, оскільки вони надають рекомендації щодо гігієнічних практик і критеріїв небезпеки від первинного виробництва до кінцевого споживання, водночас створюючи інструмент, який, як відомо, має систему аналізу небезпеки та критичних контрольних точок (Hazard Analysis and Critical Control Points) [2], для досягнення прийнятних рівнів

показників безпеки харчових продуктів. Ця система визначає небезпеки, межі контролю та коригувальні дії для кожного етапу виробничого процесу.

З метою підвищення конкурентоспроможності хліба та хлібобулочних виробів і зменшення їх цін на хлібопекарських підприємствах необхідно впровадження принципів системи НАССР, згідно наказу №590 «Про затвердження Вимог щодо розробки, впровадження та застосування постійно діючих процедур, заснованих на принципах Системи управління безпечністю харчових продуктів (НАССР)», пункту 1.3 «Оператори ринку повинні розробити та запровадити ефективну систему НАССР, що дозволяє контролювати усі небезпечні чинники, які можуть бути у харчовому продукті» [3].

У сучасних ринкових умовах стабільна й успішна робота хлібопекарської галузі визначається сукупністю чинників, одним із яких є здатність задовольняти потреби споживачів якісною та безпечною продукцією. Найефективнішою формою системи управління якістю і забезпечення безпечної хлібопекарської продукції для підприємств харчової, зокрема хлібопекарської галузі, є система, заснована на принципах НАССР.

Система НАССР дає змогу ідентифікувати конкретні види небезпечних чинників і встановити заходи щодо їхнього контролювання для гарантування безпечності харчових продуктів. Вона використовується для забезпечення безпечності харчових продуктів протягом усього ланцюга виробництва і реалізації харчового продукту. Це інструмент управління, який забезпечує більш структурований та науковий підхід до контролю ідентифікованих небезпечних чинників, ніж підхід через традиційну інспекцію і процедури контролю якості хлібобулочних виробів.

На кожному етапі технологічного процесу виробництва хлібобулочних виробів є потенційно можливі небезпечні чинники біологічної, хімічної та фізичної природи. Технологічна схема виробництва хліба складається з трьох етапів: підготовка сировини (приймання сировини та допоміжних матеріалів, зберігання сировини та допоміжних матеріалів, відпуск та просіювання сировини), приготування тіста (приготування опари, замішування тіста, дозрівання тіста, розділення, округлення та попереднє вистоювання тістових заготовок) та виробництво хліба (формування та остаточного вистоювання тістових заготовок, посадка тістових заготовок до печі, випікання, охолодження, пакування, укладання в пересувні контейнери, зберігання та реалізація).

Визначено, що в процесі підготовки сировини до виробництва можуть виникнути небезпеки зумовлені біологічними та фізичними чинниками: зараження сировини мікроорганізмами та потрапляння сторонніх домішок. Небезпеки виникають у результаті порушення режимів приймання, зберігання, просіювання сировини, а також із навколишнього середовища через недбалість персоналу.

Потенційними небезпеками під час виробництва хліба в результаті дії фізичних, біологічних та хімічних факторів є: порушення температурного чи часового режиму, режиму попереднього відстоювання, підвищення вологості при зберіганні хлібобулочних виробів.

Система НАССР використовує визначення критичних точок у технологічному ланцюзі виготовлення хлібобулочних виробів для запобігання проблемам якості і безпеки. У ній ідентифікуються конкретні мікробіологічні, хімічні, фізичні ризики, встановлюються заходи контролю для гарантії безпечності. Вона надає впевненості у тому, що на хлібопекарському підприємстві управління безпечністю харчових продуктів є ефективною. Система планує зменшення потенційних ризиків для здоров’я споживачів, запобігаючи, ідентифікуючи, коригуючи проблеми на всьому технологічному процесі — від первинного виробництва до кінцевого процесів. Поряд з підвищенням безпечності харчових продуктів існують і інші вигоди від застосування системи.

Система НАССР підсилює відповідальність і ступінь контролю. Впроваджена система управляння призводить до кращого розуміння та гарантування всіма учасниками харчового сектору безпечності хліба та хлібобулочних виробів, даючи нову мотивацію в їхній роботі.

Список посилань

1. ISO 22000:2018(en) Food safety management systems — Requirements for any organization in the food chain [Електронний ресурс] // ISO. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:22000:ed-2:v1:en.

2. Codex Alimintarus. CX1-1-1969 – Загальні принципи гігієни харчової продукції. 1969.

3. Наказ №590 "Про затвердження Вимог щодо розробки, впровадження та застосування постійно діючих процедур, заснованих на принципах Системи управління безпечністю харчових продуктів (HACCP)" [Електронний ресурс] // Міністерстві юстиції України. – 110. – Режим доступу до ресурсу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1704-12#Text.

УДК: 687.123

Березненко С.М., докт. техн. наук, професор,
Садретдінова Н.В., канд. техн. наук, доцент
Київський національний університет технологій та дизайну, bersenik@ukr.net

ОЦІНКА ЕНЕРГО-ІНФОРМАЦІЙНОГО ВПЛИВУ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОРГАНІЗМ ЛЮДИНИ З ОБМЕЖЕНИМИ МОЖЛИВОСТЯМИ

Асортимент одягу для інвалідів обмежений та часто не враховує ергономіку споживання цих виробів. При створенні функціонального і комфортного одягу для інвалідів необхідно вивчити особливості фізіологічних змін їх тілобудови, врахувати специфічні психофізичні моменти, особливості умов експлуатації, побажання самих споживачів та осіб, що їх обслуговують, і визначити, як це може вплинути на вибір конструкції одягу та матеріалів для його виготовлення [1]. Тому, як правило, кожен окремий випадок виготовлення адаптаційного одягу потребує індивідуального підходу.

Сучасна оцінка ступеня комфортності одягу найчастіше ґрунтується не стільки на визначенні відчуттів людини, скільки на вимірах конкретних показників характеристик підодягового простору та властивостей матеріалів, з яких виготовлено одяг. Кількісна оцінка показників комфортності дає можливість об'єктивно характеризувати ступінь комфортності і на цій основі раціонально вибирати матеріал і конструкцію одягу. Вдале поєднання сучасних матеріалів їх фізичних, механічних та хімічних властивостей дає можливість забезпечити необхідну температуру, вологість, повітрообмін і інші показники підодягового простору. Відхилення показників від фізіологічних норм і викликає відчуття дискомфорту.

Фізіологічні норми комфортного стану людини в одязі за показниками температури, вологості, повітропроникності, жорсткості і шорсткості матеріалів можна вважати визначеними [2]. Однак досвід показує, що не всі властивості матеріалів враховуються при оцінюванні комфортності. Є низка параметрів і характеристик матеріалів які досить складно визначаються. Особливо це відноситься до електромагнітних характеристик матеріалів, які недостатньо досліджені і кількісно не оцінені. Їхнє визначення може внести додаткову компоненту у загальну схему оцінювання комфортності одягу.

Останні дослідження в області енерго-хвильового обміну дозволяють доповнити традиційні методики оцінки комфортності. Оскільки в центрі системи функціонування перебуває людина та її самопочуття – важливо оцінити комфортність не лише опосередковано, через характеристики матеріалів, а й безпосередньо, як реакцію організму на їх вплив. Для вирішення цього завдання наразі є не так багато інструментів. У сфері медичної діагностики все більшого поширення набуває енерго-інформаційна хвильова медицина, основні положення якої базуються на використанні хвильових процесів у

середовищі існування живих організмів [3].

Проведені вимірювання впливу матеріалів на функціональний рівень основних органів і систем організму, енергетичний та психоемоційний стан людини, які проводилося з допомогою АПК ROFES. На основі діагностики важливим було дізнатися, чи є зміни, що спостерігаються у функціональному стані організму досліджуваних осіб, спричинені енерго-інформаційним впливом цього матеріалу, шкідливими для організму, чи навпаки – корисними. Для цього кількісно визначено рівень енерго-інформаційного впливу текстильних матеріалів на органи та системи органів організму людини. Випробування проводились у стані спокою, без використання текстильних матеріалів, та із врахуванням впливу зразків текстильних матеріалів. Стан органів людини та систем органів оцінювався в балах від 1 до 5, де 1 – граничний стан органу/системи, перенапруження (стрес), коли орган або система були в найсильнішій напрузі; 5 – відмінний стан органу/системи, відсутність напруги, коли не потрібно більший зусиль для реагування; 2, 3, 4 – проміжні стани.

Рівень негативного та позитивного енерго-інформаційного впливу досліджуваних текстильних матеріалів на організм людини, а також його інертності оцінювали за числовим значенням коефіцієнта комфортності [4]. Графічна інтерпретація отриманих результатів приведена на рисунку.

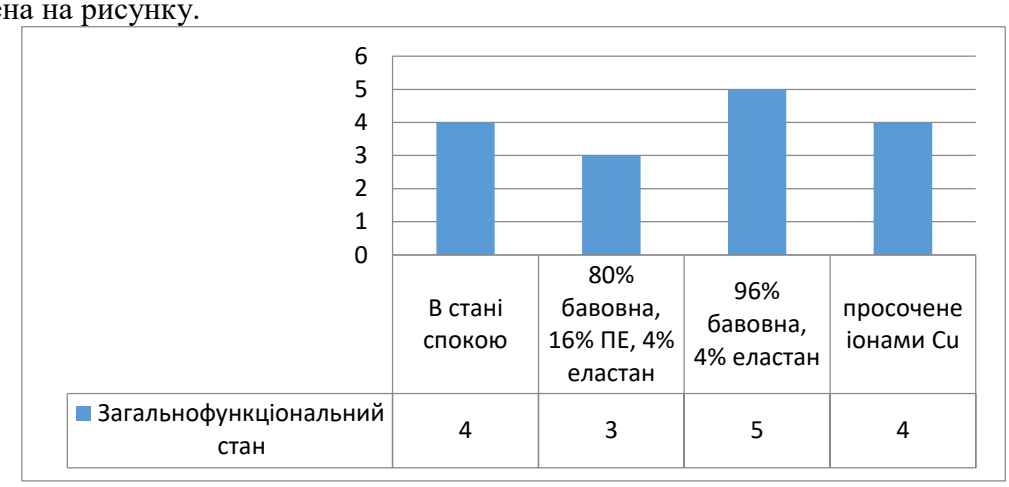


Рис. 1 – Графічне зображення загально функціонального стану в спокої та в залежності від сировинного складу матеріалу

Як свідчать наведені дані, додавання в тканину хімічних волокон досить істотно знижує спектральну щільність випромінювання тканин, а отже негативно впливає на комфортність матеріалів. Найбільш сприятливим щодо реакції організму на взаємодію з текстильним матеріалом є зразок 5. Також встановлено, що оброблений іонами міді матеріал є нейтральним по відношенню до фізіологічного стану органів та систем органів, оскільки не викликає ні позитивних, ані негативних змін.

Список посилань

1. Qilong Feng, Chi-Leung Hui. Clothing Needs for Wheelchair Users: A Systematic Literature Review. Advances in Aging Research, 2021, 10, 1-30. DOI: 10.4236/aar.2021.101001.

2. Edwin Kamalha, Yongchun Zeng, Josphat I Mwasiagi Salome Kyatuheire. The comfort dimension; a review of perception in clothing. 2013 Journal of Sensory. DOI:10.1111/joss.12070.

3. Christina Ross. Energy Medicine: Current Status and Future Perspectives. 2019 Global Advances in Health and Medicine. DOI:10.1177/2164956119831221.

4. N. Sadretdinova, S. Bereznenko, L. Bilotska, M. Pawłowa, V.i Bakal, N. Bereznenko Functionalization of medical textile. 13 th Joint International Conference CLOTECH 2020, 10-11 September 2020, Dresden, Germany. – P.88-95.

УДК 678.743.22

Савчук А.П., аспірант,
Плаван В.П., докт. техн. наук, професор,
Сова Н.В., докт. техн. наук, доцент,
Савченко Б.М., докт. техн. наук, професор,
Київський національний університет технологій та дизайну, plavan.vp@knutd.com.ua

ФІЗИЧНА МОДИФІКАЦІЯ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕССАХ ПЕРЕРОБКИ ПОЛІВІНІЛХЛОРИДУ

Полівінілхлорид (ПВХ) – один із найбільш багатотоннажних полімерів в світі, що обумовлюється доступністю сировини, низькою вартістю, гарними фізико-механічними властивостями. Унікальне поєднання властивостей полімеру дозволяє створювати на його основі низку полімерних матеріалів, від твердих і жорстких до м'яких і високо еластичних. Унаслідок підвищення вимог до експлуатаційних і технологічних характеристик матеріалів і виробів на основі ПВХ зростає необхідність у модифікуванні полімеру [1]. Найбільш поширеними є фізичні методи модифікації, що мають на меті вплив на споживчі та технологічні властивості полімеру. Застосування фізичних методів модифікації у поєднанні з хімічною стабілізацією дозволяє успішно конвертувати ПВХ у вироби різноманітного призначення. Найпоширенішим методом фізичної модифікації ПВХ є пластифікація полімеру за допомогою низькомолекулярних речовин різних класів, які мають різний ступінь сумісності з полімером. Введення пластифікатору збільшує відстань між макромолекулами полімеру та послаблює їх взаємодію, що призводить до зниження в'язкості розплаву і модуля пружності [2]. Під час синтезу полімеру, що здійснюється у суспензії або емульсії, утворюються частинки полімеру з різним розміром та ступенем пористості. Суспензійна технологія призводить до утворення монолітних частинок великого розміру, а емульсійна до утворення маленьких та пористих частинок. Дані особливості синтезу призводять до різної кінетики взаємодії з пластифікаторами та іншими модифікаторами і визначають сферу застосування матеріалу.

В сучасній промисловості найбільшого практичного застосування набули пластики, утворені на основі жорсткого ПВХ. При створенні композиційних матеріалів на основі жорсткого ПВХ типовим є застосування змащувачів для фізичної модифікації полімеру. Змащувачами можуть бути не лише спеціальні добавки низькомолекулярних речовин, але й стабілізатори та інколи і наповнювачі. Надмірний вміст змащувачів будь якої природи призводить до впливу на процес пластикації і в кінцевому випадку на властивості виробу. За неналежних умов здійснення переробки, пластикація може бути надмірною і призводити до надмірної дисипації теплової енергії та неконтрольованого зростання температури розплаву.

Обладнання для переробки ПВХ має ряд технологічних особливостей. Висока в'язкість розплаву та схильність до деструкції зумовлюють невисоку довжину зони переробки в екструзійному устаткуванні, а низька термостабільність зумовлює необхідність швидкого плавлення полімеру та короткої тривалості перебування у зоні переробки.

Надзвичайно важливим процесом у технології ПВХ є пластикація полімеру під час переробки. Макромолекули полімеру перебувають у частинках у вигляді скручених клубків. Під час пластикації відбувається перетворення частинок у гомогенний розплав, де макромолекули мають хаотичне просторове розміщення. Повнота здійснення пластикації суттєво впливає на властивості полімеру після формування з розплаву. В загальному розумінні пластикацією є комплексний термомеханічний вплив на полімер, що призводить до утворення гомогенного розплаву. Пластикація відбувається в екструзійному обладнанні під дією температури робочих поверхонь, тиску та напруження зсуву. Ключовим фактором для пластикації є дисипація механічної енергії від робочих поверхонь у теплову енергію в

матеріалі. В інших процесах переробки ПВХ пластикація може бути викликана тиском та або лише температурним впливом. В лабораторних умовах для дослідження пластикації використовують мініатюрне модельне устаткування Plastograph EC (Brabender, Germany).

Для екструзійних виробів з непластифікованого ПВХ з ростом молекулярної маси полімеру підвищуються міцність на вигин, опір тепловій деформації, стійкість до стирання, хімічна стійкість матеріалу, в той час як легкість переробки погіршується. Тому при розробці композицій, заснованих на застосуванні ПВХ з високою молекулярною масою, необхідні добавки, які підвищують його текучість, а при використанні полімеру з низькою молекулярною масою – модифікатори, які можуть компенсувати відповідні недоліки. З іншого боку, збільшення вмісту модифікаторів викликає зниження міцності непластифікованого ПВХ, допоки вони не підвищують температуру деформації полімеру при нагріванні. Додавання наповнювача до певної концентрації здатне підвищувати міцність ПВХ на вигин і збільшувати його здатність до деформації до тих пір, поки розмір і форма частинок наповнювача і його вміст сприяють створенню в матеріалі просторової структури [3].

Метою досліджень фізичної модифікації ПВХ є встановлення сукупного впливу на процес пластикації типових та новітніх видів стабілізаторів та змащувальних агентів. В результаті досліджень можливо досягнути зниження вмісту стабілізаторів, зниження енергетичних витрат на переробку на екструзійному устаткуванні за умов підтримання оптимального рівня пластикації з досягненням високих фізико-механічних показників.

Правильна організації розробки композицій на основі ПВХ передбачає створення оптимальної композиції з найкращим співвідношенням "ціна-якість", вибір і встановлення відповідного обладнання для переробки для досягнення максимальної продуктивності і найкращої якості отриманих матеріалів. Визначення впливу витрати модифікаторів на властивості готового профілю ПВХ і технологічні параметри процесу екструзії забезпечить скорочення часу на підготовку виробництва, зменшення кількості браку за умов отримання продукції належної якості. Причому для стабільності виробництва, забезпечення якості виготовленого профілю і довговічної роботи екструзійного обладнання вирішальне значення має як правильний підбір компонентів рецептури, так і суворе її дотримання.

Список посилань

1. Особливості модифікування полівінілхлориду полістирольними пластиками / В. Є. Левицький, Ю. В. Ларук, Л. М. Білий, В. В. Кочубей, Т. В. Гуменецький. *Фізико-хімічна механіка матеріалів* – 2015. – №3. – 83-89.

2. Мікульонок І. О. Технологічні основи перероблення полімерних матеріалів [Електронний ресурс]: навч. посіб. / І. О. Мікульонок. 2-ге вид., переробл. та доповн. ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 7,21 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 292 с.

3. Руководство по разработке композиций на основе ПВХ/ Под ред. Р.Ф. Гроссмана; пер. под ред. Гузеева В.В. – СПб.: Научные основы и технологи, 2009. – 608 с

УДК 663.3

Хлібишин Ю.Я., канд. техн. наук, доцент
Почапська І.Я., канд. техн. наук, доцент
Національний університет «Львівська політехніка », iryna.y.pochapska@lpnu.ua

ВИКОРИСТАННЯ ЯБЛУЧНОЇ СИРОВИНИ У ВИРОБНИЦТВІ АЛКОГОЛЬНИХ НАПОЇВ

В Україні приблизно 75% врожаю всіх фруктів – яблука, крім цього в нашій країні виробляється 43% концентрованого яблучного соку, що відповідає 10-му місцю у світовому виробництві за цим показником, досягаючи більше 50 тис. тонн на рік.

Метою дослідження була оцінка вітчизняних сортів яблук на придатність для виробництва напоїв типу сидр і кальвадос, а також оцінка якості отриманих напоїв з точки зору придатності для безпосереднього споживання та для виробництва кальвадосу.

Сусло для зброджування одержано з яблук сорту Ренет Симиренко (промисловий зимовий сорт, стійкий до хвороб, екологічно чистий, гіпоалергенний). Використовували плоди середні або великі (120-160 г), зелені або зелено-жовті. Вміст сухих речовин ~10,7 % мас., цукрів – 7,5 % мас., органічних кислот – 0,5 % мас.

На початковому етапі роботи яблука візуально оцінювали. Вилучали (вибраковували) недозрілі плоди, зіпсовані плоди, листя та гілочки, а потім органолептично оцінювали плоди (колір, ступінь стиглості, запах і смак). Плоди пройшли попередні технологічні процеси, такі як миття, подрібнення, віджимання соку.

Для зброджування сусла з плодів яблук та концентрованого сусла використовували активні сухі дріжджі рас Enovini Baya та Crystal Spirits Cider Yeast роду Saccharomyces bayanus (Франція).

Проміжним продуктом при отриманні кальвадосу - сидр, також є цінним виноробним продуктом. Органолептичній оцінці піддавали сидри, отримані шляхом ферментації яблучних соків і концентрованих яблучних соків.

Особливістю молодих сидрів був їхній дріжджовий смак і аромат, що часто знижувало оцінку цих продуктів. Були також тони, що описують мильний смак сидру, який характерний для деяких яблучних продуктів. Необхідно зазначити, що сидри були оцінені відразу після закінчення процесу бродіння, та не призначені для споживання. Готовий продукт перед випуском у продаж додатково піддається витримці, що зменшує вищезгадані недоліки сидру.

Після вісімнадцяти місяців дозрівання отримані напої перевіряли на вміст етилового спирту та екстракту. Отримані, після завершення процесу дозрівання (приблизно через 18 місяців після закінчення бродіння), спиртні напої кальвадос піддавали органолептичній оцінці. Вони отримали хорошу оцінку (4,2). Оцінений французький Кальвадос отримав вищу оцінку – 4,6.

Дослідження проводили в діапазоні температур 10-30 ^{0}C. Спостереження показали, що при високому вмісті цукрів температура діє на процес інгібуюче. Для обох штамів культурних дріжджів більш прийнятною здається нижча температура бродіння в межах 10-15 ^{0}C, оскільки за цих умов утворюється більша кількість етилового спирту.

В результаті дослідження встановлено, що сидри, отримані з українських яблук і концентрату яблучного соку можна використовувати як для безпосереднього споживання, так і для виробництва кальвадосу. Умови бродіння, використані в цьому дослідженні при температурах 10 ^{0}C і 15 ^{0}C встановлені як оптимальні. Однак в сидрах, виготовлених на основі концентрованого яблучного соку, відслідковується значно вищий вміст алкоголю, порівняно з сидрами з яблучного соку. Це пов’язано з більшим початковим вмістом цукру в сировині, що піддається бродінню.

Органолептична оцінка сидрів показала, що в отриманих сидрах побічні продукти бродіння були присутні на низькому рівні, подібно до спиртних напоїв. Результати органолептичної оцінки сидрів із фруктових соків та вироблених за участю дріжджів є подібними (~4,0).

УДК 687.016:685.22.25

Остапенко Н.В., докт.техн.наук, професор
Рубанка А.І., канд.техн.наук, доцент
Олійник Г.М., д.філ., доцент
Гречуха О.О., магістрант
Київський національний університет технологій та дизайну, rubanka.ai@knutd.edu.ua

ТАКТИЧНІ РЮКЗАКИ ДЛЯ ВІЙСЬКОВОСЛУЖБОВЦІВ: КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ ТА МАТЕРІАЛИ

На сьогоднішній день країна має особливо гостру потребу в розробці та удосконаленні виробів спеціального призначення для військовослужбовців, зокрема тактичних рюкзаків. Цей виріб є одним із важливих елементів обмундирування військовослужбовця і сприяє ефективному виконанню поставлених завдань. Основним призначенням є безпечне зберігання та транспортування необхідних речей (їжа, боєприпаси тощо). Рюкзак має зручну конструкцію та вирізняється безпосередньо багатофункціональністю для забезпечення максимального комфорту в умовах експлуатації.

Виробництвом військового спорядження займається велика кількість компаній. Провідними виробниками тактичних рюкзаків на світовому ринку сьогодення є: компанія Condor Outdoor Inc (США), CARINTHIA (Австрія), 5.11 Tactical (США), X-BIONIC (Швейцарія), MFH (Німеччина), а також вітчизняні фірми ТЕМП-3000, M-TAC тощо. Однак варто виділити три світові лідери, які спеціалізуються на виробництві рюкзаків для військовослужбовців. Першим з них є компанія Eberlestock (США) – яка займається виробництвом оперативних, штурмових та рейдових рюкзаків. Другий лідер – компанія Mystery Ranch (США), що займаються виробництвом різнотипних рюкзаків. Вироби поширені у багатьох спецпідрозділах по всьому світу, користуються попитом через високу якість. Також варто зауважити, що продукція має пожиттєву гарантію. Третій лідер – це компанія Kelty (США), яка займається виробництвом рюкзаків об’ємом до 50 літрів.

На сьогоднішній день створено тактичні рюкзаки для військовослужбовців, що забезпечують максимально швидке складання речей за рахунок спеціально розроблених підсумків із відомою системою кріплення. Таким чином, дана модульність відповідно діючого стикування частин надають можливість легко замінювати елементи в залежності від тактичних завдань [1]. Кольорова гама рюкзаків передбачає природні однотонні відтінки, які маскуються з навколишнім середовищем (хакі, койот, олива та ін.) та камуфляж в залежності від кольорів місцевості (лісо-степ, пустеля, засніжений покрив тощо).

Тактичні рюкзаки для військовослужбовців можна поділити на кілька видів: одноденні або оперативні рюкзаки, триденні або штурмові та рейдові. Одноденний рюкзак піхотний підрозділ збирає за тривогою на один-два дні. Зазвичай об’єм оперативного рюкзака складає 20 літрів. Штурмовий рюкзак застосовується військовими при виконанні операцій тривалістю біля трьох днів. Об’єм рюкзака має бути від 30 літрів з метою розміщення в ньому всіх необхідних запасів та речей відповідно на три дні. Об’єм рейдового рюкзака складає приблизно 60 літрам і використовується снайперами або спецпідрозділами типу розвідки для проведення певних спецоперацій. Тому в такому рюкзаку мають розміститись всі потрібні речі з розрахунку мінімум на 5 днів. На етапі проектування рейдового рюкзака

важливо, щоб виріб не спричинював збільшений тиск на опорну ділянку тіла військового та мав раціональний розподіл ваги.

Також тактичні рюкзаки ще розподіляють за такими ознаками, як тип кріплення, об'єм, конструкція, деталями оснащення тощо [2].

Варто відмітити універсальні сучасні рішення кріплення додаткових елементів, такі як MOLLE (Modular Lightweight Load-carrying Equipment) та PALS (Pouch Attachment Ladder System). Підвидами системи MOLLE є Malice – один із способів кріплення підсумків за рахунок масивної застібки, що неможливо відкрити руками; Natick Snap – використовують нейлоновий строп із металевою кнопкою на кінці, що фіксується на нашивках MOLLE. Це забезпечує при ривку перенесення зусилля на стропи; Weave&Tuck та гібридні. Використовують також систему невеликих вертикальних кишень на деяких тактичних рюкзаках для військових. Такі кишені спеціально настрочуються або фіксуються на одному ремені. Даний принцип застосовується англійськими військовими. Рюкзак та сама система перенесення безпосередньо є розділені. PLCE є масивним поясним ременем, який підтримується за рахунок легкого жилета, що стикується зі спинкою рюкзака. А передні підсумки можуть кріпитися до строп підтримуючого жилета за рахунок спеціальних кілець для збереження мобільності раціонального розподілу ваги вантажу [3].

Варто відмітити тенденції діджиталізації тактичних рюкзаків. Так, рюкзаки доповнюють внутрішньою кишенею для ноутбука діагоналлю 14-15,4 дюйма з хлястиком-клапаном на текстильній застібці для фіксації. Поширеним стає вшивання кабелів з роз'ємами для навушників, сонячних батарей, акумуляторів та ін., один кінець яких знаходиться всередині рюкзака, а інший – ззовні, наприклад, на бретелі. Це значно спрощує користування сучасними засобами і підвищує функціональність рюкзака.

Тактичні рюкзаки для військовослужбовців зазвичай укріплюють в місцях максимального зношування (наприклад, в місцях контакту зі зброєю та підвісною сумкою).

Крім конструктивних особливостей важливим є раціональний підбір матеріалів верху, докладу, підкладки та фурнітури. Враховуючи високі вимоги до зносостійкості тактичних рюкзаків в якості матеріалу верху переважно використовується Cordura 1000D та 600D, Oxford 600D, нейлон (балістичний та ріп-стоп), сітка air-mesh, сітка 3D-спейсер тощо. Матеріалами докладу є спінений поліетилен, поролон, ізолон, пластик. В якості підкладки в тактичних рюкзаках використовують Oxford 210D, нейлон 190T, галантерейну сітку та ін. Підвищені вимоги висуваються і до якості фурнітури, серед якої можна виділити ремінні стрічки, застібки-блискавки, стопери, кнопки, карабіни, фастекси, текстильні тасьми, текстильні застібки, пряжки-регулятори, еластичні стрічки, напівкільця, рамки, пулери тощо [3, 4].

Таким чином, охарактеризовано особливості сучасного стану проектування тактичних рюкзаків для військовослужбовців та визначено асортимент матеріалів для їх виготовлення.

Список посилань

1. ТУ 15.1-136-00034022:2016 Рюкзак бойовий індивідуальний [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.mil.gov.ua/content/tenders_2019/tu_rbi_2.pdf

2. Остапенко Н.В., Токар Г.М. Конструктивно-технологічні рішення тактичних рюкзаків та розвантажувальних ременів. Енергозбереження та промислова безпека: виклики та перспективи Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції (4–5 червня 2019 р., м. Київ). Київ: Основа, 2019. С. 319-327.

3. Lessons Learned During the Development of the Modular Lightweight Load-Carrying Equipment (MOLLE) System [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADP010999

4. Обрізан В. А. Дослідження фізико-механічних властивостей текстильних матеріалів для виготовлення військових рюкзаків [Електронний ресурс] / В. А. Обрізан, Л. В. Черняк // Технології та дизайн. - 2020. - № 3 (36). - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/td_2020_3_7.

5. Асортимент швейної фурнітури для військового одягу льотчиків / Г. Токар, А. Рубанка, Д. Остапенко, Л. Третякова // Актуальні проблеми сучасного дизайну : збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції (23 квітня 2020 р., м. Київ) : В 2-х т. – Т. 1. – Київ : КНУТД, 2020. – С. 346-349.

УДК 681.5

Березін Л.М., канд. техн. наук, доцент
Рубанка М.М., канд. техн. наук, доцент
Київський національний університет технологій та дизайну, lnb07@ukr.net

ФАКТОРИ ВПЛИВУ НА НАДІЙНІСТЬ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ

Під надійністю промислових роботів (ПР) розуміємо властивість об'єкту зберігати з перебігом часу в встановлених межах всі параметри, що забезпечують виконання необхідних функцій за умовами експлуатації. Враховуючи конструктивні ускладнення ПР, об'єднання їх в автоматизовані комплекси, прогнозоване збільшення силових навантажень при одночасному зменшенні їхньої металоємності, питання надійності ПР є актуальними.

Виробники сучасних ПР заявляють про середнє значення наробітку на відмову MTBF = $(5\div6)x10^4$ годин або від 20 до 100 мільйонів циклів роботи [1]. Найкращої надійності досягають роботи із системами SCARA та DELTA конфігурації, що зумовлено меншою кількістю ланок та з'єднань в порівнянні з іншими роботами за шарнірним принципом. Ряд цікавих висновків за результатами опитування щодо надійності ПР наведено в [2-4].

Фактори надійності ПР в порівнянні з об'єктами загального машинобудування передусім пов'язані з вимогами безпеки обслуговування та специфічними пошкодженнями і відмовами систем роботів.

За ознакою несправності відмови ПР поділяють на параметричні та функціональні. До параметричних відносяться відмови, для яких один або декілька параметрів ПР змінюються у неприпустимих межах, до функціональних - відмови, при яких виконання заданих функцій роботом неможливе.

Для аналізу параметричної надійності діючих ПР використовують тестування за точністю та повторюваністю позиціонування в реальному часі та просторі. Під точністю ПР розуміють його здатність досягати заданої точки у робочій зоні. Повторюваність ПР характеризується можливістю відтворення повторних переміщень в задану точку.

Основними факторами, що впливають на точність ПР, є лінійні та кутові зміни в його ланках. Під тестуванням ПР розуміють порівняння координат функціональної залежності з поточними координатами положення робочого органу в просторі та внесення відповідних змін в параметри програмного забезпечення для уточнення позиціонування ПР. Загальні положення тестування ПР регламентовані та представлені в [5, 6].

Параметричні похибки передусім визначаються виробничими та складальними допусками. Мінімізація допусків переважно обмежується співвідношенням витрат на зміну надійності. Вплив мають також похибки приводів (через зазори та пружність у зубчастих та інших передачах, систематичні похибки двигунів приводних пристроїв) та алгоритми управління через округлення значень параметрів. Похибки у підшипниках мають ймовірнісну складову і для жорстких ланок ПР незначними.

На ресурс ПР впливають переважно відмови за критеріями зносу ключових механічних компонентів, наприклад, захватів, приводів, механічних передач, підшипників тощо. Важливим фактором впливу на функціональні відмови є періодичне технічне обслуговування ПР у відповідності до рекомендацій виробника. Також очевидно, що профілактичні заходи виключають більш затратні за часом та вартістю вимушені простої, а також ремонтні роботи, що особливо відчутно при використанні ПР в комплексах виробничих ліній.

Для оптимального режиму експлуатації ПР в умовах 24/7 розрізняють три основних типи обслуговування:

- корекційне обслуговування (corrective maintenance), яке пов'язано з усуненням поточних пошкоджень та відмов;
- профілактичне обслуговування (preventive maintenance) з жорстким періодичним регламентом (наприклад, щодня, щорічно...) та з урахуванням поточного стану ПР;
- прогнозоване обслуговування (predictive maintenance) передусім в роботах сучасного покоління, яке базується на оснащенні ПР складними електронними компонентами та датчиками, результати яких слугують для діагностики та виявлення сингулярності ПР.

Огляд та узагальнення щодо технічного обслуговування сучасних ПР наведено в таблиці роботи [4].

До профілактичного обслуговування належить самодіагностика системи керування, візуальний огляд кабелів та роз'ємів, перевірка витоку мастила, оцінка комплектності, оцінка безпеки та параметрів роботи осей (плавність ходу, наявність ненормованих шуму та вібрації), перевірка точності та повторюваності потрапляння робочого органу в реперну точку, контроль запобіжних пристроїв тощо.

По закінченню профілактичних робіт проводять за регламентом пробний запуск ПР за тестовою програмою та реєстрацію відповідності вимогам виробничого процесу.

За даними досвіду експлуатації ПР від світових лідерів найбільшу увагу за вимогами надійності приділяють наступним компонентам:

- серводвигуни, сервоприводи, мотори (Servo motor);
- редуктори (Reduction gear);
- плати контролера (Printed Circuit Board);
- пульт навчання та управління роботом (Teach pendant);
- сальники (Seal);
- підшипники (Bearing balls);
- ущільнювачі (Ring-O);
- балансири (Balancer),
- компенсатори та газові пружини
- буферні батареї тощо.

За даними спостережень ПР в експлуатації життєвий цикл типового ПР становить близько 10-15 років і може бути значно подовженим при дотримання рекомендацій виробника щодо їх технічного обслуговування.

Список посилань

1. Hägele M. Industrial Robotics, in Springer Handbook of Robotics / M. Hägele, K. Nilsson, JN. Pires. - Springer, Berlin. – 2008. – 126 p. DOI:10.1007/978-3-540-30301-5_43

2. Dhillon B.S. A report on robot reliability and safety in Canada: a survey of robot users / B. Dhillon, M. Aleem // Journal of Quality in Maintenance Engineering. - 2000. – Vol.6. - N1. - pp. 61-74. https://doi.org/10.1108/13552510010311336

3. Dhilon B.S. Robot System Reliability and Safety: A Modern Approach. NY: CRC Press. – 2015. - 259 p.

4. Lee S, Yamada Y, Ichikawa K, Matsumoto O, Homma K, et al. Safety-Function Design for the Control System of a Human-Cooperative Robot Based on Functional Safety of Hardware and Software. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics. 2014. – Vol. 19, Issue: 2, pp. 719-729. DOI: 10.1109/TMECH.2013.2252912

5. ГОСТ Р 60.3.3.1-2016/ИСО 9283:1998. Роботы промышленные манипуляционные. Рабочие характеристики и соответствующие методы тестирования.

6. Płaczek M, Piszczek Ł. Testing of an industrial robot's accuracy and repeatability in off and online environment. Eksploatacja i Niezawodnosc. – Maintenance and Reliability. – 2018. – vol.20 (3): pp. 455–464, http://dx.doi.org/10.17531/ein.2018.3.15.

УДК 677.055

Березін Л.М., канд. техн. наук, доцент
Рубанка М.М., канд. техн. наук, доцент
Київський національний університет технологій та дизайну, lnb07@ukr.net

ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ В'ЯЗАЛЬНОЇ ГОЛКИ ШКАРПЕТКОВОГО АВТОМАТА

Одним із можливих напрямків підвищення ефективності роботи шкарпеткових автоматів є удосконалення конструкцій в'язальних голок. Дослідження [1 - 4] показують, що продуктивність шкарпеткових автоматів та якість виготовленої продукції в значній мірі залежать від надійності та втомленої довговічності в'язальних голок. У стандартній конструкції в'язальної голки шкарпеткового автомата [5], стержень має спеціальний згин для введення додаткової сили опору руху голки відносно паза циліндра, який необхідний для унеможливлення самовільного опускання голки в пазах циліндру під дією її ваги, оскільки замкова система клинів шкарпеткових автоматів не є замкнута при проходженні п'ятки голки. Очевидно, що величина сили опору суттєво впливає на силу ударної взаємодії голки з клином та відповідно на кількість циклів її навантаження до руйнування, тобто на втомлену довговічність голки та функціональну надійність автомату в цілому.

Недоліком існуючої конструкції в'язальної голки шкарпеткового автомата є широкі межі варіювання сили опору, що зумовлено передусім довільним згином стержня голки, а також його приробкою, зносом голкових пазів циліндра і робочих поверхонь клинів, інтенсивністю змащення тощо, що призводить до зниження надійності та довговічності в'язальної голки.

Авторами пропонується нова конструкція в'язальної голки шкарпеткового автомата [6], що містить стержень з гачком, язичком та п'яткою та додатково обладнаної наскрізним прорізом, який розташований на бічній поверхні стержня, що нормує величину сили опору руху голки в пазу циліндра.

Наявність наскрізного прорізу на стержні голки зменшує повздовжню жорсткість стержня, що призводить до мінімізації ударних навантажень в голці при взаємодії з клинами та інтенсивності ударних хвиль в небезпечному перерізі гачка. Очевидно, що це забезпечує підвищення втомленої довговічності голки та експлуатаційної надійності автомата в цілому.

На рис. представлено загальний вид запропонованої конструкції в'язальної голки шкарпеткового автомата, яка містить стержень 1 з гачком 2, язичком 3, п'яткою 4 та обладнана наскрізним прорізом 5, що розташований на бічній поверхні стержня 1. Варіюванням розмірів прорізі та відгину забезпечують задану величину сили опору руху голки в пазу циліндра.

Принцип роботи в'язальної голки шкарпеткового автомата полягає в наступному. При вмиканні шкарпеткового автомата голці, яка встановлена в пазу голкового циліндра (на рис. не показано), надають переносний обертальний рух. При цьому п'ятка 4 голки, взаємодіє з клинами в'язальної системи, що забезпечують її відносний зворотно-поступальний рух вздовж паза циліндра. Наявність на бічній поверхні стержня 1 наскрізного прорізу 5 забезпечує сталість сили опору на рівні нормованого значення, зменшує повздовжню та поперечну жорсткість голки при взаємодії з клином, а також сприяє розсіянню ударних хвиль напружень в стержні голки.

Перелічені фактори суттєво впливають на величину ударного навантаження голки та кількість циклів навантаження до її втомленого руйнування, що підвищує експлуатаційну надійність автомату за критерієм втомленої довговічності голки.

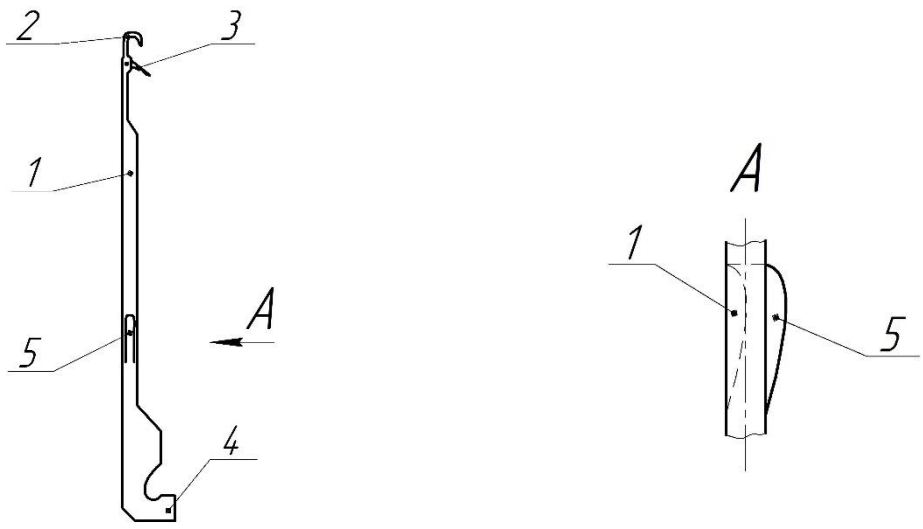


Рис.1 – В’язальна голка шкарпеткового автомата

Враховуючи актуальність питання підвищення ефективності роботи шкарпеткових автоматів за рахунок удосконалення конструкцій в’язальних голок, маємо наступні висновки:

- конструкція в’язальної голки шкарпеткового автомата, яка додатково обладнана наскрізним прорізом, що розташований на бічній поверхні стержня, дозволяє нормувати величину сили опору руху голки в пазу циліндра, що впливає на підвищення продуктивності шкарпеткових автоматів, якість виготовленої продукції, а також на довговічність голок та надійність шкарпеткового автомата в цілому;
- запропонована конструкція в’язальної голки шкарпеткового автомата може бути використана при проектуванні нових або при модернізації існуючих шкарпеткових автоматів.

Список посилань

1. Березін Л. М. До розрахунку циклів навантаження голок панчішно-шкарпеточних автоматів при визначенні їх надійності за критерієм втомленісної міцності [Текст] / Л. М. Березін // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2010. – № 5 (55). – С. 281-284.

2. Березін Л.М. До розрахунку довговічності в'язальних голок панчішно-шкарпеточних автоматів по критерію втомленісної міцності [Текст] / Л.М. Березін // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2011. – № 2 (58). – С. 116-120.

3. Повышение надежности трикотажного оборудования / Б.Ф. Пипа, В.П. Волощенко, С.Т. Шипуков, В.А. Орлов. – К.: Техніка, 1983.– 111 с.

4. Хомяк О.Н. Повышение эффективности работы вязальных машин / О.Н. Хомяк, Б.Ф. Пипа. – М. : Легпромбытиздат, 1990. – 209 с.

5. Hosiery and socks machines: knitting needles catalogue. - Moscow: Mostochlegmash. - 2008. - Page 5.

6. Пат. 139251 Україна, МПК D04B 35/02 (2006.01), D04B 15/78 (2006.01). В’язальна голка шкарпеткового автомата / Л. М. Березін, М. М. Рубанка ; власник Київський національний університет технологій та дизайну. – № u201906727 ; заявл. 14.06.2019 ; опублік. 26.12.2019, Бюл. № 24. – 2 с.

УДК 664.682:664.34:634.10

Шидакова-Каменюка О.Г., канд. техн. наук, доцент
Болховітіна О.І., канд. техн. наук, доцент
Логінова Д., магістрант
Державний біотехнологічний університет, м. Харків, shidakovae@gmail.com

ВИКОРИСТАННЯ ЗБАГАЧУВАЛЬНОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ В ТЕХНОЛОГІЇ ПІСОЧНОГО ПЕЧИВА

Значний сегмент світового кондитерського ринку складають борошняні вироби, серед яких близько 45 % займає печиво, в тому числі пісочне [1]. Особливістю такої продукції є низький вміст або відсутність важливих для організму людини нутрієнтів. Це зумовлене застосуванням в його технологіях переважно рафінованої сировини (модифіковані жири, цукор, борошно вищого ґатунку тощо). Зазначене робить печиво привабливим об'єктом для покращення нутрієнтного складу.

На особливу увагу заслуговує використання під час виготовлення пісочного печива різноманітної нетрадиційної сировини рослинного походження. Зокрема, актуальним є повне або часткове замінювання жиру в рецептурі печива рідкими оліями. Їх перевага перед твердими жирами полягає у високій біологічній цінності, що зумовлена наявністю значної кількості поліненасичених жирних кислот, жиророзчинних вітамінів та відсутністю транс-жирів. Однак, застосування таких олій в технології печива обмежене у зв'язку з виникненням певних проблем – погіршенням структурно-механічних та органолептичних характеристик напівфабрикатів та готових виробів, зниженням їх якості під час зберігання тощо. Це пов'язане з низькою спроможністю рідких олій до емульгування, а, як відомо, якість емульсії є визначним чинником формування властивостей готового пісочного печива. З метою забезпечення необхідних якісних показників печива з використанням таких олій потрібно додатково вносити стабілізуючі добавки. Зокрема, доцільно застосовувати нетрадиційні рослинні інгредієнти, до складу яких входять білки, пектинові речовини та інші сполуки, що забезпечують проявлення ними хороших функціонально-технологічних властивостей – водо- та жироутримувальних, жироемульгувальних тощо. Крім того, такі інгредієнти містять комплекс корисних для людини речовин (вітамінів, мінералів, фенольних сполук тощо) в найбільш доступній і засвоюваній формі.

З огляду на зазначене перспективною сировиною є насіння чіа, особливість складу якого полягає у наявності слизових речовин, які володіють хорошими емульгувальними і водоутримувальними здатностями [2]. Це зумовлює поширення його використання в різних харчових технологіях як регулятора консистенції (йогурт, кефір, кекси, макарони) та вологозв'язувального агента (ковбасні вироби, січені м'ясні та рибні напівфабрикати).

Зважаючи на це доцільними є дослідження спрямовані на вивчення повної або часткової заміни жиру в рецептурі пісочного печива на більш біологічно цінні та нешкідливі рідкі олії в комплексі з насінням чіа, що забезпечить надання готовій продукції не лише належних структурно-механічних властивостей, а й дозволить суттєво покращити її нутрієнтний склад.

Список посилань

1. Заніздра В. Виробництво печива // Baker-Group. [Електронний ресурс]. – Режим доступа: https://uk.baker-group.net/confectionery-formulations-technology-raw-materials-and-ingredients/4264-production-of-biscuits.html

2. Guiotto, E. N. Moisture-Dependent Engineering Properties of Chia (Salvia hispanica L.) Seeds [Text] / E. N. Guiotto, V. Y. Ixtaina, M. C. Tomás, S. M. Nolasco // Food Industry, Innocenzo Muzzalupo, IntechOpen. – 2013. – pp. 381–397.

УДК 664

Кологойда А.В., канд. техн. наук,
Пасов Г.В., канд. техн. наук, доцент,
Національний університет «Чернігівська політехніка», kolohoida@gmail.com

ОГЛЯД ТЕНДЕНЦІЙ ПРОЕКТУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ ТА ПІДПРИЄМСТВ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ З ВИКОРИСТАННЯМ ЗАСОБІВ САПР

Наявність розвиненої харчової промисловості країни забезпечує безперебійний доступ споживачів до продуктів першої необхідності та безпосередньо впливає на рівень розвитку держави [1]. Отже підготовка високопрофесійних фахівців даної галузі є однією з важливих задач сучасної освітньої діяльності.

В умовах постійного розвитку різноманітного обладнання харчової промисловості [2] студенти повинні не тільки орієнтуватись у традиційних схемах переробки рослинницької та тваринницької сировини з метою отримання готового продукту. Але і мати достатній рівень технічної підготовки, що дасть змогу розуміти основні принципи роботи спеціалізованих агрегатів та керувати ними.

Традиційно базування підприємств харчової промисловості в залежності від їх типу визначається близькою наявністю споживачів або сировинної бази. Деякі з них, наприклад, підприємства м’ясної та хлібопекарської галузі вимагають безпосередню наявність двох чинників.

Сучасною специфікою харчових підприємств є організація автоматизованих ліній та зменшення ваги людської праці. Крім того, все більшого поширення набуває використання новітніх технологій при проектуванні та створенні обладнання галузі, а також продуктів харчування. Так, наприклад, активно використовуються технології 3D друку при виготовленні кулінарної продукції. Впроваджуються нанотехнології на етапі переробки сировини та виготовлення кінцевого продукту [3].

Все це вимагає глибокого оволодіння студентами засобів комп’ютерного розрахунку та моделювання. Зокрема, програми САПР [4], такі як Компас, AutoCad є базовими на етапі проектування підприємств та виробничих ліній. Успішне засвоєння їх дозволить студентам й майбутнім працівникам галузі більш детально пропрацювати виробничі та складські приміщення, оптимально використовувати наявні площі. Просторове моделювання з використанням засобі САПР, готує студентів до використання новітніх технологій створення продуктів харчування і суміжних з ними. Більш глибокому вивченню структури спеціалізованого обладнання та принципу його роботи сприяє використання просторових моделей та анімаційних матеріалів.

Список посилань

1. Дейнеко Л. В. Харчова промисловість України: ефективність використання виробничих ресурсів і кадрового потенціалу. / Л.В. Дейнеко, Е.І. Шелудько / НАН України, ДУ «Ін-т екон. та прогноз. НАН України», 2013 – 120 с.

2. Круглякова В. Інноваційний потенціал суб’єктів господарювання харчової промисловості України: монографія / В. Круглякова, З. Юринець. – Львів: «ГАЛИЧ-ПРЕС», 2019. – 132 с.

3. Pavlyuk, R., Pogarska, V., Kotuyk, T., Pogarskiy, A., & Balabai, K. (2020). Development of nanotechnology for processing chickpeas into protein plant supplements and their use to obtain a new generation of confectionery. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6/11 (108). – 27–36. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.217928.

4. Кологойда А.В. Використання інформаційних технологій при викладанні дисципліни проектування підприємств харчової промисловості з основами САПР в умовах дистанційного навчання / Кологойда А.В., Іваненко К.М., Костенко І.А., Волкова Р.М. // Recent Trends in Science: Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Internet Conference, May 5-6, 2022. FOP Marenichenko V.V., Dnipro, Ukraine, 2022 – С. 115-116.

УДК 637.146

Замай Ж.В., канд. техн. наук, доцент
Сорокіна Д.С., магістрант
Національний університет «Чернігівська політехніка», zamaizhanna@gmail.com

ФЕРМЕНТОВАНІ НАПОЇ НА РОСЛИННОМУ МОЛОЦІ

Серед харчових продуктів, що мають особливе значення для підтримки здоров'я людини та її адаптації до несприятливих умов навколишнього середовища, важлива роль належить кисломолочним продуктам. Вони містять необхідні для організму речовини у легкозасвоюваній формі, а також сприяють відновленню мікрофлори шлунково-кишкового тракту. Традиції споживання кисломолочних продуктів, які активно пропагує нині «здорове харчування», забезпечують на ринку стійкий попит на такі продукти, зокрема – на йогурти. Основна сировина під час їх виробництва – молоко, однак воно містить 4-5 % лактози, а сьогодні стрімко зростає кількість людей з лактазною нестачею. Так як лактоза - це молочний цукор, що міститься у тваринному молоці, споживачі змушені відмовлятися від молока і продуктів з нього та переходити, зокрема, на так зване рослинне молоко.

Однак, вивчаючи користь споживання традиційних молочних йогуртів в першу чергу говорять про корисну мікрофлору, що використовується в виробництві і залишається у складі готового продукту (так звані живі йогурти). Біфідофлора пригнічує розвиток багатьох видів патогенних мікроорганізмів, відновлює ушкоджену структуру слизової оболонки кишківника [1, 2]. Відповідно, метою даної роботи була розробка технології ферментованих напоїв на основі рослинного молока. Якість розробленого йогурту буде визначатись наступними факторами: якістю рослинного молока, вдало підібраною закваскою і, звичайно, відповідністю технологічного процесу встановленим нормам і нормативам [1].

Досліджувалась можливість сквашування мигдального, кокосового, вівсяного і рисового молока. Одержані продукти мають відмінний від традиційних йогуртів цікавий, приємний смак і запах, що визначається безпосередньо рослинною сировиною, однак консистенція даних напоїв рідка і часто спостерігається відшарування сироватки. Один зі способів вирішення цього питання- додавання в них стабілізаторів, загущувачів, причому їх вибір теж проводили серед природніх продуктів рослинного походження. В такому випадку одержані напої можуть бути рекомендовані і для веганів. Поряд із формуванням консистенції, стабілізуючі системи зв’язують вільну вологу і вона стає недоступною для мікроорганізмів, що сприяє продовженню термінів придатності продукції для споживання. При використанні стабілізаторів ферментовані напої мають ряд переваг:

- уникнення синерезису і підвищення стабільності продукту під час зберігання;
- покращується структура і текстура продукту;
- продукт відновлює свою первісну структуру після розливу та механічного впливу [2].

В роботі досліджено можливість використання крохмалю тапіока, насіння чіа, борошна льону, порошку з банану в якості стабілізуючих систем ферментованих напоїв на основі рослинного молока. Зокрема, визначали їх вплив на реологічні показники одержаних продуктів. Встановлено, що корегуванням часу введення загущувачів (до чи після проведення ферментації) можливо суттєво впливати на консистенцію одержаного продукту.

Список посилань

1. O. Khrebtan, Zh. Zamai**,** O. Gumeniuk. Ensuring the quality of innovative products in the dairy and bakery industry//Innovative approaches to ensuring the quality of education, scientific research and technological processe: monograph / edit. By M. Gawrontapuszek, Y. Sushukova. – Katowice : Publishing House of University of Technology, 2021. -P. 1046-1056.

2. Соломон А.М. Кисломолочні десерти з подовженим терміном зберігання : Монографія / А. М. Соломон, Н. В. Новгородська, М. М. Бондар М. М. – Вінниця: РВВ ВНАУ, 2019. – 155 с.

УДК 664.66.022.39

Ющенко Н.Ф., студентка
Денисова Н.М., канд.техн.наук, доцент
Національний університет «Чернігівська політехніка», 4386793@gmail.com

ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ ДЛЯ ОБРОБКИ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

В останні роки стрімко зростає попит на високоякісні харчові продукти. Через погіршення якості сировини та змінні зовнішні чинники вчені зосередились на нетеплових методах обробки, які є альтернативою традиційним тепловим методам. Цей підхід дозволяє подовжити термін зберігання харчової продукції без втрати харчової цінності. Розробка технологій з застосуванням безконтактних способів впливу є актуальним завданням оскільки дозволяє зберегти екологічність процесів та може принести значний економічний і соціальний ефект.

Електромагнітні випромінювання (ЕМВ), які діють на мікробіологічні об'єкти призводять як до їх активації, так і до інактивації, залежно від характеристик випромінювань. Підвищений інтерес до ЕМВ обумовлений не лише прагненням прискорити технологічний процес, але і збільшити вихід готової продукції та смакові якості готових продуктів.

Авторами [1] розглянуто вплив ЕМВ на сировину хлібобулочних виробів. Показана ефективність використання випромінювань для обробки борошна пшеничного, що дозволяє впливати на ступінь клейстеризації крохмалю. Вплив ЕМВ на дріжджові клітини активує їх ферментативну діяльність. Вплив на олійну сировину призводить до інтенсифікації процесів біохімічних перетворень.

В роботі [2] вивчаючи дію електромагнітного поля на мікробіологічні показники сироватки молочної що призвело до значного, на 50…55%, зменшення кількості мікроорганізмів.

Дослідження впливу ЕМВ на якісні властивості грейпфрутового соку, за визначених параметрів температури,часу та інтенсивності випромінювань, дозволяє поліпшити якісні органолептичні та фізико-хімічні властивості соку [3].

Підтверджено доцільність використання постійного магнітного поля для активації ферментативних процесів, що в свою чергу матиме позитивний вплив на показники якості сировини, напівфабрикатів та готових продуктів.

Таким чином, продовження вивчення впливу електромагнітних випромінювань під час обробки харчових продуктів, дозволяє значно розширити спектр застосування методів поліпшення харчових продуктів за рахунок фізичних, а не хімічних методів впливу.

Список посилань

1. Ющенко Н.Ф. Використання електромагнітних випромінювань для обробки сировини хлібобулочних виробів/ Н.Ф. // «Новітні технології сучасного суспільства» (НТСС-2021) ІІ Міжнародна науково-практична конференція (м. Чернігів, 17 грудня 2021 р.) : збірник тез доповідей. - Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка» 2021. – С.293.

2. Чернюшок О.А. Дія електричних розрядів на мікробіологічні показники сироватки молочної. / О.А. Чернюшок, О.В.Кочубей-Литвиненко,А.Г. Пухляк // Харчова промисловість. - 2013. - №14. - С. 53 – 58.

3. Всеукраїнський науково – технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» / Редколегія: Калетнік Г.М. (головний редактор) та інші. – Вінниця, 2017. – 1 (96) – С.125-130.

УДК 331.453

Праховнік Н. А., канд. техн. наук, доцент
Землянська О. В., ст. викладач
Арламов А. Ю., канд. техн. наук, доцент
Волков В.А., студент
Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», o_zemlyanska@i.ua

БЕЗПЕКА ПРАЦІ В КОНДИТЕРСЬКОМУ ЦЕХУ КОМПАНІЇ «АВК»

Трансформація економіки України висуває нові вимоги до поведінки підприємств на ринку. Однією з істотних особливостей господарської діяльності підприємств кондитерської галузі є відчутне постійне посилення конкуренції. Внаслідок того, що ринок кондитерських виробів перебуває у постійному розвитку, підприємства мають динамічно вирішувати питання оцінки стратегії своєї поведінки не тільки у перспективі, але й з врахуванням сьогоднішнього ступеня своєї конкурентоздатності на цьому ринку.

Одним з найбільших виробників кондитерської продукції в Україні є компанія «АВК», до складу якої входить 3 фабрики, на яких виробництвом солодкої продукції «АВК» займається понад 7 тис. працівників. Головним ядром конкурентоздатності компанії, яка випускає третину шоколадних цукерок в Україні, є якість виробленої продукції, яка визнана у світі й створюється на потужностях високого рівня безпеки.

Протягом 2021 року робочими органами виконавчої дирекції Фонду соціального страхування України було зареєстровано 3876 постраждалих на виробництвах у країні, з них 344 випадки виявилися смертельними. Дане значення нещасних випадків зросла на 4,2 % (199 випадків) порівняно з попереднім роком [1].

Один з найбільших виробників кондитерських виробів в Україні «АВК» запускаючи в Дніпрі новий комплекс з виробництва бісквітної продукції вартістю майже 120 млн. грн., підняв питання посилення безпеки працівників нового виробництва як фактору забезпечення умов праці та конкурентоздатності. Відкриття нового комплексу додаткових ліній потужністю 10 тис. тонн на рік має дозволити компанії вдвічі збільшити обсяги виробництва злакових продуктів, що можливо лише за умов забезпечення безпеки виробництва, безперебійної роботи та високої продуктивності. [2]

Правила безпеки для кондитерських виробів закріплюються у ряді законодавчих та нормативних актів, таких як, ДСТУ, Закон України Про пожежну безпеку, ДНАОП, БДН та інші. Серед наведених детальніше розглянемо сферу забезпечення умов безпеки під час пожежі, адже «АВК» як виробник кондитерської продукції відноситься до класу А, тобто є вибухо- та пожежонебезпечним згідно ОНТП 24-86.

Для нових технологічних ліній «АВК» додаткову увагу виробника, для забезпечення пожежної безпеки, необхідно звернути на:

Цехи, що виробляють роздрібні цукерки, повинні бути забезпечені первинними засобами пожежогасіння. У них обов'язково виконання всіх вимог протипожежної безпеки та протипожежного режиму:

– дотримання суворого порядку на робочих місцях і виробничих ділянках, встановлених розмірів проходів та проїздів;
– правильне складування сировини, напівфабрикатів, коробок і пакувальних матеріалів;
– відсутність захаращеності та своєчасна відвантаження готових виробів;
– регулярне видалення відходів паперу, тари, пакувальних матеріалів;
– систематичне очищення повітропроводів, труб і обладнання від нальоту пилоподібних органічних забруднювачів (часток цукрової пудри, крохмалю та т. ін.). [3]

Окремі виробничі ділянки**,** на яких використовується обладнання, вимагають від працюючих підвищеної уваги. Вироби категорії бісквітної продукції виготовляються виключно з української сировини, такої як борошно, цукор, яйця, крохмаль, горіхи,

родзинки, що вимагає розгляду окремих функціональних виробничих технологій. До них відносяться ділянки, на яких здійснюється термічна обробка горіхів з використанням для обігріву апаратів газу або електроенергії, ділянки виробництва цукрової пудри, підсушування і просіювання крохмалю.

При великих концентраціях органічної пилу в повітрі (наприклад цукрової пудри 8,9 г/м3, крохмалю 40,3 г/м3) вона здатна вибухати від відкритого полум'я або від іскри. Шар такого пилу, що осідає і накопичується на обладнанні, трубопроводах, або в інших місцях, може займатися від іскри, що виникла при короткому замиканні, або при проведенні в цеху зварювальних робіт. Для зниження концентрації пилу в повітрі необхідно використовувати аспіраційні пристрої й витяжну вентиляцію.

Причиною загоряння в цеху також можуть стати несправна електропроводка, коротке замикання в струмопідвідної мережі, перевантажений або неправильно працюючий електродвигун. В цьому випадку ділянка загоряння слід негайно знеструмити і загасити полум'я, використовуючи тільки сухий вогнегасник, або брезент. Для гасіння пожежі, яка виникла в цеху використовують воду (гідранти і рукави), піну, а при загорянні електродвигунів – вуглекислотні вогнегасники. [4]

Пожежна безпека на кондитерських підприємствах значною мірою залежить від додержання вище наведених правил, неухильного виконання технологічних процесів і безпечної експлуатації виробничого обладнання, задля усунення можливих причин пожеж. Виробничі процеси повинні здійснюватися відповідно до технологічних карт, технологічних інструкцій, а також правил, норм, інструкцій з охорони праці та нормативно-технічних документів, що містять вимоги безпеки під час виконання робіт та затверджених в установленому порядку. Кожен працівник має проходити інструктаж в т.ч. з охорони праці, закріплений у локальних правових актах, до яких відносяться в першу чергу інструкції з охорони праці, колективний договір, правила внутрішнього трудового розпорядку.

Кондитерська галузь є однією із найрозвинутіших галузей у харчовій промисловості України, чому сприяє забезпеченість кондитерських підприємств власними сировинними ресурсами, а також досить високий попит на вироблену продукцію. За підсумками минулого року експортні продажі продукції компанії «АВК» виросли в 1,7 рази, а нова лінія у Дніпрі, запуск якої відбувся у 2018 році, має стати флагманом в експорті бісквітної продукції «АВК». [5] Досягнення поставлених цілей можливо лише за умов безперебійності, продуктивності та високої ефективності виробництва, тобто за умов дотримання безпеки праці.

Список посилань

1. Тираський В. Более 300 украинцев погибли на работе: названы самые опасные профессии в Украине. *UBR*. 2021. URL: https://ubr.ua/labor-market/life-at-work/bolee-300-ukraintsev-pohibli-na-rabote-nazvany-samye-opasnye-profesii-v-ukraine-3865672.

2. «АВК» проинвестировала 120 млн. грн в расширение производства. Интерфакс-Украина. 2018. URL: http://www.fixygen.ua/news/20180328/avk-proinvestirovala.html.

3. НПАОП 15.8-1.14-97. Правила безпеки для кондитерського виробництва.

4. Охорона праці та цивільний захист: Підручник /О. Г. Левченко, О. І. Полукаров, В. В. Зацарний, Ю. О. Полукаров, О. В. Землянська. За ред. О. Г. Левченка. – Київ: Основа, 2019. – 472с. ISBN 978-966-699-980-4.

5. Аналіз ринку кондитерських виробів в Україні. 2021 рік URL: https://pro-consulting.ua/ua/issledovanie-rynka/analiz-rynka-konditerskih-izdelij -2021-god.

УДК 665.323:664.64

Олійник С.Г., канд. техн. наук, професор
Степанькова Г.В., канд. техн. наук, доцент
Недвіга С.В., аспірант
Анпілогова Л.П., магістрант
Державний біотехнологічний університет, м. Харків, nedviga_sveta@ukr.net

ЩОДО ВИКОРИСТАННЯ БОРОШНА З ЧУФИ (*CYPERUS ESCULENTUS L.*) У ТЕХНОЛОГІЇ ХЛІБА

Чуфа (Тигровий горіх, смикавець їстівний, земляний мигдаль,) є багаторічною трав'янистою рослиною родини осокових *Cyperrus esculentus L.*, що має солодкі горіхоподібні бульби з високим вмістом поживних і біологічно активних речовин [1]. Чуфа відноситься до найстаріших продовольчих культур, в Стародавньому Єгипті її використовували як одне з важливих джерел їжі, близько 4000 р. до н.е.. Чуфу вирощують в Африці, Іспанії, Португалії, США, Китаї та інших країнах. В Україні чуфа активно культивувалася у 30-х роках ХХ століття, а сьогодні, після забуття, її вирощування відроджується в Кіровоградській, Полтавській, Запорізькій, Чернігівській, Київській та Тернопільській областях.

В бульбах чуфи міститься близько 8…10% білків, 20…28% жирів з високим вмістом олеїнової та лінолевої жирних кислот, 12…28% моно- та дисахаридів, 20…30% крохмалю, 15…18% харчових волокон, а також широкий спектр вітамінів та мінеральних речовин [2, 3].

Бульби чуфи вживають в їжу сирими або смаженими, готують з них горіхове молоко та замінники кави. Чуфу рекомендують для виготовлення горіхових мас [4], продукти її переробки застосовують у технологіях тортів та печива [5], для виробництва морозива [6] тощо.

Метою даних досліджень було визначення впливу борошна з чуфи виробництва JB NATURAL FOODS, S.L. (Іспанія) на органолептичні та фізико-хімічні властивості хліба пшеничного. Під час проведення експериментальних досліджень застосовували технологію пробного лабораторного випікання. Дослідні зразки готували з заміною 10 і 15% рецептурної кількості пшеничного борошна на борошно з чуфи. В якості контрольного зразка використовували вироби без добавки.

Дані експериментальних досліджень свідчать, що заміна 10…15% пшеничного борошна борошном з чуфи впливає на органолептичні характеристики пшеничного хліба. За мірою збільшення його кількості у рецептурі скоринка хліба стає яскравіше забарвленою, з'являється приємний горіховий присмак та аромат. М'якушка хліба з 10% добавки порівняно з контрольним зразком характеризується більшою еластичністю та кращою розпушеністю, тоді як, ці показники у зразка хліба з додаванням 15% борошна з чуфи були наближені до контрольних.

Фізико-хімічні показники якості хліба за додавання добавки також змінюються. Спостерігається підвищення вологості і дослідних зразків хліба відносно контрольного зразка, що, ймовірно, зумовлене високою водопоглинальною і водоутримуючою здатністю біополімерів чуфи. Титрована кислотність дослідних виробів також була дещо вищою, ніж у хліба без добавки. За додавання 10% добавки збільшувалися показники питомого об'єму та пористості хліба на 10 і 7% відповідно, тоді як ці показники зразка з 15% добавки були близькі до контрольного.

Таким чином, використання у технології хліба пшеничного отриманого з чуфи борошна дозволяє отримати вироби з високими органолептичними і фізико-хімічними показниками якості. Подальші дослідження будуть спрямовані на вивчення його впливу на харчову цінність хліба, а також на процеси дозрівання тіста.

Список посилань

1. Pascual, B. Chufa (Cyperus esculentus L. var. sativus Boeck): An unconventional crop, studies related to applications and cultivation / B. Pascual, J.V Maroto, S. LóPez-Galarza, A. Sanbautista, J. Alagarda // Economic Botany. Vol (54). 2000. P. 439–448.
2. Codina-Torrella I. Characterization and comparison of tiger nuts (Cyperus esculentus L.) from different geographical origin: Physico-chemical characteristics and protein fractionation / I. Codina-Torrella, B. Guamis, A. J. Trujillo // Industrial Crops and Products. Vol. (65). 2015. P. 406–414.
3. Бажай-Жежерун С. Смикавець їстівний – цінна сировина для виробництва функціональних харчових продуктів / С. Бажай-Жежерун, Д. Рахметов // Оздоровчі харчові продукти та дієтичні добавки: технології, якість та безпека : збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції, 14–15 листопада 2018 р. – Київ : НУХТ, 2018. – С. 79–81.
4. Бажай-Жежерун С. Використання смикавця їстівного у виробництві горіхових мас / С. Бажай-Жежерун, А. Рибачок, О. Хома , Д. Рахметов // Оздоровчі харчові продукти та дієтичні добавки: технології, якість та безпека : збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції, 22-23 травня 2014 р. – Київ : НУХТ, 2014. – С. 119-120.
5. Eke-Ejiofor, J. Effect of Tiger Nut Residue Flour Inclusion on the Baking Quality of Confectionaries / Eke-Ejiofor, J., Deedam, J. N. // Journal of Food Research. Vol. (4). 2015. P. 172–180.
6. Нєміріч О. В. Використання бульб чуфи в технології морозива / О. В. Нєміріч, І. М. Устименко, А. В. Гавриш // Інноваційні технології в готельно-ресторанному бізнесі : матеріали IX Всеукраїнської науково-практичної конференції, 19–20 травня 2020 р. – Київ : НУХТ, 2020. – С. 271.

УДК 640.43:355.4

Хребтань О.Б., канд. техн. наук, доцент
Волкова Р.М., старший викладач
Національний університет «Чернігівська політехніка», olenaborisovnahrebtan@gmail.com

ЗАСТОСУВАННЯ РЕСТОРАННИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПІД ЧАС ВІЙНИ

З початку війни в Україні, майже всі ресторанні заклади, які не виїхали з країни та не припинили свою роботу, переформатувалися і, відповідно до вимог воєнного часу, стали готувати для наших військових, бійців територіальної оборони, медичних закладів та інших організацій та людей, які потребували допомоги з харчуванням.

Саме в цей важкий і трагічний для нашої країни час, заклади ресторанного господарства стали одними з тих, хто забезпечив і продовжує забезпечувати гуманітарну стабільність нашої країни. Сьогодні, велика кількість вітчизняних закладів ресторанного господарства суттєво змінили свої технології і меню.

Головним завданням стало застосування таких технологій приготування їжі, які б забезпечили швидке, якісне і повноцінне харчування людей як на відстані (доставка їжі військовим, лікарням, літнім людям), так і тим, хто не має можливості приготувати їжу (переселенці; сім'ї, у яких було зруйноване житло тощо).

Для збереження харчової цінності та безпечності ресторанних страв, необхідно застосовувати сучасні технології, які гарантують дотримання всіх вимог до сировини і готових харчових продуктів.

Вибір технології приготування страв у закладі ресторанного господарства залежить сьогодні від:

- умов роботи закладу ресторанного господарства;
- контингенту, для якого готується їжа;
- кількості людей, які обслуговуються;
- можливостей закладу щодо збереження готової продукції;
- виду доставки готових страв.

В умовах воєнного часу, в ресторанних закладах доречно застосовувати такі технології, які б заощаджували використання енергоносіїв, людських ресурсів і при цьому, забезпечували б виробництво високоякісної, повноцінної та безпечної харчової продукції.

Технологія виробництва швидкозамороженої та охолодженої ресторанної продукції заснована на швидкому охолодженні цієї продукції відразу після приготування. Саме така технологія забезпечує зберігання страв від двох діб до декількох місяців. Охолоджена і швидкозаморожена продукція зручна під час екстремальних умов тому, що не потребує довгих приготувань, а лише розігрівання: перші та другі страви – швидко розігріваються, закуски і десерти можна взагалі не піддавати тепловій обробці. Головною вимогою до виробництва швидкозамороженої та охолодженої ресторанної продукції – є використання доброякісної сировини для її виготовлення. Всі інгредієнти такої продукції повинні відповідати вимогам стандартів і санітарно-гігієнічним нормам.

Швидке охолодження дозволяє забезпечити відсутність росту мікроорганізмів, яке може з'явитися при повільному охолодженні ресторанної продукції. Також, при швидкому охолодженні, суттєво подовжуються строки зберігання продукції.

Технологія Thermomix – це перемішування та подрібнення компонентів страв при тепловій обробці за допомогою промислового термоміксера. Фактично термоміксер – це міні-котел для приготування їжі з функцією перемішування [1].

Основні функціональні та технологічні переваги технології Thermomix полягають у тому, що конструкція ножів термоміксера дозволяє обробляти як заморожені продукти, так і продукти з ніжною структурою. У нагрітій до 120^0С чаші термоміксера, де знаходиться сировина, розтоплюється масло, жири і перемішуються з іншою сировиною. За цією технологією можна швидко готувати соуси, муси, пасти, обробляти овочі і фрукти та страви з ними.

Серед переваг технології Thermomix основною є - вплив на харчову сировину високих температур, що забезпечує готовим стравам:

- значне зменшення мікробіологічного середовища;
- розчинення цукрів у кондитерських масах;
- гомогенізацію інгредієнтів при приготуванні страви.

Якість і безпечність готових страв забезпечується застосуванням технології Sous Vide. Особливість технології Sous Vide полягає в тому, що готову страву укладають в спеціальний пакет, з якого видаляють повітря (створюють вакуум) і запаюють. Після спеціального нагрівання та подальшого швидкого охолодження, готова продукція зберігається до використання. Використання страви, виготовленої за технологією Sous Vide полягає тільки у підігріванні у гарячій воді безпосередньо у вакуумному пакеті [2].

У страв, виготовлених за технологією Sous Vide значно подовжується термін зберігання, забезпечується збереження харчової цінності харчової продукції, зникає ризик повторного забруднення під час зберігання. Технологія Sous Vide застосовується для приготування страв з м'яса, риби.

Технологія екструзії набула практичного значення саме сьогодні, оскільки дає можливість швидкого приготування різноманітних страв в екстремальних умовах. Прості і поживні харчові продукти отримують при додаванні води у готові сухі каші, супи, закуски.

При застосуванні технології холодної екструзії отримують вироби з борошна, різні види м'ясного фаршу. Технологія гарячої екструзії відрізняється тим, що страви ще додатково піддають смаженню після сушіння. Так отримують сухі перші і другі блюда, різні напої, страви з м'ясної сировини [3].

У вітчизняних ресторанних закладах, з великою кількістю відвідувачів, ще до початку війни, застосовували сучасну ефективну технологію приготування різноманітних блюд під тиском за допомогою пароконвектоматів. Ця технологія виявилася дуже ефективною сьогодні, коли необхідно одночасно готувати велику кількість різноманітних за видом

кулінарної обробки страв. Застосовуючи цю технологію, ресторанні заклади значно пришвидшують процес приготування, зберігаючи при цьому всі корисні властивості їжі.

Список посилань

1. Технологія Termomix. – режим доступу: https:// www.thermomixukraine/info?tabpage_info
2. Технологія Sous Vide – режим доступу:https://www.unileverfoodsolutions.com.ua/natkhnennja-dlja-shefa/trendi/tekhnika-gotuvannja-su-vid.html.
3. Корягіна М. Ф. Технологія продукції громадського харчування / М. Ф. Корягіна, А. І. Юліна, Т. Ф. Петренко. – К. : КНТЕУ, 2002. – 131 с.

УДК 661:331.45

Ковтун А. І., канд. техн. наук, ст. викладач
Землянська О. В., ст. викладач
Праховнік Н. А., канд. техн. наук, доцент
Італьянцев О. І., студент
Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», o_zemlyanska@i.ua

ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ СИНТЕЗ-ГАЗУ

В роботі розглянуті методи забезпечення безпеки персоналу на виробництві в хімічній галузі. Засоби в галузі охорони праці та безпеки життєдіяльності людини дозволяють виробляти хімічні продукти не завдаючи шкоди здоров'ю працюючих людей. Сучасний комплексний підхід до проблеми охорони праці дозволяє знизити до мінімуму ризики на робочому місці.

Аміак в промисловості широко використовується для виробництва азотних добрив, полімерів, азотної кислоти, соди та інших продуктів хімічної галузі. У холодильній техніці використовується в якості холодильного агента. Також використовується у медицині. Тому питання охорони праці при виробництві аміаку, як ніколи, актуальне. [1]

В процесі отримання аміаку використовується синтез-газ. Це суміш азоту і водню.

Перші спроби отримання синтез-газу були здійснені в Англії ще в 30-ті роки XIX століття. При газифікації кам'яного вугілля отримували гази: водню, метану, монооксиду вуглецю. До середини 50-х років XX тисячоліття цей процес широко використовувався в багатьох країнах, а згодом йог обуло витисненно методами з використання нафти та природного газу. Зараз коли зменшується кількість нафтових ресурсів знов актуальними стають процеси отримання синтез-газу. [2]

Сьогодні є три основні промислові методи виробництва синтез-газу – це газифікація вугілля, конверсія метану та парціальне окиснення вуглеводнів.

При виробництві синтез-газу отримують газові суміші, компоненти яких є вогне-вибухонебезпечні та є токсичними. Вибухові газові суміші можуть накопичуватись в нижніх частинах апаратів. Виникнення пожежі та вибуху можливе при потраплянні кисню в газове середовище або проникнення горючих газів в повітря робочих приміщень. [3]

Можливе накоплення вибухонебезпечних сумішей і робочих приміщеннях. На установках, які працюють при високих тисках, можливість просочування газу більше, ніж для тих що працюють при атмосферному.

З газів які використовуються в виробництві синтез-газу, найбільш токсичним є оксиди вуглецю. Гранично допустима концентрація якого становить 20 мг/м^3. При впливі оксидів вуглецю можуть виникати як гострі, так і хронічні отруєння. Гострі захворювання визиваються одноразовою взаємодією значної кількості оксиду вуглецю, хронічні – тривалою дією.

При отруєні оксидами вуглецю потерпілого слід швидко перенести на свіже повітря, дати йому вдихати кисень і нюхати нашатирний спирт. При втраті свідомості необхідно зробити штучне дихання з використанням кисню.

Для забезпечення безпечних умов праці, попередження і навіть виключення можливості вибуху і отруєння персоналу важливе значення має детальна герметизація апаратів, обладнання та технічних комунікацій, автоматизація процесів і дистанційне керування ними, зменшення часу перебування працівників біля апаратів. Для покращення умов праці необхідно проводити вентиляцію промислових приміщень. [4]

Можливе виникнення зворотних газових потоків у випадку порушення нормального протікання технологічних процесів виключається встановленням зворотних клапанів.

Для запобігання можливих пожеж кисень та збагачене киснем повітря неповинні контактувати з обладнанням, трубопроводами, арматурою, інструментами. Всі поверхні, які можуть контактувати з киснем, необхідно обезжирити.

Всі періодичні викиди газів при розігріві агрегатів, старті, наладці та при інших видах робіт повинні виконуватись на достатній висоті, щоб попередити проникненню газів до робочих місць і приміщень поблизу.

Апарати або сосуди перед внутрішнім оглядом, очисткою або ремонтом повинні бути звільнені від продуктів що знаходяться в них, відключенні та від'єднанні заглушками від працюючих апаратів і комунікацій, продуті інертним газом, пропарені водяною парою або промиті водою. Потім продуті чистим повітрям. Кінець продувки визначається за відсутністю шкідливих домішок в газі.

В процесі виробництва синтез-газу відбувається окислення метану. Це екзотермічна реакція, тому апарат слід обшити теплоізоляцією та огородити доступ до нього працівників. Необхідно враховувати, при проходженні процесів окислення – вибухонебезпечність окислювальних агентів та їх сумішей. При реакціях в рідких фазах окислення вибухонебезпечність тим більше, чим вище тиск парів органічної речовини, утворює вибухонебезпечні суміші з повітрям, киснем або іншим окислювальним агентом. [5,6]

Для обслуговуючого персоналу необхідно виконування робочих інструкцій та інструкцій по охороні праці з метою підвищення працездатності та збереження здоров'я та життя.

Список посилань

1. Енергетична стратегія України на період до 2035 року. Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 р. № 605-р. URL: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/doccatalog/list?currDir=50358 (дата звернення 26.09.2020).

2. Досвід країн Євросоюзу з підвищення енергоефективності, енергоаудиту та енергоменеджменту з енергоощадності в економіці країн. URL: http://energy.esco.agency/rubriki-zhurnala/jenergomenedzhment-vjenergetike/4764/dosvid-krain-ievrosojuzu-z-pidvishhennja-energoefektivnostienergoauditu-ta-energomenedzhmentu-z-energooshhadnosti-v-ekonomici-krain (дата звернення 10.09.2020)

3. Павлюк М. І., Хоха Ю. В., Брик Д. В., Яковенко М. Б. Сапропелітове вугілля заходу України як потенційне джерело енергетичної та хімічної сировини. Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування: 6-та міжнар. наук.- практ. конф. (м. Трускавець, 8–10 жовтня 2019 р.). Київ, 2019. С. 307–311.

4. Labour Protection and Civil Defense : textbook for undergraduate students / O. Levchenko, O. Polukarov, O. Arlamov, Y. Polukarov, O. Zemlyanska ; edited by doctor of Technical Sciences, Professor O. Levchenko. Kyiv : Publishing House «Caravela», 2021. 352 p. ISBN 978-966-8019-62-3.

5. Брик Д. В., Подольський М. Р., Гвоздевич О. В. Фізико-технічне обґрунтування виробництва синтетичного палива з вугілля (на прикладі Львівсько-Волинського басейну). Углехимический журнал. 2014. № 3–4. С. 69–74.

6. Бондаренко Б. І. Щодо перспектив одержання і використання синтез-газу з вугільної сировини України / Б. І. Бондаренко // Вісн. НАН України. - 2014. - № 12. - С. 25-28.

УДК 664.144:635.076

Самохвалова О.В., канд. техн. наук, професор
Касабова К.Р., канд. техн. наук, доцент
Бабаєв С.О., аспірант
Державний біотехнологічний університет, м. Харків, babaev173@gmail.com

СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ У ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ТА ЗБЕРІГАННЯ ЛУКУМУ

З усього асортименту кондитерських виробів виділяється група східних солодощів, які виготовляються із використанням значної кількості горіхів, олійних ядер, різних прянощів, меду, родзинок. Вироби цієї групи характеризуються гарними смаковими якостями, високою поживною цінністю і користуються значним попитом у населення. Асортимент східних солодощів поділяється на три групи: борошняні, типу м'яких цукерок і типу карамелі. Борошняні вироби отримують з борошна вищого ґатунку із застосуванням великої кількості вершкового масла, яєць, цукру, прянощів, а також родзинок, цукатів, горіхів. Це різноманітні види печива, пахлави, тощо. Східні солодощі типу карамелі мають тверду, крихку консистенцію, що досягається шляхом уварювання цукрово-паточного з подальшим додаванням меду, ядер горіхів, кунжуту, маку (козинаки, грильяж, тощо). Східні солодощі типу м'яких цукерок виготовляють шляхом додавання в цукеркові маси (вершкова, цукрова помади, збивна та желейна маси) подрібнених горіхів, родзинок, цукатів. Солодощами цієї групи є нуга, халва, лукуми, тощо. Серед усього різноманіття кондитерських виробів набув популярності та привертає увагу такий виріб як лукум. Його виробляють з цукру, води або фруктового соку (гранатовий сік), з додаванням кукурудзяного крохмалю (структурний агент), ароматичних речовин (ванілін, трояндова есенція), з додаванням чи без горіхів (волоський горіх, мигдаль, фундук, фісташка), кокосової стружки, фруктове пюре.

Сучасними напрямами вдосконалення технологій кондитерських виробів є підвищення харчової цінності, зниження цукроємності, використання нових видів драглеутворювачів, натуральних барвників та ароматизаторів за використання нетрадиційної сировини тощо. Так, було запропоновано використання ізомальтулози замість цукру у кількості 100% загальній кількості цукру, що дозволило отримати продукцію діабетичного характеру. Відомо про додавання м'якоті кизилу, концентрату соку з чорної моркви як натуральних барвників та джерела корисних речовин [1]. Запропоновано заміна частини крохмалю на пуллулан у технології лукуму, що дозволяє отримати продукцію з кращими властивостями та підвищити терміни її зберігання. Показано, що використання низки цитрусових (лимон, грейпфрут, мандарин, цитрус) у технології лукуму сприяє збагаченню виробів харчовими волокнами. Також для тривалого зберігання було запропоновано використання газового середовища з суміші CO_2 та N_2 для подовження терміну зберігання вищого за звичайний.

Нами проводяться дослідження щодо можливості використання у технології лукуму багатокомпонентних плодово-ягідних і плодоовочевих паст з яблук, буряка, гарбуза, айви, чорної смородини, тощо. Моделювання рецептури лукуму з додаванням такої сировини дозволяє отримати вироби із високими структурно-механічними, органолептичними, фізико-хімічними показниками якості та підвищеним вмістом фізіологічно функціональних інгредієнтів.

Список посилань

1. Стабільність антоціанінів черної моркви в лукуму (лукум) при зберіганні [Електронний ресурс] / Г.Озен,М. Акбулут,Н. Артик // *The Journal of Food Process Engineering – 2011 - № 4 – С. 1282. Режим доступу:* http://surl.li/cahqs

УДК 664.66:093-021

Болховітіна О.І., канд. техн. наук, доцент
Шидакова-Каменюка О.Г., канд. техн. наук, доцент
Чугаєвська О.Г., магістрант
Державний біотехнологічний університет, м. Харків, kravchenko.elen16@gmail.com

ХЛІБОБУЛОЧНІ ВИРОБИ ЗНИЖЕНОЇ ВОЛОГОСТІ ПІДВИЩЕНОЇ ХАРЧОВОЇ ЦІННОСТІ

В сучасних умовах виробництво хлібобулочних виробів зниженої вологості в Україні є одним із шляхів вирішення продовольчої безпеки, обумовленої необхідністю забезпечення населення продукцією тривалого терміну зберігання. Висока енергетична і низька харчова цінність робить їх перспективним об'єктом для створення продукту з підвищеним вмістом вітамінів, мінеральних речовин, харчових волокон тощо.

З метою підвищення харчової та біологічної цінності хлібобулочних виробів зниженої вологості нами запропоновано використовувати борошно насіння рижію, яке є побічним продуктом при отриманні рижієвої олії. Добавка відрізняється багатим хімічним складом, який представлений вітамінами групи В, РР, харчовими волокнами, білком, рядом мікро- і макроелементів, таких як фосфор, магній, калій, залізо, фосфоліпідами та речовинами з антиоксидантними властивостями [1]. Борошно насіння рижію має яскраво жовтий колір з приємним трав'яним запахом та присмаком.

При виробництві хлібобулочних виробів зниженої вологості борошно насіння рижію вносили у кількості 10…15% від маси пшеничного борошна на стадії замішування тіста. Тісто піддавали дозріванню, обробленню, вистоюванню та випіканню. Готовий хліб вистоювали, нарізали на скибки та сушили. У якості контрольного був зразок, приготований за такою ж технологією без додавання збагачувальної добавки.

Готові дослідні вироби з борошном насіння рижію набувають приємного смаку та аромату добавки, які посилюються за мірою збільшенням кількості добавки у рецептурі. Колір виробів змінюється від світло-жовтого, у контрольного зразка, до яскраво жовтого у дослідному з 15% добавки взамін пшеничного борошна. Внесення борошна насіння рижію у вказаному дозуванні сприяє збільшенню показників крихкості на 7…12% порівняно з контролем та намочуваності на 17…24% відповідно. Це пояснюється наявними в добавці в значній кількості харчових волокон та заміною частини пшеничного борошна сировиною, що не містить клейковинних білків.

Внесення збагачувальної добавки до технології хлібобулочних виробів зниженої вологості сприяє суттєвого підвищення вмісту у готових виробах вітамінів групи В, РР, харчових волокон, кількість яких у дослідних зразках перевищує таку у контрольному зразку без добавки. Особливо важливим є підвищення мінеральної цінності готових виробів такими елементами як калій, фосфор, магній та залізо.

На основі проведених досліджень нами запропоновано рецептуру та технологічну схему сухарів «Пікантні» з додаванням борошна насіння рижію у кількості 10% від маси пшеничного борошна.

Список посилань

1. Цикало С.Д. Дослідження елементарного складу рижію посівного (Camelina Savita (L) Crantz) та рижію дрібноплодного (Camelina microcarpa Andrz) / Т.О. Цикало, С.Д. Тржецинський, О.В. Гришина, В.К. Рябчук // Актуальні питання фармацевтичної і медичної науки і практики. – 2018. – Т. 11, вип. 3 (28). – С. 318–321.

УДК 615.327.07:663.64]

Кисилевська А.Ю., канд. техн. наук
Бабов К.Д., д-р мед. наук
Безверхнюк Т.М., д-р держ.упр.
Арабаджи М.В. канд. хім. наук
Державна установа «Український науково-дослідний інститут медичної реабілітації та курортології Міністерства охорони здоров'я України», м. Одеса,
kisilevskaya07@gmail.com

ГАРМОНІЗАЦІЯ НАЦІОНАЛЬНИХ ТА ЄВРОПЕЙСЬКИХ ВИМОГ ДО ПАРАМЕТРІВ БЕЗПЕЧНОСТІ ФАСОВАНИХ МІНЕРАЛЬНИХ ВОД

На сьогодні культура споживання фасованих мінеральних вод (МВ) в світі набула великої популярності. Вибагливий споживач вимагає продукт не лише відповідної якості, а й безпечності.

Згідно з Директивою 2009/54/ЄС [1] та Законом України [2], прийнятим на виконання Угоди [3], фасовані МВ відносено до харчових продуктів. Щодо усіх видів харчових продуктів мають бути затверджені гігієнічні вимоги та параметри безпечності. У 2021 році наказом [4] гігієнічні вимоги до вод природних мінеральних та вод джерельних було затверджено. Однак цей наказ не може виконуватися без затвердження інших наказів, які має затвердити МОЗ України, зокрема, щодо критеріїв віднесення вод до вод природних мінеральних, порядку ведення їх державного Реєстру (або Переліку) та щодо параметрів їх безпечності, без яких не можна ідентифікувати води і проводити їх державну реєстрацію.

Європейські вимоги до параметрів безпечності вод природних мінеральних та вод джерельних представлено в Директиві 2003/40/ЄС [5] – хімічні параметри, та Директиві 2009/54/ЄС – мікробіологічні параметри. На сьогодні на МВ в Україні діє ДСТУ 878-93 [6], який, окрім інших вимог, містить Реєстр (перелік) МВ України та показники безпеки (параметри безпечності). Упродовж останніх років до стандарту постійно вносилися зміни, і в тому числі й щодо гармонізації з європейськими вимогами. У таблиці 1 представлено аналіз вимог до хімічних параметрів безпечності згідно з національним стандартом ДСТУ 878-93 (з урахуванням останніх змін) та Директивами 2003/10/ЄС [5] та 2009/54/ЄС [1].

Таблиця 1 – Аналіз хімічних параметрів безпечності вод природних мінеральних згідно національних та європейських вимог

Хімічні показники						
Показники	Значення масової концентрації, мг/л, не більше					
	ДСТУ 878-93				Директива 2003/40/ЄЕС	Проєкт НД на МВ (наказ)
	МВ столові		МВ лікувально-столові			
	чинна редакція	з 01.08.2022	чинна редакція	з 01.08.2022		
1	2	3	4	5	6	7
Нітрати	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
Нітрити	2,0	2,0	2,0	2,0	0,1	0,10
Сурма*	–	0,005	–	0,05	0,005	0,005
Миш'як	0,05	0,01	1,5	1,5	0,01	0,01
Барій*	–	1,3	–	5,0	1,0	1,3
Бор (борат)	–	–	–	–	–**	5 (28,0)***
Свинець	0,1	0,01	0,1	0,1	0,01	0,01
Цинк	5,0	5,0	5,0	5,0	–	1,0
Селен	0,05	0,05	0,05	0,05	0,01	0,01
Кадмій	0,01	0,01	0,01	0,01	0,003	0,003

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7
Мідь	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Ртуть	0,005	0,005	0,02	0,02	0,001	0,001
Хром	0,5	0,5	0,05	0,5	0,05	0,05
Стронцій	7,0	7,0	25,0	–	–	7,0
Марганець	–	0,4	–	1,0	0,5	0,5
Нікель	–	0,02	–		0,02	0,02
Ціаніди	–	0,07	–	0,7	0,07	0,07
Фтор	1,5	1,5	10,0	10,0	5,0	1,5
Уран	1,8 (23,8 Бк/л)	1,8 (23,8 Бк/л)	1,8 (23,8 Бк/л)	1,8 (23,8 Бк/л)	–	1,8 (23,8 Бк/л)
Радій	$5{,}0 \cdot 10^{-7}$ (18,5 Бк/л)	$5{,}0 \cdot 10^{-7}$ (18,5 Бк/л)	$5{,}0 \cdot 10^{-7}$ (18,5 Бк/л)	$5{,}0 \cdot 10^{-7}$ (18,5 Бк/л)	–	$5{,}0 \cdot 10^{-7}$ (18,5 Бк/л)
Феноли*	0,001	0,001	0,1	0,1	–	0,001
Органічні речовини	5,0	5,0	30,0	30,0	–	5,0
Нафто-продукти*	–	–	–	–	–	0,01
Примітка. * – Визначення проводяться на стадії прогнозної оцінки можливості практичного використання. ** – Згідно Директиви 2003/40/ЄС нормування для бору буде введено після його затвердження. *** – Згідно з Codex Stan 108-1981 [7].						

Як видно з таблиці 1, гармонізація європейських та національних вимог до хімічних показників МВ відбувається поступово. З 01.08.2022 зміною № 34 до ДСТУ 878-93 [6] буде введено всі показники безпечності, які регулює Директива 2003/40/ЄС [5]. Однак рівень значення їх максимальної концентрації ще не буде точно відповідати цій Директиві. Щодо селену, кадмію, ртуті та хрому на певний час залишено національні норми. Наразі відбувається доопрацювання бази даних щодо вмісту цих важких металів в МВ України, зокрема, лікувально-столових, а також відбувається валідація нових методів визначення цих показників. Щодо мангану – його значення гармонізовано з міжнародним стандартом Codex Stan 108-1981 [7]. Для значення фтору також на певний час залишено національні норми, враховуючи діючу на цей час класифікацію. Зокрема, для лікувально-столових МВ значення масової концентрації фтору має складати не більше 10,0 мг/л. З таблиці 1 видно, що окрім європейських вимог у проєкті НД щодо параметрів безпечності (проєкт наказу МОЗ України) розробники вважають доцільним затвердження показників для стронцію, органічних речовин, фенолів, нафтопродуктів, урану та радію. Ці показники слід нормувати, враховуючи національні особливості складу МВ України та наявного досвіду напрацювання бази даних щодо вмісту цих показників у МВ.

Щодо мікробіологічних показників (параметрів безпечності) їх вже на цей час гармонізовано з вимогами Директиви 2009/54/ЄС [1] і CAC/RCP 33-1985 [8] та введено в дію. Зміною № 34 до ДСТУ 878-93 [6] їх уточнено. У табл. 2 наведено вимоги до санітарно-мікробіологічних показників МВ України.

Таблиця 2 – Санітарно-мікробіологічні показники безпечності мінеральних вод

Назва показника, колонієутворючі одиниці (КУО)	Значення
Загальне мікробне число (ЗМЧ), КУО в 1 ml	< 100
(36±1) °С – 24 годин	
(36±2) °С – (48±2) годин	
Кількість коліформних бактерій, КУО в 1 L	< 3
Синьогнійна паличка (*Pseudomonas aeruginosa*), КУО в 1 L	не допускається

Отже, гармонізація національного законодавства та нормативної бази щодо МВ з європейськими вимогами проходить з врахуванням національних особливостей. Виважена гармонізація вимог до МВ виконує основне завдання Угоди [3] – створення поглибленої та всеохоплюючої зони вільної торгівлі та наближає Україну на шляху до членства в ЄС.

Список посилань

1. Directive 2009/54/EC of the European Parliament and of the council of 18 June 2009 on the exploitation and marketing of natural mineral waters (Recast) (Text with EEA relevance). – URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32009L0054

2. Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів: Закон України від 22.07.2014 р. // Відомості Верховної Ради України – 1998. – № 19. – Ст. 98.

3. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії та їхніми державами-членами, з іншої сторони, від 27 червня 2014 р. – URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011

4. Про затвердження Гігієнічних вимог до виробництва та обігу вод природних мінеральних і вод джерельних: наказ Міністерства розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України від 12.04.2021 № 741. – URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0657-21

5. Commission Directive 2003/40/EC of 16 May 2003 establishing the list, concentration limits and labelling requirements for the constituents of natural mineral waters and the conditions for using ozone-enriched air for the treatment of natural mineral waters and spring waters – URL: http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32003L0040:en: NOT

6. Води мінеральні фасовані. Технічні умови : ДСТУ 878-93 [Чинний від 1995-01-01] — К.: Держспоживстандарт України, 1994. — 88 с. — (Державний стандарт України). Води мінеральні фасовані. Технічні умови : ДСТУ 878-93 [Чинний від 1995-01-01] — К.: Держспоживстандарт України, 1994. — 88 с. — (Державний стандарт України).

7. Codex Stan 108-1981, Rev.2 — 2008 Standard for natural mineral waters. – URL: https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B108-1981%252FCXS_108e.pdf

8. Recommended international code of hygienic practice for the collecting, processing and marketing of natural mineral waters (CAC/RCP 33-1985). – URL: http://www.fao.org/input/download/standards/223/CXS_108e.pdf

.

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

XII Міжнародна науково-практична конференція

«Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем»

26 – 27 травня 2022 року, м. Чернігів

Том 1

Відповідальний за видання А. М. Єрошенко
Редактор С. П. Сапон

Прийнято 24.05.2022. Здано до друку 24.05.2022 р.
Формат 60×84/16. Гарнітура Times New Roman.
Ум.-друк. арк. 13,95. Тираж 100 пр. Зам. № 18/21

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.