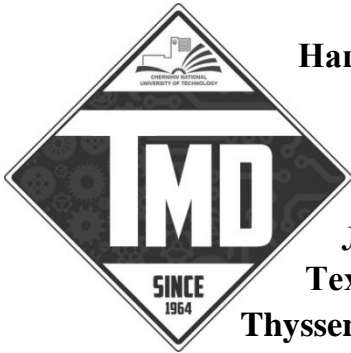


Міністерство освіти і науки України  
Чернігівський національний технологічний університет (Україна)  
Національний технічний університет України «КПІ ім. І. Сікорського» (Україна)



Oerlikon Barmag GmbH (Німеччина)  
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. Ш. Руставелі (Грузія)

Українське товариство механіки ґрунтів, геотехніки і фундаментобудування  
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки (Україна)



МІНІСТЕРСТВО  
ОСВІТИ І НАУКИ  
УКРАЇНИ



Матеріали ІХ міжнародної  
науково-практичної конференції

# «КОМПЛЕКСНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ»

Том 1

14 - 16 травня 2019 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 Чернігівського національного технологічного університету (протокол № 4 від 22.04.2019)*

Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2019) : матеріали тез доповідей ІХ Міжнародної науково-практичної конференції (м. Чернігів , 14–16 травня 2019 р.) : у 2-х т. / Чернігівський національний технологічний університет [та ін.]; відп. за вип.: Єрошенко Андрій Михайлович [та ін.]. – Чернігів : ЧНТУ, 2019. – Т. 1. – 240 с.

ISBN 978-617-7571-53-6

Видання індексується у наукометричній базі даних РІНЦ (Ліцензійний договір № 611-03/2016К від 17.03.2016р.

### **ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ**

к.т.н., доц. Єрошенко Андрій Михайлович, тел:(093) 798 27 55  
к.пед.н., доц. Коленіченко Тетяна Іванівна (096) 213 38 16  
к.т.н., доц. Корзаченко Микола Миколайович, тел:(067) 378 90 34  
к.т.н., доц. Космач Олександр Павлович, тел:(063) 335 39 34  
к.т.н., доц. Прибитько Ірина Олександрівна, тел:(098) 078 78 70  
к.т.н., доц. Приступа Анатолій Леонідович, тел:(050) 465 20 13  
к.т.н., доц. Сапон Сергій Петрович, тел:(097) 384 41 97

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

Сапон Сергій Петрович, тел. (097) 3844197, e-mail: [s.sapon@gmail.com](mailto:s.sapon@gmail.com) або [kzyatps@gmail.com](mailto:kzyatps@gmail.com) <https://www.facebook.com/kzyatps/>

\*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 978-617-7571-53-6

©Чернігівський національний  
технологічний університет

**МІЖНАРОДНИЙ ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ**

доктор Шефер Клаус (Oerlikon Barmag, 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.-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., (RICARDO, Inc., 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.е.н., проф. Шкарлет С.М. (м. Чернігів, ректор Чернігівського національного технологічного університету)  
д.т.н., проф. Ступа В.І. (м. Чернігів, БАХ-Інжиніринг)  
д.т.н., проф. Бобир М.І. (м. Київ, НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Андренко П.М. (м. Харків, НТУ «Харківський політехнічний інститут»)  
д.т.н., проф. Антонюк В.С. (м. Київ, НТУУ «Київський політехнічний інститут 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. Болотов Г.П. (м. Чернігів, Чернігівський національний технологічний університет)  
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, ПолтНТУ ім. Юрія Кондратюка)  
д.т.н., проф. Воронцов Б.С. (м. Київ, НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Грицай І.Є. (м. Львів, Національний університет «Львівська політехніка»)  
д.т.н., проф. Данильченко Ю.М. (м. Київ, НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»)  
к.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, Чернігівський національний технологічний університет)  
д.т.н., проф. Дубровський М.П. (м. Одеса, Одеський національний морський університет)  
д.т.н., проф. Залога В.О. (м. Суми, Сумський державний університет)  
к.т.н., проф. Іванов М.І. (м. Вінниця, Вінницький національний аграрний університет)  
д.т.н., проф. Іскович-Лотоцький Р.Д. (м. Вінниця, Вінницький національний технічний університет)  
д.т.н., проф. Казимир В.В. (м. Чернігів, Чернігівський національний технологічний університет)  
д.т.н., проф. Калафатова Л.П. (м. Покровськ, Донецький національний технічний університет)  
д.т.н., проф. Кальченко В.І. (м. Чернігів, Чернігівський національний технологічний університет)  
д.т.н., проф. Кальченко В.В. (м. Чернігів, Чернігівський національний технологічний університет)  
д.т.н., проф. Кириченко А.М. (м. Кропивницький, Центральноукраїнський національний технічний ун-т)  
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 «Київський політехнічний інститут 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. Кузнецов Ю.М. (м. Київ, НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Лур'є З.Я. (м. Харків, НТУ «Харківський політехнічний інститут»)  
д.т.н., проф. Луців І.В. (м. Тернопіль, Тернопільський національний технічний університет ім. І Пулюя)  
д.т.н., проф. Майборода В.С. (м. Київ, НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Мироненко Є.В. (м. Краматорськ, Донбаська державна машинобудівна академія)

д.т.н., проф. Новомлинець О.О. (м. Чернігів, Чернігівський національний технологічний університет)  
д.т.н., проф. Огінський Й.К. (м. Запоріжжя, Запорізька державна інженерна академія)  
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 «Київський політехнічний інститут 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 «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Пінчевська О.О. (м. Київ, Національний ун-т біоресурсів і природокористування України)  
д.т.н., проф. Пилипенко О.І. (м. Чернігів, Чернігівський національний технологічний університет)  
д.т.н., проф. Плаван В.П. (м. Київ, Київський національний університет технологій та дизайну)  
д.т.н., проф. Похмурська Г.В. (м. Львів, Національний університет «Львівська політехніка»)  
д.т.н., проф. Равська Н.С. (м. Київ, НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Рудь В.Д. (м. Луцьк, Луцький національний технічний університет)  
д.т.н., проф. Савченко О.В. (м. Чернігів, Чернігівський національний технологічний університет)  
д.т.н., проф. Саленко О.Ф., (м. Кременчук, Кременчуцький національний університет ім. М. Остроградського)  
д.т.н., проф. Сахно Є.Ю. (м. Чернігів, Чернігівський національний технологічний університет)  
д.т.н., проф. Сиза О.І. (м. Чернігів, Чернігівський національний технологічний університет)  
д.т.н., проф. Струтинський В.Б. (м. Київ, НТУУ «Київський політехнічний інститут 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 «Київський політехнічний інститут 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, Чернігівський національний технологічний університет)  
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. Харченко Г.К. (м. Київ, Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона)  
д.т.н., доц. Чуприна В.М. (м. Чернігів, ДНДІ випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки)  
д.т.н., проф. Цибуля С.Д. (м. Чернігів, Чернігівський національний технологічний університет)  
д.т.н., проф. Шахбазов Я.О. (м. Львів, Українська академія друкарства)  
д.т.н., проф. Шевченко О.В. (м. Київ, НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Шинкаренко В.Ф. (м. Київ, НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»)  
д.т.н., проф. Юдін О.К. (м. Київ, Національний авіаційний університет)

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

### ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ ПЛЕНАРНОГО ЗАСІДАННЯ

- Клаус Шефер.** Инновационные концепции переработки полиэфирных производственных и потребительских отходов 15  
*VVEngineering, г. Ремшайд, Германия*
- Дитмар Йенке.** Требования к квалификационному потенциалу высококвалифицированного сотрудника в сфере современного специального машиностроения 27  
*VVEngineering, г. Ремшайд, Германия*
- Кузнєцов Ю.М.** Автоматизація виготовлення бурштинових кульок – гарантія національної безпеки України 35  
*Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ*
- Чухліб В.Л.** Розвиток наукової школи обробки металів тиском у національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» 37  
*Національний технічний університет «ХПІ», м. Харків*

### ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ СЕКЦІЙНИХ ЗАСІДАНЬ

#### СЕКЦІЯ 1

#### «ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ТА СИСТЕМИ МАШИНОБУДІВНОГО ВИРОБНИЦТВА»

- Radzevich S. P.** A possible way of evolution of Novikov gearing 39  
*Stoneridge, Inc., USA*
- Frolov V.<sup>1</sup>, Artiushenko V.<sup>2</sup>** Messsystem zur erfassung von mikrobewegungen bei der prüfung von hüftprothesen im simulator 41  
*<sup>1</sup>Nationale Technische Universität der Ukraine "Kiewer Polytechnisches Institut benannt nach Ihor Sikorsky", Ukraine*  
*<sup>2</sup>Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Deutschland*
- Chupryna V.** Dynamic quality of technological cutting machines in aggregate-modular design 43  
*State Scientific Research Institute of Testing and Certification of the Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine, Chernihiv*
- Kalchenko V., Sliednikova O., Vynnyk V., Sklyar V.** The research of the process of milling of cams of camshafts with crossed axes of the tool and the workpiece, 44  
*Chernihiv National University of Technology, Chernihiv*
- Osypenko V., Plakhotnyi O., Timchenko O.** Features of the single crater geometry formation in wire electrical discharge machining using modern current generators 47  
*Cherkasy state technological university, Cherkasy*
- Дмитрієв Д.О., Русанов С.А., Федорчук Д.Д.** Прогнозування функціональних можливостей і закономірності керування просторовими системами приводів для технологічних задач 49  
*Херсонський національний технічний університет, м. Херсон*
- Кальченко В.І., Сіра Н.М., Аксьонова О.О.** Дослідження процесу чорнового фрезерування циліндричних поверхонь зі схрещеними осями інструмента та деталі 52  
*Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів*

- Воронцов Б.С.<sup>1</sup>, Кривошея А.В.<sup>2</sup>** Комп'ютерно-інтегрована система, як засіб інформаційного забезпечення конструкторсько-технологічних етапів життєвого циклу зубчастих передач 54  
<sup>1</sup>Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ  
<sup>2</sup> Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, м. Київ
- Шахбазов Я.О., Широков В.В., Широков О.В., Паламар О.О.** Встановлення технологічних умов ефективності процесу шліфування 55  
 Українська академія друкарства, м. Львів
- Огинский И.К., Таратута К.В., Востоцкий С.Н., Воронцова Н.Ю.** Совмещенные технологические процессы литья и обработки давлением в металлургии и машиностроении 57  
 Запорожский национальный университет, г. Запорожье
- Струтинський В.Б., Юрчишин О.Я.** Особливості конструювання наземних роботизованих комплексів для роботи з небезпечними об'єктами 59  
 Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», м. Київ
- Бабенко А.Є., Равская Н.С., Боронко О.А., Лавренко Я.И.** Кинематическое возбуждение вынужденных поперечных колебаний дисковой фрезы с неравномерным шагом 60  
 Национальный технический университет украины «КПИ им. И.Сикорского», г.Киев
- Грицай І.Є.** Комп'ютерне моделювання нестационарного процесу зубофрезерування черв'ячною фрезою та його просторового силового поля 61  
 Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів
- Шевченко О.В., Манзюк С.А.** Ефективний пристрій малих переміщень для прецизійної токарної обробки 63  
 Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ
- Григор'єва Н.С., Шабайкович В.А.** Забезпечення якості продукції 65  
 Луцький національний технічний університет, м. Луцьк
- Мироненко Е.В., Міранцов С.Л., Гузенко Д.Є.** Багатокритеріальна оптимізація параметрів токарної обробки на важких верстатах 67  
 Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ
- Калафатова Л.П., Славінський В.О.** Шляхи підвищення ефективності механічної обробки в умовах сучасних автоматизованих виробництв 69  
 Донецький національний технічний університет, м. Покровськ
- Ковалевський С.В., Ковалевська О.С., Кошевой А.О.** Управління якістю багаторізованих різальних інструментів з механічним кріпленням пластин 71  
 Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ
- Ковалевський С.В., Ковалевська О.С., Глушич К.С.** Обробка робочих поверхнів деталей машин обертовим магнітним полем 74  
 Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ
- Кологойда А.В.** Підвищення ефективності шліфування циліндричної та голчастої поверхонь зі схрещеними осями круга і валика текстильної машини 76  
 Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів
- Кужельний Я.В.** Моделювання процесу різання одиничним абразивним зерном під час шліфування пластичних матеріалів 78  
 Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів

- Науменко А.О., Біляєва О.С., Науменко О.А.** Дослідження процесу оновлення тракторів потужністю більше 100 кВт в АПК України 80  
*Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, м. Харків*
- Кривий П. Д.<sup>1</sup>, Петrenchко І. Р.<sup>1</sup>, Тимошенко Н. М.<sup>2</sup>** Метод вимірювання головного заднього кута токарних різців з циліндричною задньою поверхнею 82  
<sup>1</sup>*Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя, м. Тернопіль*  
<sup>2</sup>*Національний Університет «Львівська Політехніка», м. Львів*
- Попов С.В., Васильєв А.В., Карапузь А.І.** Оптимізація процесу точіння нержавіючої сталі мартенситного класу 40X13 твердим сплавом Т15К6 83  
*Полтавський національний технічний університет імені Ю. Кондратюка, м. Полтава*
- Самчук Л.М., Повстяна Ю.С., Пастернак В.В., Зубовецька Н.Т.** Регенерація фільтрувальних металокерамічних елементів ультразвуком 84  
*Луцький національний технічний університет, м. Луцьк*
- Дядя С.І., Козлова О.Б., Зубарєв А.Є.** Самоорганізація руху тонкостінної деталі та якість обробленої поверхні при кінцевому циліндричному фрезеруванні 86  
*Запорізький національний технічний університет, м. Запоріжжя*
- Тулупов В.І., Онищук С.Г.** Дослідження зносостійкості деталей після фрикційного електроімпульсного вигладжування з модифікуванням дисульфідом молібдену 87  
*Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ*
- Тришин П.Р.** Проблемы отделочной обработки внутреннего канала алюминиевых волноводов в местах сварки (пайки) 88  
*Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье*
- Лещенко А. И.,** Формирование в управляющей программе системы поправок, учитывающих изменяющиеся условия обработки 90  
*Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь*
- Хавін Г.Л.** Прогнозування зношування інструменту при свердлінні полімерних композиційних матеріалів 92  
*Національний технічний університет «ХПИ», м. Харків*
- Симонюк В.П., Лапченко Ю.С., Денисюк В.Ю.** До обробки деталей у вільному абразивному середовищі 93  
*Луцький національний технічний університет, м. Луцьк*
- Лесик Д.А.<sup>1</sup>, Джемелінський В.В.<sup>1</sup>, Данилейко О.О.<sup>1</sup> Мордюк Б.М.<sup>2</sup>, Прокопенко Г.І.<sup>2</sup>** Технологічне забезпечення якості поверхневого шару сталі 45 комбінованою лазерно-ультразвуковою обробкою 94  
<sup>1</sup>*Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ*  
<sup>2</sup>*Інститут металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАНУ, м. Київ*
- Клименко С.А., Манохін А.С., Копейкіна М.Ю., Клименко С. Ан., Мельнічук Ю. О., Чумак А. О.** Високопродуктивна чистова лезова обробка деталей зі сталей високої твердості 95  
*Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, м. Київ*
- Кошель С.О., Кошель Г.В.** Структурний аналіз складних плоских шестиланкових механізмів четвертого класу 96  
*Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ*

- Кошель С.О., Кошель Г.В.** Структурний аналіз складного плоского шестиланкового механізму 98  
*Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ*
- Лимарченко О.С.<sup>1</sup>, Губська В.В.<sup>2</sup>** Дослідження узагальненого параметричного резонансу для резервуара гіперболоїдальної форми 100  
<sup>1</sup> *Київський національний університет імені Тараса Шевченка, м. Київ*  
<sup>2</sup> *Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», м. Київ*
- Дзюбик А.Р., Назар І.Б., Дзюбик Л.В.** Ключові етапи забезпечення якості інженерних проектів 101  
*Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів*
- Дзюбик Л. В., Зінько Я. А.** Особливості дослідження міцності крупногабаритних оболонкових конструкцій 102  
*Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів*
- Веселовська Н.Р., Гнатюк О.Ф.** Методи ефективного розвантаження насипних вантажів транспортних засобів 103  
*Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця*
- Повстяной О.Ю., Полінкевич Р.М., Четвержук Т.І.** Прогнозування часових тенденцій на прикладі експериментальних досліджень високошвидкісних опор шпіндельних вузлів 104  
*Луцький національний технічний університет, м. Луцьк*
- Охріменко О.А., Станєв А.І.** Визначення профілю дискового інструменту для обробки гвинтових канавок за допомогою САД систем 106  
*Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ*
- Чаругин Н. В., Хамитов Ю. А.** Воздействие поверхностной энергии электродов на производительность процесса электроэрозионной обработки 108  
*Одесский национальный политехнический университет, г. Одесса*
- Пасов Г.В., Бакалов В.Г.** Симулятор робозізованого технологічного комплексу на базі токарного верстата з ЧПК 109  
*Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів*
- Штанкевич В.С.<sup>1</sup>, Балушок К.Б.<sup>2</sup>, Клименко В.Ю.<sup>2</sup>** К вопросу о подавлении автоколебаний при концевом цилиндрическом фрезеровании 111  
<sup>1</sup> *Національний університет «Запорозьська політехніка», г. Запорозьє*  
<sup>2</sup> *Акционерное общество «Мотор Сич», г. Запорозьє*
- Рудик А. В., Венжега В. І.** Підвищення ефективності шліфування поверхонь обертання за рахунок керування контактом 113  
*Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів*
- Кондрашев П. В.** Визначення оптимальних аеродинамічних характеристик коаксiального сопла 114  
*Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ*
- Grechana O., Kovalenko Yu., Bondarenko M.** Gradient microstructures formed by electron flow on the optical glass 115  
*Cherkasy State Technological University, Cherkasy*
- Пермяков А.А.<sup>1</sup>, Клочко А.А.<sup>1</sup>, Старченко Е.П.<sup>1</sup>, Камчатная-Степанова Е.В.<sup>1</sup>, Сапон С.П.<sup>2</sup>** Технологические основы зубофрезерования шевронных закаленных колес с раздельной схемой формообразования 117  
<sup>1</sup> *Національний технічний університет «ХПИ», г. Харьков*  
<sup>2</sup> *Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов*



<b>Шаповалов О. Л.<sup>1</sup>, Колесник Д. М.<sup>1</sup>, Пилипенко О. І.<sup>2</sup></b> Конструкції, кінематичні схеми та технічні характеристики вертольотних редукторів	119
<sup>1</sup> НДІ випробувань та сертифікації військової техніки та озброєнь ЗСУ, м. Чернігів	
<sup>2</sup> Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів	
<b>Шаповалов О. Л.<sup>1</sup>, Колесник Д. М.<sup>1</sup>, Пилипенко О. І.<sup>2</sup></b> Навантаженість зубчастих передач вертольотних редукторів	121
<sup>1</sup> НДІ випробувань та сертифікації військової техніки та озброєнь ЗСУ, м. Чернігів	
<sup>2</sup> Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів	
<b>Stepanov D., Semeryuk T., Churilov O.</b> Using numerical method for determination of the minimum thickness of the sample treating by pa brushes	123
Zaporizhzhia National Technical University, Zaporizhzhia	
<b>Бондарчук А.В., Бойко Ю.І.</b> Дослідження стійкості кінцевих фрез	124
Національний університет харчових технологій, м. Київ	
<b>Майданюк С.В.</b> Оптимізація оброблення дисковими відрізними фрезами з різнонаправленими зубцями	126
Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ	
<b>Литвин О.В., Ящук І.Р.</b> Удосконалена модель пошуку технічних рішень	127
Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ	
<b>Шихалєєв М.М., Медведєв В.В.</b> Дослідження акустичного сигналу від двох датчиків при фрезеруванні на верстаті з ЧПУ	128
Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ	
<b>Погребняк Р.П., Коптілий О.В.</b> Навантаженість верстата за різними схемами обробки ділянки гребеня залізничного колеса різцем з круглою поворотною вставкою	130
Національна металургійна академія України, м. Дніпро	
<b>Рубан В.М.</b> Системи інженерного аналізу	132
Національна металургійна академія України, м. Дніпро	
<b>Рубан В.М.</b> Фрези для ремонту робочої поверхні колісних пар машин рейкового транспорту на верстатах КЖ20	134
Національна металургійна академія України, м. Дніпро	
<b>Жутенко Є.П.<sup>1</sup>, Каліберда І.В.<sup>1</sup>, Гончар Н.В.<sup>2</sup></b> Застосування полімерно-абразивних щіток на фінішному етапі виготовлення зубчастих коліс і шліцевих валів	136
<sup>1</sup> ДП «Івченко-Прогрес», м. Запоріжжя	
<sup>2</sup> Запорізький національний технічний університет, м. Запоріжжя	
<b>Сиромятніков П. С., Іванов В.В.</b> Проектування ланцюгів постачання виробничого підприємства	138
Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, м. Харків	
<b>Мурашківська В.П., Руновська Л.А., Сіра Н.М., Подзолкіна А.П.</b> Система автоматизації розрахунку фасонних поверхонь	140
Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів	
<b>Неженцев А.Б.</b> Снижение потерь энергии при торможении мостовых кранов	142
Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», г. Киев	
<b>Сошко В.О., Грубник О.В.</b> Особливості фізико-хімічної взаємодії мастильно-охолоджувальних технологічних середовищ з металами під час механічної обробки різанням	143
Херсонський національний технічний університет, м. Херсон	

<b>Приходько В. П., Біланенко В. Г.</b> Особливості технологічного оснащення виробництва при застосуванні віртуального базування заготовок <i>Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ</i>	145
<b>Біланенко В.Г.</b> Технологічні особливості оброблення титанових сплавів <i>Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ</i>	146
<b>Приходько В. П., Біланенко В. Г.</b> Вибір технологічних баз на основі аналізу розмірних зв'язків деталей <i>Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ</i>	148
<b>Єрошенко А.М. Кальченко Д.В. Литвин О.О., Венжега В.І</b> Дослідження процесу двостороннього шліфування торців клапанів двз різного діаметру кругами з калібруючими ділянками та без них <i>Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів</i>	150
<b>Гриценко Д. С.</b> Особливості використання кулачкових механізмів приводу у транспортувальних пристроях <i>Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ</i>	153
<b>Філатов Ю.Д.<sup>1</sup>, Сідорко В.І.<sup>1</sup>, Ковальов В.А.<sup>2</sup></b> Вплив реологічних властивостей дисперсних систем на продуктивність полірування оптичних матеріалів <sup>1</sup> <i>Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, м. Київ</i> <sup>2</sup> <i>Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», м. Київ</i>	154
<b>Плеснецов Ю.А.</b> Теоретический анализ процесса перестройки трубной заготовки <i>Национальный технический университет «ХПИ», г. Харьков</i>	156
<b>Романенко В.В., Головка Л.Ф., Блощицин М.С.</b> Розробка пристрою для ливарного виготовлення біметалів з використанням технологічних отворів та утримуючих елементів <i>Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», м. Київ</i>	157
<b>Романенко В.В., Головка Л.Ф., Блощицин М.С.</b> Виготовлення корозійностійких біметалів при використанні потужних джерел енергії <i>Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», м. Київ</i>	159
<b>Козирєв О.С.</b> Опис геометрії лазерного променя при моделюванні процесів лазерної обробки матеріалів <i>Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», м. Київ</i>	161
<b>Козирєв О.С.</b> Дискретний підхід при моделюванні процесів лазерної обробки <i>Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», м. Київ</i>	162
<b>Романенко В.В., Козирєв О.С.</b> Теоретичне моделювання і реалізація процесу газолазерного різання металевих заготовок великої товщини <i>Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», м. Київ</i>	164
<b>Олійник С.Ю.</b> Технологічні схеми обробки маложорстких складнопрофільних деталей на верстаті з механізмом паралельної кінематики <i>Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ</i>	166
<b>Курин М.А.</b> Исследование деформированного состояния материала стружки при обтекании пластины в условиях несвободного резания <i>Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков</i>	167
<b>Шелковий О.М., Набока О.В.</b> Підвищення ефективності механо-складального виробництва <i>Національний технічний університет «ХПИ», м. Харків</i>	168

- Чухліб В.Л.<sup>1</sup>, Дуванський О.М.<sup>1</sup>, Біба М.В.<sup>2</sup>** Моделювання кування поковок з титанових сплавів 169  
<sup>1</sup>Національний технічний університет «ХПИ», м. Харків  
<sup>2</sup>Micas Simulation Ltd, Oxford, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland
- Банзак О.В., Банзак Г.В.** Имитационная статистическая модель процессов технического обслуживания машиностроительного оборудования 170  
 Одесская государственная академия технического регулирования и качества, г. Одесса
- Некрасов С. С., Довгополов А. Ю.** Забезпечення міцності роз'ємного гвинтового з'єднання, формоутвореного в армованому композиційному матеріалі 172  
 Сумський державний університет, м. Суми
- Лоза Т.В., Курін М.О.** Визначення кінетичної енергії твердої частинки в потоці газу при детонаційному обробленні 174  
 Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАИ», м. Харків
- Зигуля С. М.** Аналіз методів підвищення довговічності деталей поліграфічних машин 175  
 Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», м. Київ
- Марчук В.І., Марчук І.В., Сачковська Л.О.** Розрахунок коефіцієнта теплообміну для умов безцентрового шліфування кілець роликотідшипників з використання МОР 177  
 Луцький національний технічний університет, м. Луцьк
- Литвиняк Я.М., Гвоздик Є.В.** Інноваційний процес зубонарізання при виготовленні циліндричних зубчастих коліс 179  
 Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів
- Олійник О.Ю.<sup>1</sup>, Рубанка М.М.<sup>2</sup>** Підвищення надійності роботи механізмів відтягнення полотна круглов'язальних машин 180  
<sup>1</sup>Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», м. Київ  
<sup>2</sup>Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ
- Ісаченко А.О.<sup>1</sup>, Ігнатенко П.Л.<sup>2</sup>** Синтез системи планування траєкторії руху вимірювального робота 182  
<sup>1</sup>Національний авіаційний університет, м. Київ  
<sup>2</sup>Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів
- Алексик Д.І., Гаврушкевич А.Ю., Гаврушкевич Н.В.** Застосування немагнітних матеріалів при проектуванні станини 184  
 Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», м. Київ
- Залета О.М.** Методологія генерування варіантів структури технологічної машини в умовах її оптимізаційного синтезу 185  
 Луцький національний технічний університет, м. Луцьк
- Литвин О.В., Гаврушкевич Н.В., Максименко І.С.** Стенд для дослідження зусилля затиску інструменту для верстатів з ЧПК 187  
 Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», м. Київ
- Жартовський О.В., Кравченко В.І.** Система регулювання і вимірювання параметрів імпульсного електричного струму установки поверхневого легування 189  
 Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ
- Зінько Р.В.** Мобільний робот для моніторингу надзвичайних ситуацій 190  
 Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів

- Доброскок В.Л.<sup>1</sup>, Шпилька А.Н.<sup>2</sup>, Криворот А.И.<sup>2</sup>, Шпилька Н.Н.<sup>3</sup>** 192  
 Программное моделирование вибраций, возникающих в процессе шлифования  
<sup>1</sup>Национальный технический университет «ХПИ», г. Харьков  
<sup>2</sup>Полтавский национальный технический университет им. Ю. Кондратюка, г. Полтава  
<sup>3</sup>Полтавская государственная аграрная академия, г. Полтава
- Ігнатенко П.Л.<sup>1</sup>, Галицький В.А.<sup>2</sup>** Особливості конструкції систем вимірювання 193  
 механічних величин на базі гіроскопу  
<sup>1</sup>Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів  
<sup>2</sup>ПАТ Науково-виробниче об'єднання «Київський завод автоматики», м.Київ
- Колотуха В.А., Кузнєцов Ю.М.** Прилад вимірювання динамічних характеристик 195  
 системи «Шпиндель-патрон-деталь»  
 Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», м. Київ
- Чаругин Н.В., Ілюшина В.М.** Влияние физико-химических процессов на 197  
 формирования эксплуатационных характеристик поверхностных слоев при  
 термопластических деформациях  
 Одесский национальный политехнический университет, г. Одесса
- Передерко А.Л.** Прецизійний контактний вимірювач переміщення 198  
 Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса
- Ромашко А.С., Юрчишин О.Я.** Ризики розголошення інформації з обмеженим 199  
 доступом  
 Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», м. Київ
- Музичка Д.Г., Солод В.Ю., Шульга А.С., Кашинський І.С.** Дослідження впливу 200  
 теплофізичних властивостей зв'язок на теоретичну довжину твірної головного  
 різального конусу  
 Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське
- Третяк В. В., Федорова А. С., Некрашевич А. О., Бондарєва К. В.** Спосіб 202  
 штампування коробчастих деталей  
 Національний аерокосмічний університет ім М. Є. Жуковського «ХАІ», м. Харків
- Данильченко Ю.М., Петришин А.І.** Експериментальне визначення власних 204  
 частот пружної системи «інструмент-заготовка» при кінцевому фрезеруванні  
 тонкої пластинки  
 Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», м. Київ
- Лаппо І. М., Кулинич С. П., Червотока О. В., Геращенко М. О.** Дослідження 205  
 впливу керованих параметрів в зоні різання на точність профілю отвору під час  
 оброблення осьовим інструментом  
 Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації  
 озброєння і військової техніки, м. Чернігів
- Петришин А.І., Данильченко М.А.** Врахування контактної взаємодії заготовки і 207  
 інструмента при моделюванні діаграм стійкості процесу поздовжнього точіння  
 Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», м. Київ
- Квасніков В. П., Катаєва М. О.** Аналіз методів вимірювання лінійних розмірів 208  
 рельєфних наноструктур  
 Національний авіаційний університет, м. Київ

**СЕКЦІЯ 2**  
**«СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ОБЛАДНАННЯ, ІНСТРУМЕНТ ТА**  
**ОСНАЩЕННЯ ДЛЯ ДЕРЕВООБРОБКИ І МЕБЛЕВОГО**  
**ВИРОБНИЦТВА»**

- Цапко Ю.В., Ломага В.В.** Захист деревини від термічного ушкодження сумішами неорганічних речовин та полімерних комплексів 210  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ*
- Дацків Г.М., Кшивецький Б. Я.** Щодо методики склеювання термічно модифікованої деревини 211  
*Національний лісотехнічний університет України, м. Львів*
- Буйських Н.В.** Дещо до визначення модуля пружності та реологічних коефіцієнтів деревини сосни 212  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ*
- Копанський М.М.** Вплив питомого вмісту ріпакових частинок у вихідній композиції на механічні показники волокнистих плит 213  
*Національний лісотехнічний університет України, м. Львів*
- Губер Ю.М., Копинець З.П., Миськів Є.М., Якуба М.М.** Вплив умов зберігання пиломатеріалів на розподіл вологості за їхньою товщиною 215  
*Національний лісотехнічний університет України, м. Львів*
- Маєвський В.О., Копинець З.П., Ференц О.Б., Сторожук В.М., Ленцик О.Т.** Дослідження об'ємного виходу чорнових заготовок для клеєних щитів з пиломатеріалів 217  
*Національний лісотехнічний університет України, м. Львів*
- Серкіз О.Р., Бойко М.В., Сокіл Н.І.** Спеціалізована автоматична лінія механічної обробки каркасних дерев'яних елементів двохярусних дитячих ліжок 218  
*Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів*
- Андрашек Й. В., Кушпіт О. М.** Дослідження кінцевої вологості термічно модифікованої деревини ясеня 219  
*Національний лісотехнічний університет України, м. Львів*
- Шатківський М. М., Маєвський В. О.** Дослідження формостійкості деталей, виготовлених із заготовок, склеєних з деревини різних порід 221  
*Національний лісотехнічний університет України, м. Львів*

**СЕКЦІЯ 3**  
**«РОБОЧІ ПРОЦЕСИ ТА СИСТЕМИ ПРОМИСЛОВОЇ ГІДРАВЛІКИ**  
**ТА ПНЕВМАТИКИ»**

- Андренко П. Н.<sup>1</sup>, Кулініч К.О.<sup>1</sup>, Свиначенко М.С.<sup>2</sup>** Удосконалений пристрій гасіння гідравлічних ударів 223  
<sup>1</sup> *Національний технічний університет «ХПІ», м. Харків*  
<sup>2</sup> *Харківський національний університет будівництва та архітектури, м. Харків*
- Іванов М.І., Ковальова І.М.,** Моделювання роботи механізму регулювання подачі аксіального роторнопоршневого насоса типу PVC 225  
*Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця*

- Стаднік М. І., Іванов М.І., Моторна О.О., Переяславський О.М.** Покращення роботи розвантажувального золотника електрогідравлічного розподільника, 227  
*Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця*
- Боровець В.М., Боровець Н.В.** Використання пневматичних приводів у пакувальному обладнанні 228  
*Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів*
- Кулініч С.П., Гавриленко О.М.** Моделювання роботи гідравлічного приводу з синхронізованими двигунами 230  
*Сумський державний університет, м. Суми*
- Начовний І. І., Немчинов С. І.** Теоретичне дослідження напружено-деформованого стану пластин кільцевих клапанів поршневих компресорів 231  
*Український державний хіміко-технологічний університет, м. Дніпро*
- Іванов М. І., Гречко Р. О.** Дослідження впливу об'ємів гідроліній на роботу гідростатичної трансмісії типу ГСТ90 232  
*Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця*
- Медведєв С.В.** Критерії проектування та формування вигляду системи видалення відходів літака 233  
*Державне підприємство «АНТОНОВ», м. Київ*
- Панченко В.О.** Розрахунок напору вільновихрового насоса 234  
*Сумський державний університет, м. Суми*
- Шостачук О.П.** Особливості експлуатації пневматичних систем у флексографічних друкарських машинах 235  
*Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ*

## ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ ПЛЕНАРНОГО ЗАСІДАННЯ

Клаус Шефер, докт. техн. наук  
VVEngineering, Германия

### ИННОВАЦИОННЫЕ КОНЦЕПЦИИ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИЭФИРНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ И ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ ОТХОДОВ

Мировое производство пластиков достигло почти 350 млн. тонн в 2017г. при совокупных темпах годового роста +8,5% между 1950г. и 2017 г.(рис.1)

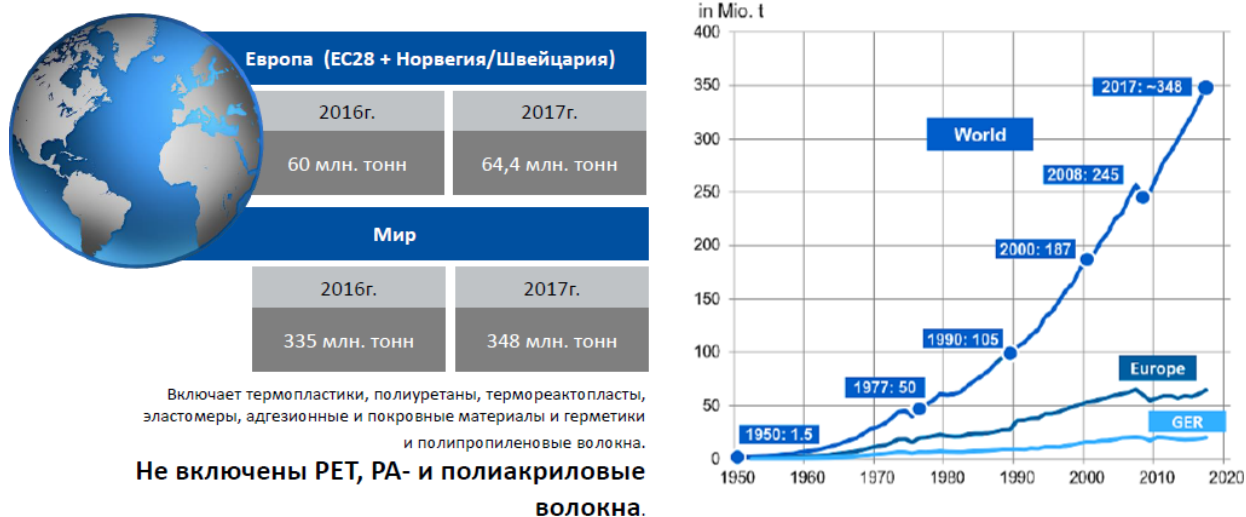


Рис. 1 – Данные по производству пластиков в мире и ЕС

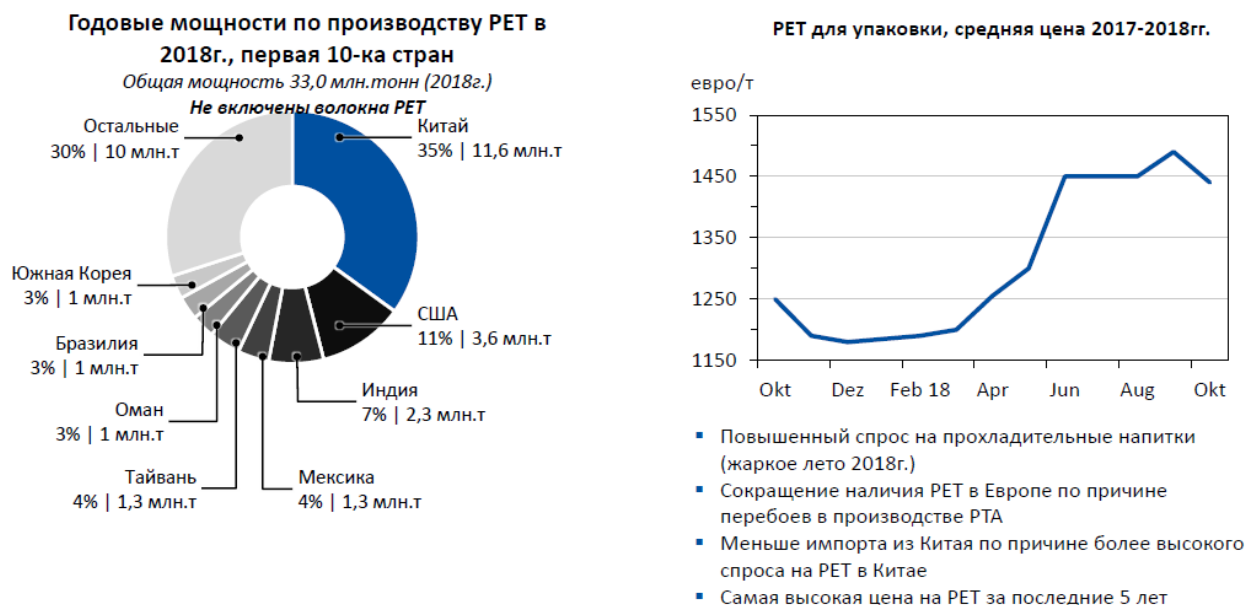


Рис. 2 – Мощности по производству РЕТ и развитие средней цены (2017-2018гг.)

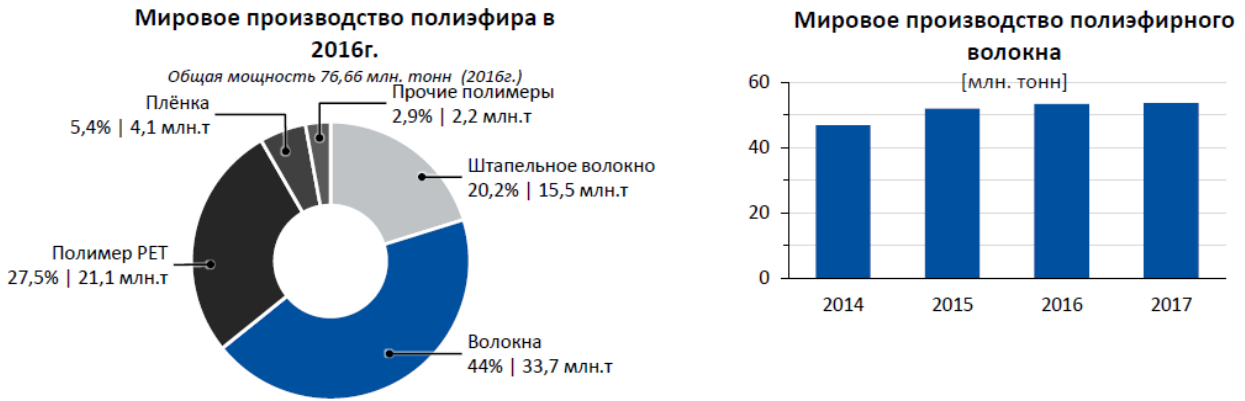


Рис. 3 – Мировое производство полиэфира и полиэфирного волокна



Рис. 4 – Формирование общественного мнения по поводу пластика



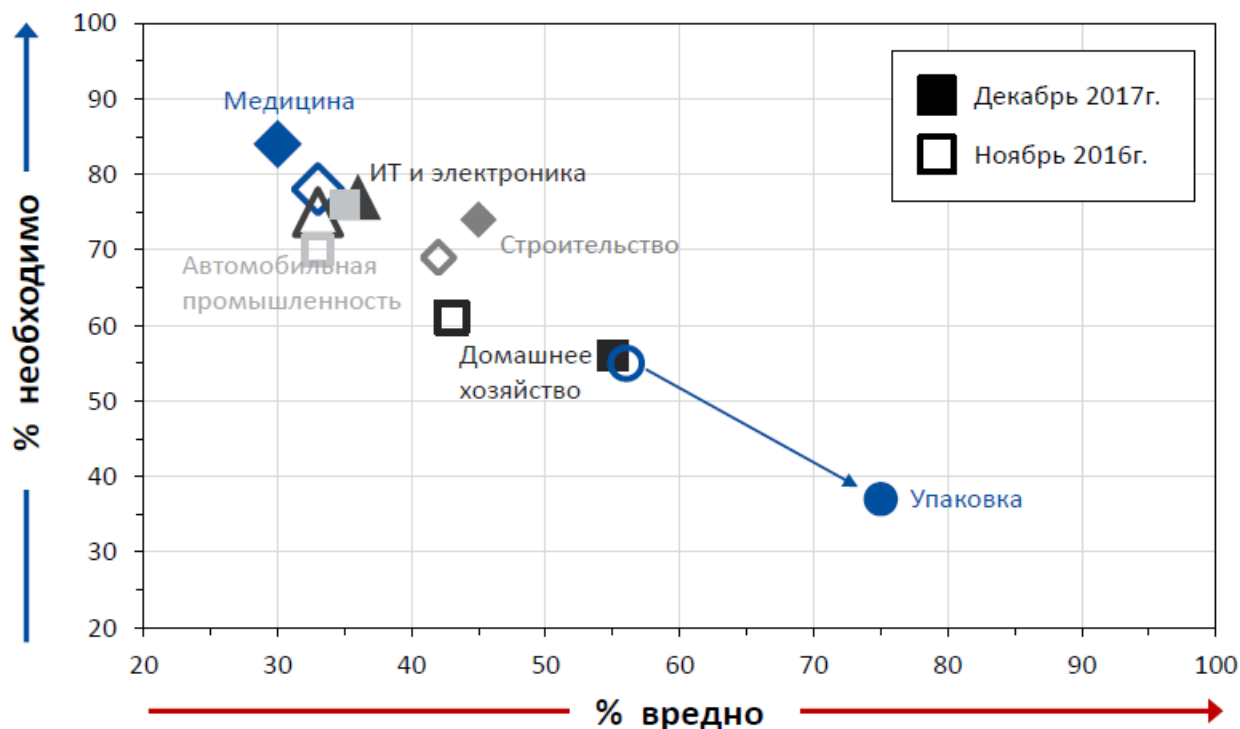


Рис. 5 – Изменение имиджа пластиков в различных сферах применения в течение одного года

Если бы пластиков не было, современная жизнь должна была бы их изобрести, чтобы обеспечить экологически устойчивое будущее! Причина, почему пластики являются предпочтительным материалом для такого большого количества различных применений в том, что они сочетают в себе высокие эксплуатационные характеристики с высокоэффективным использованием ресурсов.




<p><b>Экономическое преимущество</b></p> <p>С чисто экономической точки зрения – пластики экономят расходы.</p> 	<p><b>Экологическая устойчивость</b></p> <p>Пластики предоставляют существенные экологические преимущества в таких сферах применения, как: упаковочная, автомобильная, электрическая/электронная промышленности, строительство зданий и сооружений, домашнее хозяйство, спорт и сельское хозяйство.</p> 
<p><b>Разносторонность и инновации</b></p> <p>Пластики наилучшим образом отвечают широкому диапазону возникающих технологических потребностей.</p> 	

Рис. 6 – Преимущества пластиков

Но на фоне такого большого числа преимуществ возникает комплекс задач! И вместе с этими сложными задачами появляется ответственность за нашу пластиковую промышленность – от обеспечения надёжного использования нашей продукции и до ускорения инновационных решений по пластиковым отходам.

Общий объём энергии, используемой при производстве пластиковой упаковки, существенно ниже, чем энергия, необходимая для производства альтернативной продукции не из пластика!



Рис. 7 – Преимущества и применение пластика

Прогноз роста объёма пластика, внешние факторы и потребление нефти при **инерционном бизнес-сценарии**

	2014г.	2050г.
Производство пластика	311 млн.т	1 124 млн.т
Соотношение пластика и рыбы в океане (по весу)	1:5	> 1:1
Доля пластика в глобальном потреблении нефти	6%	20%
Доля пластика в углеродном бюджете	1%	15%

Амбиции новой пластиковой экономики



Рис. 8 – Растущее значение экономики замкнутого цикла для пластика

**Степень переработки бутылок PET в Германии**

Все бутылки PET	Из системы по сдаче бутылок
93,0%	97,3%

- Содержание вторичного PET (rPET) в составе питьевых бутылок слегка возросло.
- Тем не менее, промышленность по производству напитков нацелена на ещё большее содержание rPET в новых бутылках (до 50%).

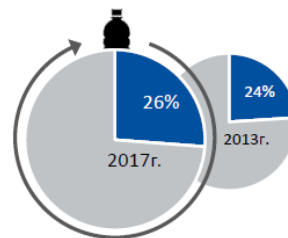


Рис. 9 – Высокая степень переработки бутылок PET в Германии (2017г.)



Рис. 10 – Продукция переработки ПЕТ бутылок

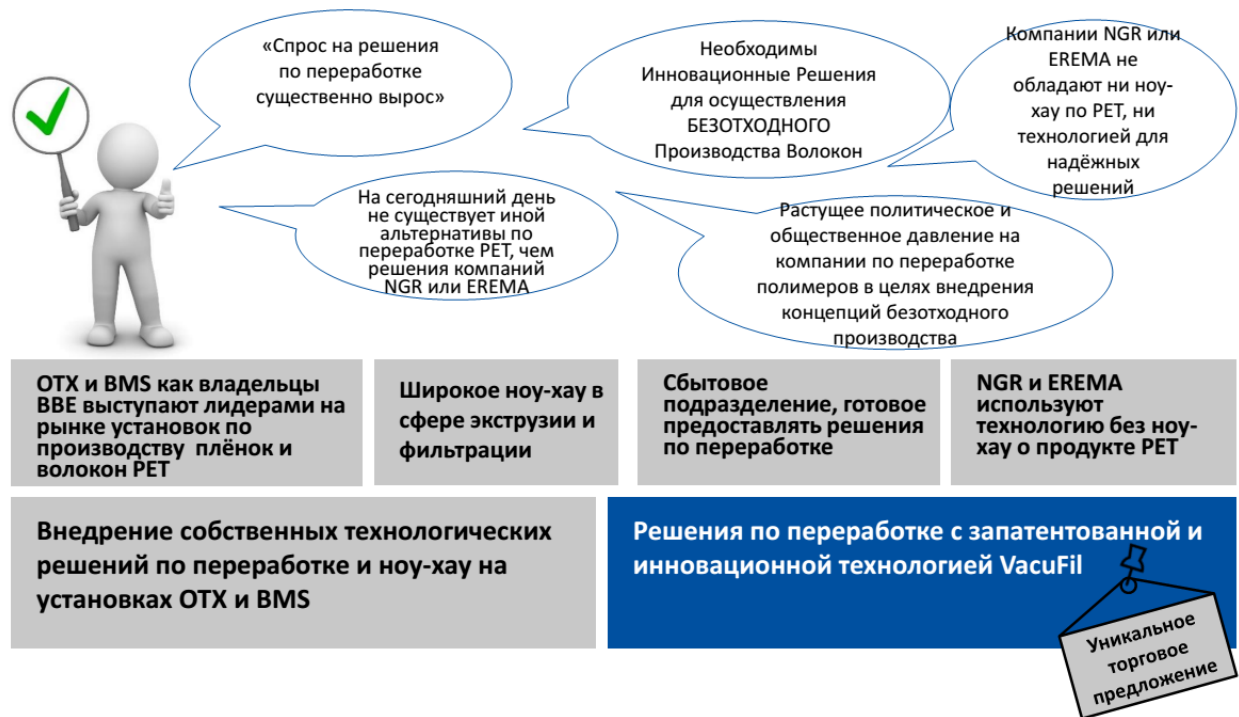


Рис. 11 – Обоснование целесообразности компании ВВЕ выходить на рынок оборудования по переработке пластиковой тары



Рис. 12 – Основные движущие силы для успешной концепции машины по переработке пластиковой тары

Подход компании BBEngineering к переработке пластиковой тары:

- разработка инновационных решений по переработке с высокой степенью отличия от наших конкурентов;
- широкий производственный ассортимент;
- снижение инвестиций;
- снижение расхода энергии на 1 кг конверсии;
- высокое качество переработанного ПЕТ-продукта;
- удобство пользования
  - а) меньше техобслуживания
  - б) управление на одном уровне
  - в) простота модификации
- повышение высококачественных производственных возможностей:
  - а) использование проверенных компонентов и технологии
  - б) отходы, включённые в первичную продукцию
  - в) дополнительные функции у существующих компонентов.

Таблица 1 – Задачи высокого уровня (сверхзадачи) и цели компании BBEngineering по переработке пластиковой тары

Задачи высокого уровня (сверхзадачи)	Цели
Предотвращение утечки пластиков в окружающую среду или за пределы собственного производства	Путём повышения ангажированности как внутри нашей индустрии, так и за её пределами
Повышение эффективности использования ресурсов	Ускорением разработки инноваций в полном жизненном цикле продукции (VACOFIL)
Улучшение кругооборота пластиковой упаковки и другой продукции	Достижением в 2040г. 100%-го повторного использования, переработки и/или восстановления всей пластиковой упаковки на всей территории ЕС.
Внедрение безотходного производства волокон и плёнки	В 2030г.: 60%-ое повторное использование и переработка всей пластиковой упаковки и текстиля
Нахождение решений для бывших в употреблении текстиля и упаковки из ПЕТ	В 2030г.: 60%-ое повторное использование и переработка всей пластиковой упаковки и текстиля
Нахождение инновационного технологического решения с наибольшим отличием от наших конкурентов	Каждый клиент ОТХ или BMS служит ролевой моделью при осуществлении решений по безотходному производству

Таблица 2 – Способы генерирования идей компании BBEngineering

Способ	Суть, особенности
Опросник Осборна	Облегчает генерирование идей, путём постановки широкого спектра вопросов помогает определить новые перспективы
Идеальная замена	Содействует генерированию идей без учёта текущей бизнес-модели предприятия
Межгалактическое мышление	Делает возможным генерирование идей при помощи стимулов в отрыве от контекста
Метод 4-3-20	Усовершенствование метода 6-3-5 и метода Мировое кафе, позволяет генерировать идеи в более крупных группах
Брюзжание	Озвученные вызовы превращаются в будущие решения
Синектика	Стимулирует у участников бессознательный образ мышления
Теория Де Боно	Может применяться как для генерирования идей, так и для их оценки

Таблица 3 – Способы оценки идей компании VVEngineering

Способ	Суть, особенности
Рынок талантов	Промежуточная ступень ранней стадии процессов генерирования идей, чтобы сократить число идей/концепций
Модель Кано	Система для оценки ценности для клиента определённого продукта или характеристик продукта
«Приход к соглашению»	Метод нацелен на достижение согласия по определённым видам деятельности, которые необходимо выполнить, чтобы воплотить идею в жизнь
Анализ затрат и результатов	Инструмент анализа, чтобы оценить пользу для клиента и соответствующие затраты
Портфельный анализ	Матричная оценка концепций, основывающаяся на двух осях
FASSC-Анализ	Быстрый инструмент анализа, для оценки и сравнения концепций
Анализ ценности	Быстрый инструмент анализа, для разработки

Иновация – это не случайность, это видение, стратегия и менеджмент



Рис. 13 – Менеджмент инноваций



Рис. 14 – Стратегический процесс планирования НИОКР

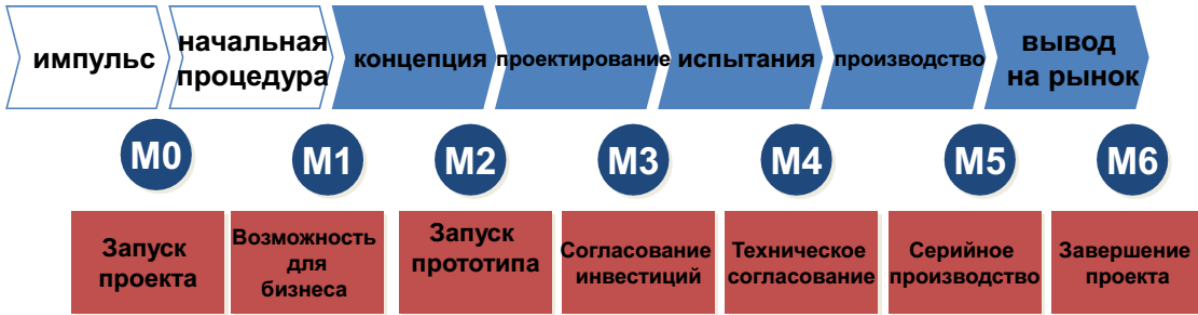


Рис. 15 – Процесс «Время в деньги» для важнейших проектов НИОКР



Рис. 16 – Отчёт о состоянии работы

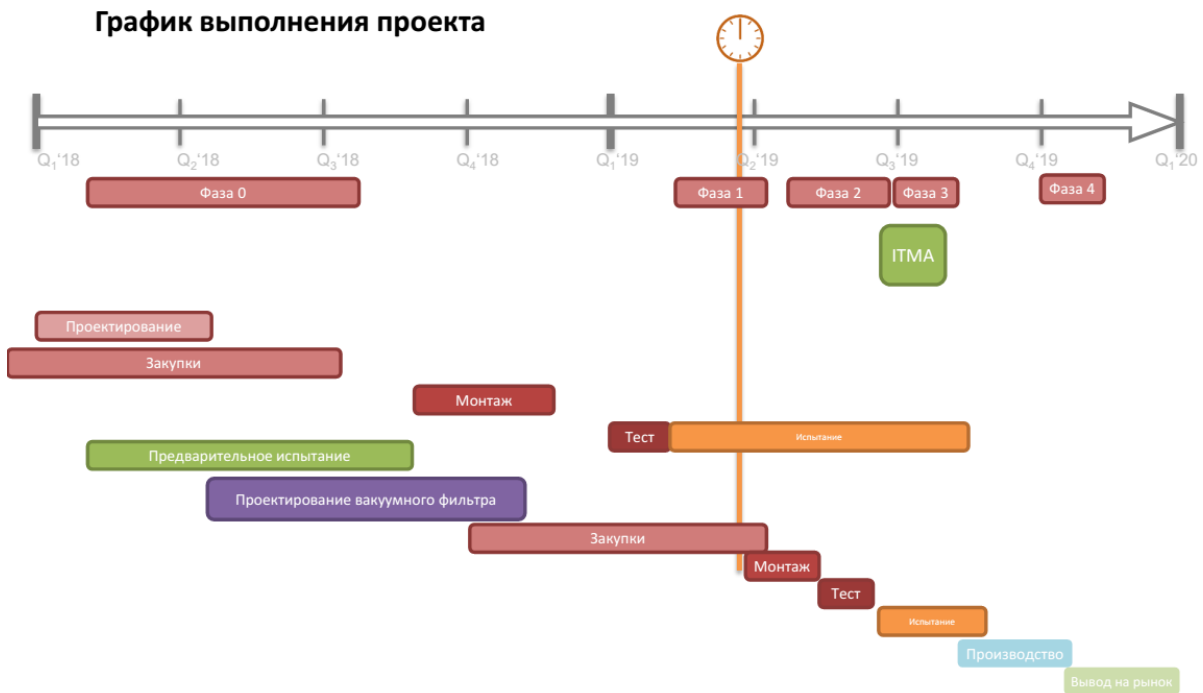


Рис. 17 – График выполнения проекта

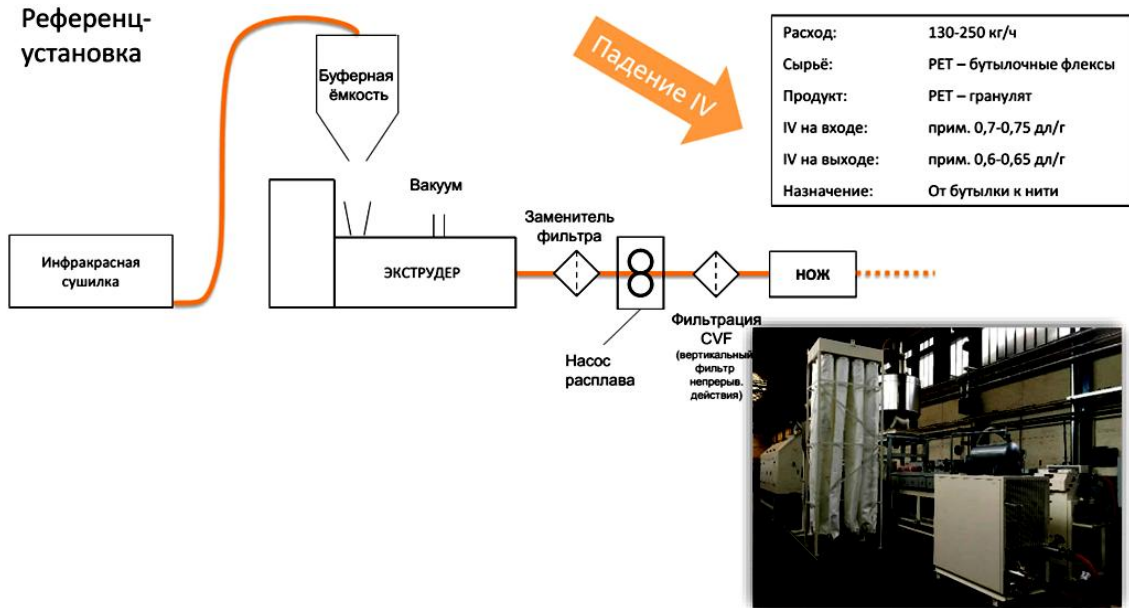


Рис. 18 – ВВЕ Прототип Технологическая схема Фаза 1

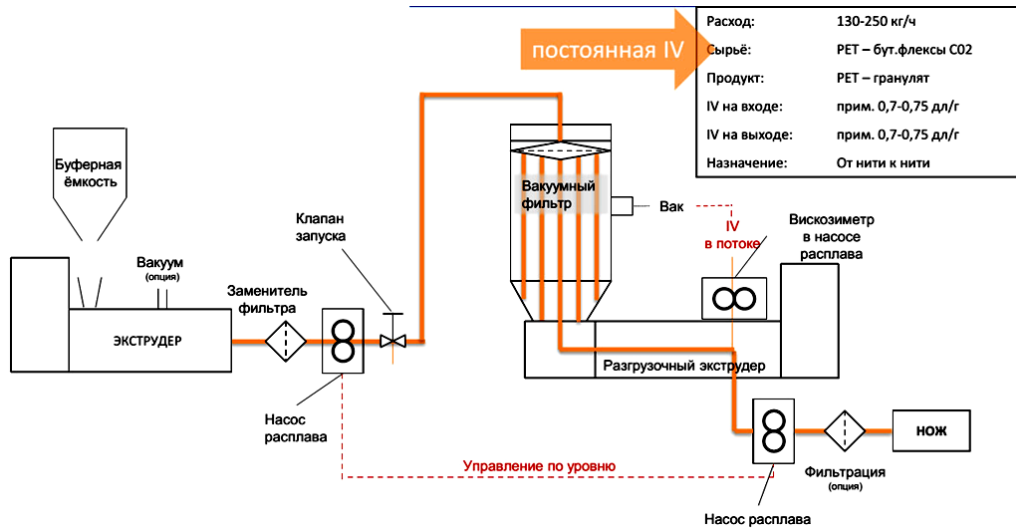


Рис. 19 – ВВЕ Прототип Технологическая схема Фаза 2

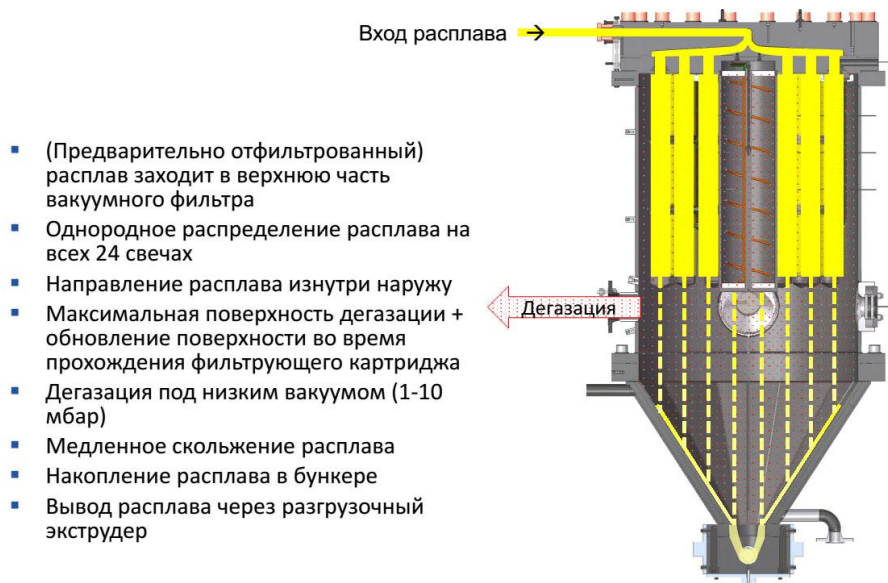


Рис. 20 – Инновационная концепция VacuFil переработки от компании VBEEngineering

Технические характеристики VacuFil:

- электрический нагрев для получения короткого времени реагирования при изменении температуры;
- масляный подогрев для очень постоянной температуры поверхности;
- смотровое стекло для наблюдения за процессом (только на прототипе);
- модульное исполнение для простоты настройки фильтрующей поверхности, расхода или шнека;
- лёгкое масштабирование;
- вывод расплава через разгрузочный экструдер.

Уникальность предложения VacuFil заключается в следующем:

- фильтрация расплава с большой поверхностью при самых низких значениях  $\Delta P$  в процессе (минимальный перепад давления, максимальная фильтрация);
- дегазация расплава с большой поверхностью;
- постоянное обновление поверхности потоком расплава;
- при фильтрации под вакуумом не нужны сосуды под высоким давлением → экономия расходов;
- незначительное воздействие на экологию;
- возможно интегрирование в существующие установки;
- облегчение других компонентов (сушилка, вакуумный экструдер, фильтр, ...)

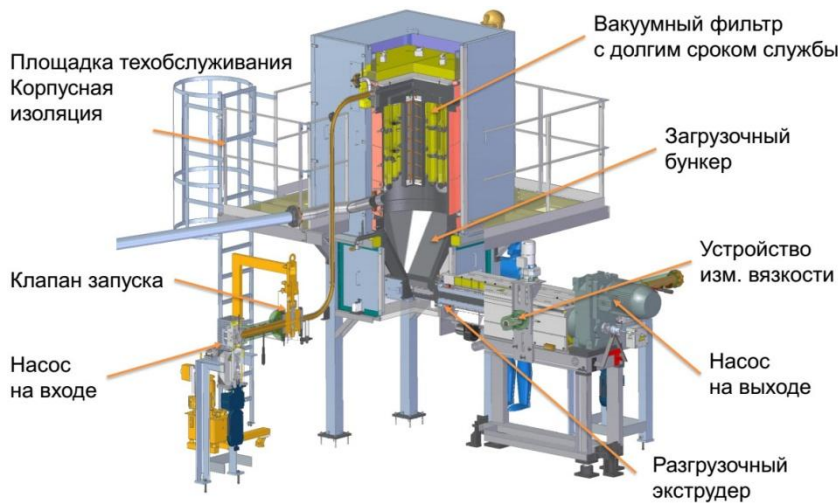


Рис. 21 – Детали конструкции и основные компоненты VacuFil

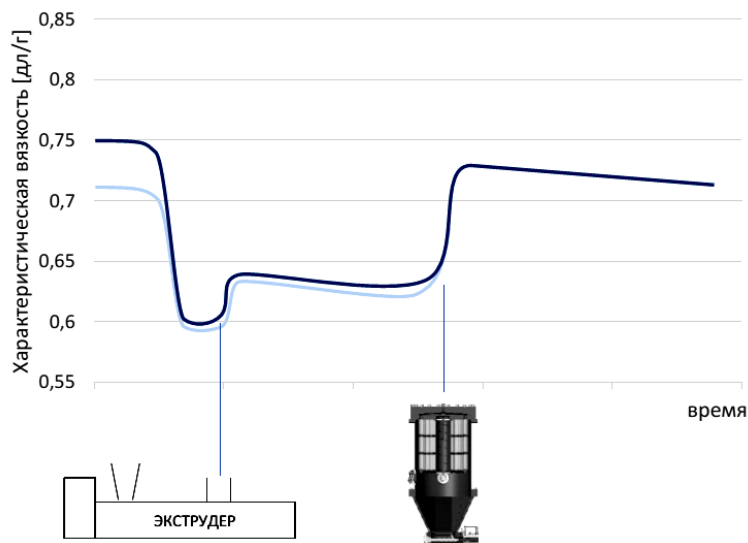


Рис. 22 – Характеристическая вязкость во время фазы плавления



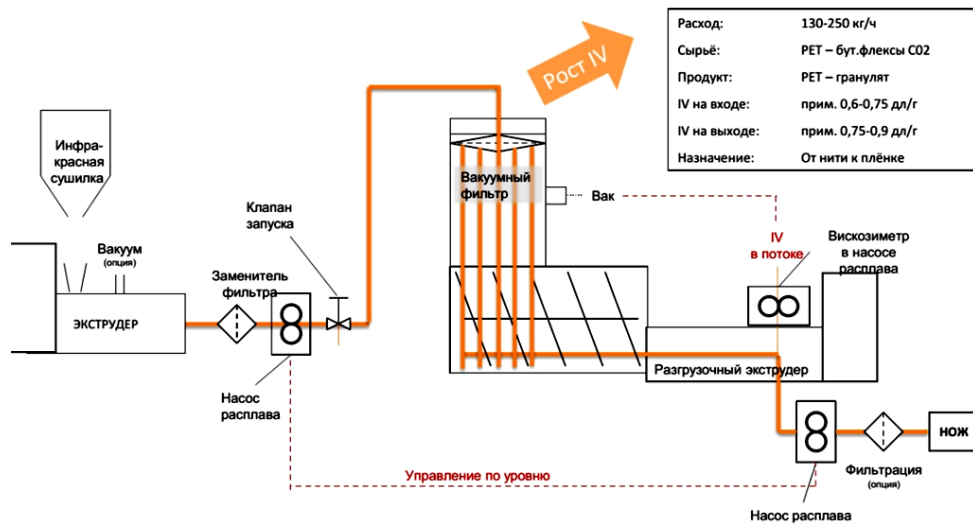


Рис. 23 – ВВЕ Прототип Технологическая схема Фаза 3

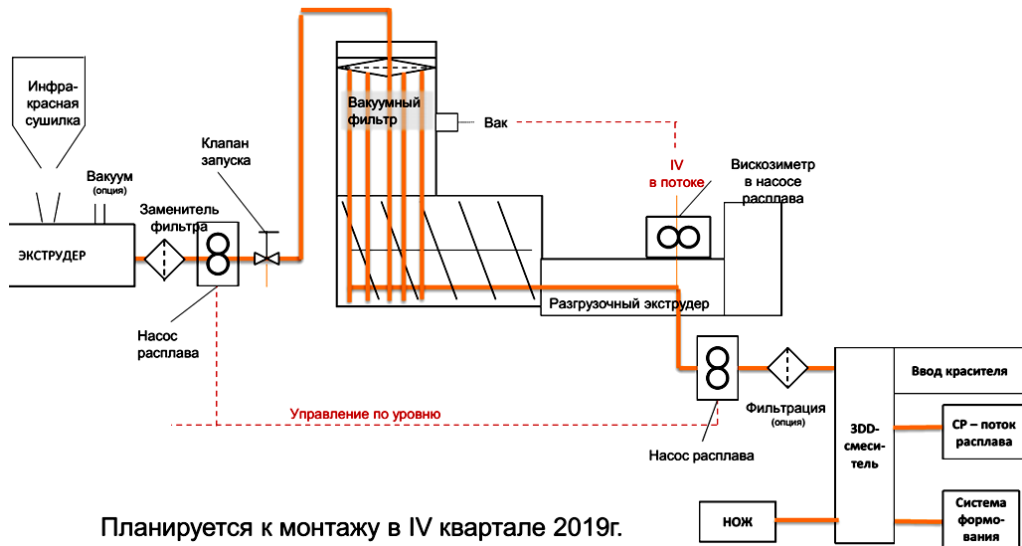


Рис. 23 – ВВЕ Прототип Технологическая схема Фаза 4



Рис. 24 – Выставочный стенд на ITMA 2018 в Барселоне

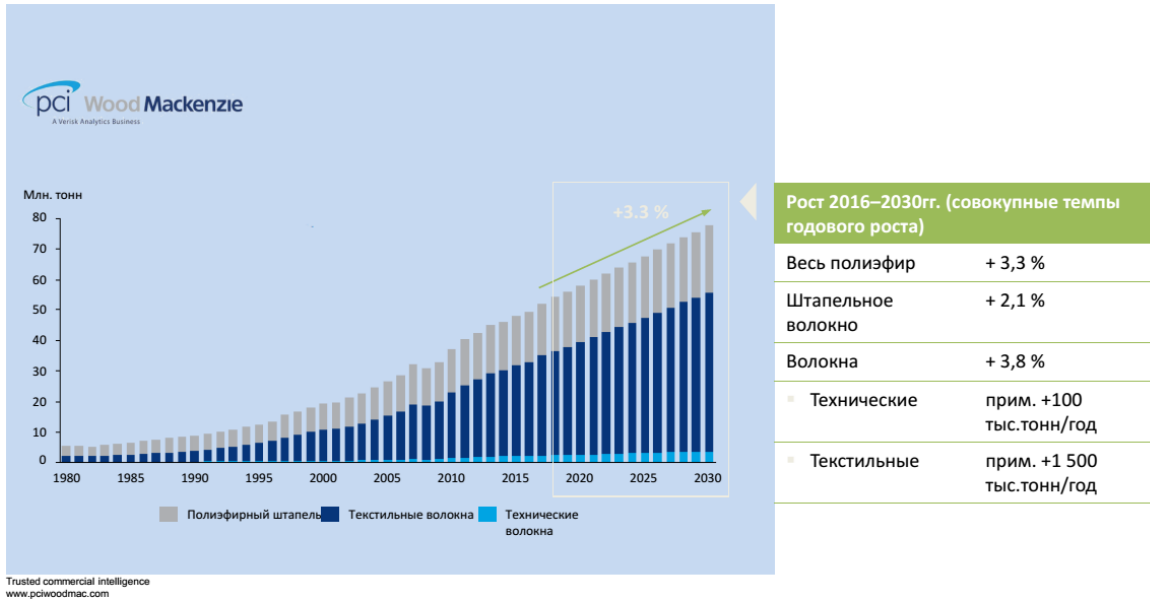


Рис. 25 – Прогнозные темпы роста производства текстильных волокон (PET)

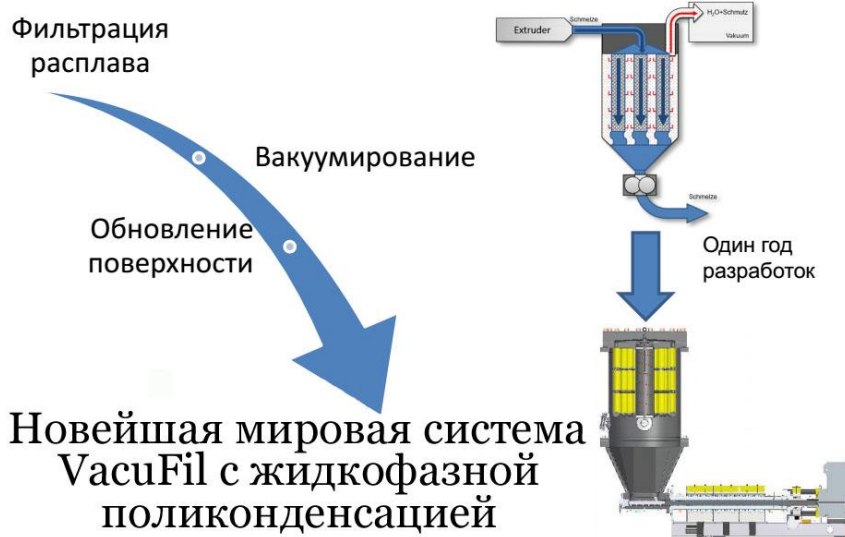


Рис. 26 – Переработка PET Сочетание функций

## От Valueengineering к ValueVATION

(от инжиниринга с повышением стоимости к взлёту стоимости)

**Культура инноваций как ДНК Компании и Управленцев ведёт к новым идеям, росту и новым деловым возможностям**

**Истории успеха начинают лидеры, а не последователи**

**Спасибо за внимание!**

Контактные данные:

д-р техн. наук, поч. д-р Клаус Шэфер  
T: +49 (0) 2191/95 10 – 444  
[Schaefer.klaus@bbeng.de](mailto:Schaefer.klaus@bbeng.de)



Дитмар Йенке, дипл. інженер  
 VBEEngineering, Германия

## ТРЕБОВАНИЯ К КВАЛИФИКАЦИОННОМУ ПОТЕНЦИАЛУ ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННОГО СОТРУДНИКА В СФЕРЕ СОВРЕМЕННОГО СПЕЦИАЛЬНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Необходимая квалификация и полученные специальные знания – лишь часть требований к профилю высококвалифицированного сотрудника в сфере специального машиностроения. На переднем плане стоит личность и её дальнейшее развитие.

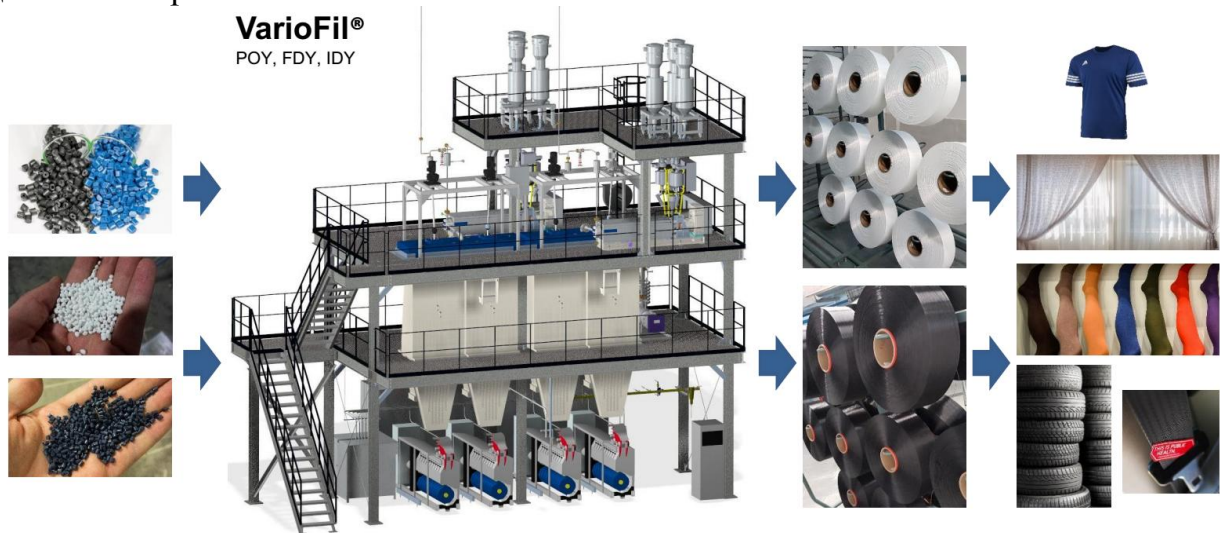


Рис. 1 – Структурная схема текстильного производства

- необходимые специальные знания
- 1. Транспортировка гранулята на кристаллизацию и сушку:  
 → термодинамика, технологические процессы в механике, химии и технологии твёрдых веществ
- 2. Подача и дозирование гранулята: → гравиметрия, технология транспортировки, гидродинамика
- 3. Расплавление, гомогенизация и выдавливание:  
 → экструзионная технология, технология пластмасс, приводные технологии
- 4. Подача через фильерные пакеты:  
 насосные технологии, аэрогидромеханика
- 5. Охлаждение и замасливание нити:  
 → технология кондиционирования воздуха, термодинамика, насосная техника
- 6. Вытягивание и намотка нити:  
 → подшипниковая техника, приводная технология, пневматика, вибрационная технология, динамика вращения
- 7. Управление установкой:  
 → Технологии автоматизирования, управления, сенсорная техника, электротехника

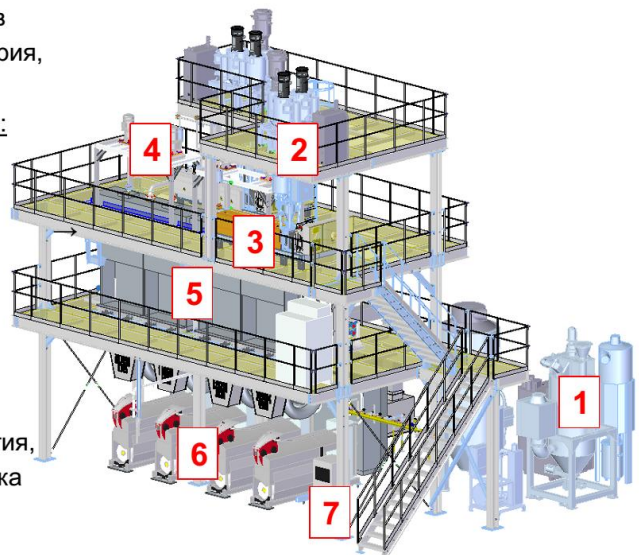


Рис. 2 – Комплексность машины формования с точки зрения проектирования и технологического процесса

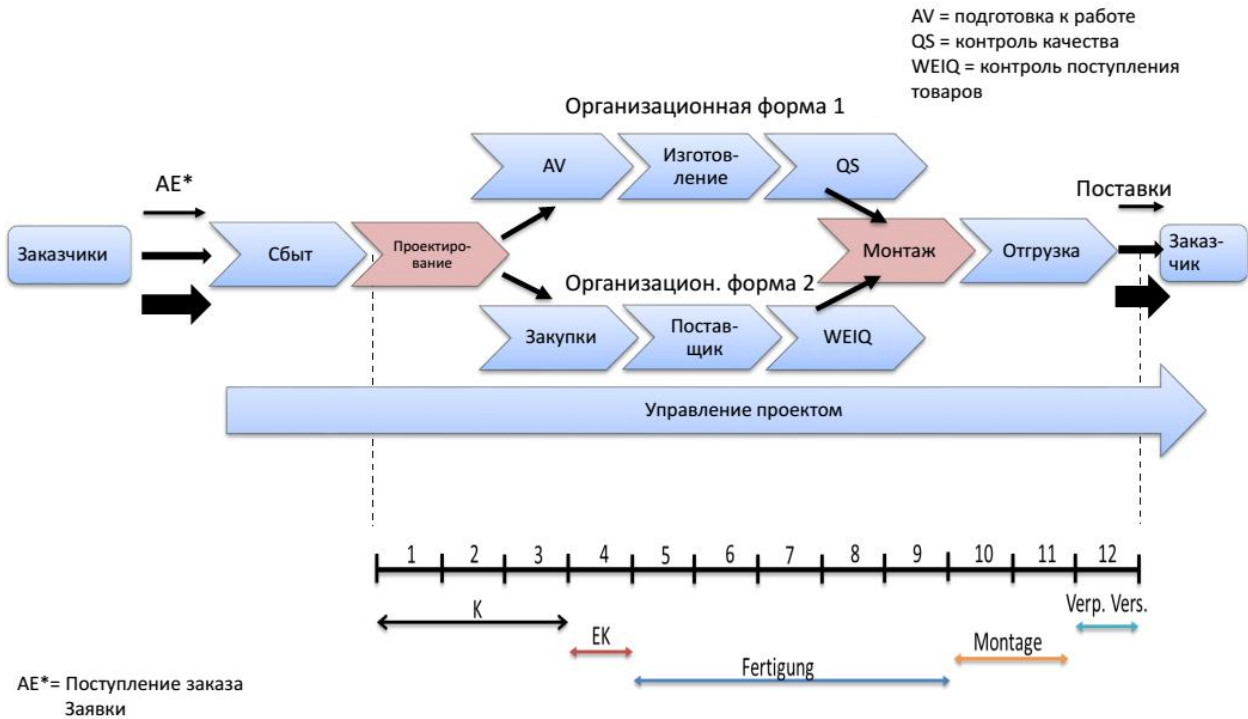


Рис. 3 – Последовательность операций и организация изготовления оборудования

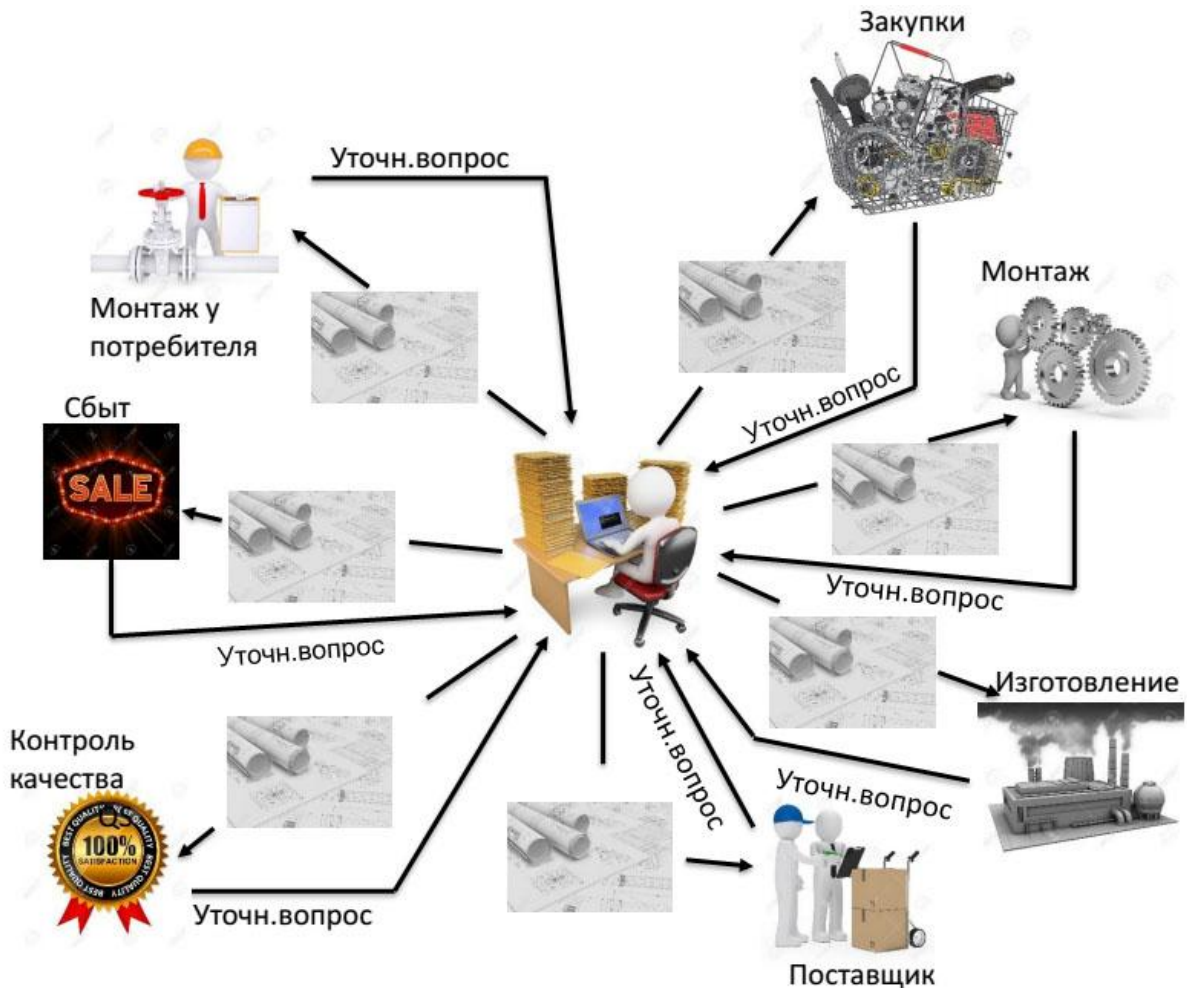


Рис. 4 – Структура организации / Рабочая среда



Рис. 5 – Поиск персонала при расширении, преемственности

- Первый шаг после размещения вакансии на определённую должность или пост – это отправка документов (резюме, сертификаты, свидетельства о прохождении практики и т.п.).



- Второй шаг – знакомство с личностью посредством собеседования.



- В качестве третьего шага должен выступать анализ того, насколько данная личность, на основании первого впечатления о ней, может соответствовать данной должности.

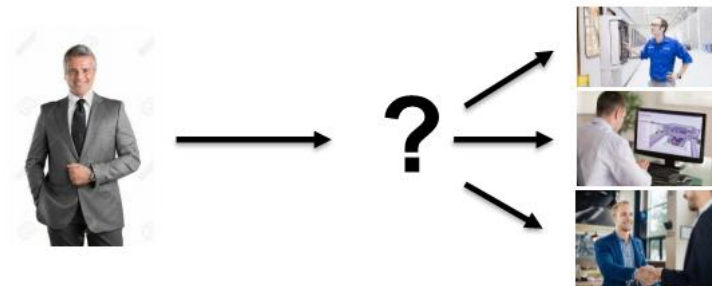
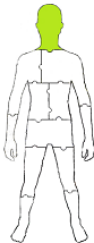


Рис. 6 – Шаги при подборе персонала



Рис. 7 – Професійні знання + Личність

**1. Образование /  
Професійні знання**



1. Як виглядає процес освіти в даний момент?
2. Що, яким чином і де було отримано в якості знань?
3. Який досвід демонструється на ВВЕ, і являється ли він хорошою отправною точкою для оволодіння новим колом завдань на ВВЕ?

**2. Собствена ініціатива**



1. Діє ли співробітник/співробітниця тільки після отримання докладних вказівок або конкретної формулювання завдань?
2. В стані ли співробітник/співробітниця самостійно усвідомити проблему і шукати її рішення?
3. В стані ли співробітник/співробітниця самостійно приймати рішення в межах свого кола обов'язків?

**3. Комунікабельність**



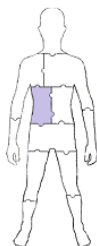
1. Наскільки хорошо співробітник/співробітниця можуть описати свою ситуацію своїм колегам, щоб продвинути в виконанні поставлених перед ними завдань?
2. Наскільки висока готовність співробітника/співробітниці при допомозі рад, інформації або уточнюючих запитань з боку колег покращити розуміння своїх робочих умов і поставлених перед ними завдань?
3. Умеє ли співробітник/співробітниця хорошо слухати і правильно інтерпретувати жесты і мимику людей, а також знаходити відповідний підхід до людей?

**4. Навьки роботи з людьми**



1. Є ли у співробітника/співробітниці розуміння різних стилів роботи і типів поведінки їх колег?
2. Може ли він/вона швидко налаштуватися на нове особисте оточення в разі швидко змінюваних завдань?
3. В стані ли він/вона навіть при сильній залежності від інших співробітників безперешкодно виконувати свої обов'язки?

### 5. Чувство ответственности



1. Ощущает ли сотрудник/сотрудница ответственность, которую его/её деятельность имеет для дальнейшего развития его/её задачи?
2. Размышляет ли он/она над тем, какую ответственность он/она имеет в своём круге деятельности?
3. Может ли он/она представить себе, кто и в каком отношении полагается на него/неё?

### 6. Надёжность



1. Представляет ли проблему для сотрудника/сотрудницы выполнение заданных операций или поставленных задач с постоянным уровнем качества?
2. Могут ли коллеги рассчитывать на то, что сотрудник/сотрудница всегда будет соблюдать поставленные цели и сроки?
3. В состоянии ли сотрудник/сотрудница устанавливать доверие в отношении своей работы и деятельности со стороны коллег или клиентов?

### 7. Увлечённость



1. Имеется ли сильная идентификация с выбранной профессией (увлечены ли сотрудник/сотрудница данной профессией, и соответствует ли она их склонностям)?
2. Насколько сильна увлечённость сотрудника/сотрудницы своим заданием, которая даже в случае возникновения проблем и неудач не даёт сбиться с намеченного пути?
3. Насколько силен положительный настрой в отношении поставленной задачи и желание решить её к удовлетворению всех участников?

### 8. Готовность к обучению



1. Имеется ли у сотрудника/сотрудницы готовность снова и снова сталкиваться с новыми для него/неё обстоятельствами и входить в курс дела?
2. Осознаёт ли сотрудник/сотрудница самостоятельно, что ему/ей не хватает знаний для осуществления поставленной цели, и ищут ли они при этом возможности приобрести необходимые знания?
3. В состоянии ли сотрудник/сотрудница принять предложение касательно личностного развития для улучшения своих профессиональных знаний?

### 9. Гибкость



1. В состоянии ли сотрудник/сотрудница быстро настроиться на новое для себя задание?
2. В состоянии ли сотрудник/сотрудница без особых сложностей настроиться на изменения в своём рабочем окружении?
3. Верно ли, что даже неожиданные события не представляют для него/неё проблемы, поскольку он/она реагирует на них принятием соответствующих мер?

### 10. Безотказность / Мотивация



1. Насколько сильно желание принимать новые вызовы?
2. Имеется ли готовность сотрудника/сотрудницы при необходимости принять на себя выполнение задания, на которое он/она изначально не рассчитывали?
3. Может ли сотрудник/сотрудница также при работе над тяжелыми проектами с неожиданными ситуациями реализовывать поставленные задачи для достижения необходимых целей?

**11. Отзывчивость**



1. Может ли сотрудник/сотрудница проникнуться методом работы или ситуацией своих коллег и скорректировать свой образ мышления и действий в соответствии с ними?
2. Замечает ли сотрудник/сотрудница изменения в своём окружении и пытается ли проникнуть в суть данных изменений, чтобы и в последующем хорошо выполнять поставленные задачи?
3. В состоянии ли сотрудник/сотрудница проникнуться различными движущими мотивами своих коллег и деловых партнёров?

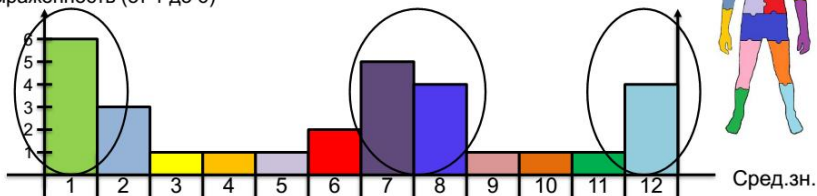
**12. Лояльность**



1. Обладает ли сотрудник/сотрудница готовностью принимать указания и задания, даже если в данный момент он/она не могут ясно понять их смысл?
2. Ставит ли сотрудник/сотрудница при осуществлении своей деятельности интересы предприятия на первое место?
3. Обладает ли сотрудник/сотрудница готовностью и дальше исполнять свои задания, даже если на рынке труда возникают новые для него/неё возможности (испытательный срок!)?

**Инженер-проектант**

Выраженность (от 1 до 6)



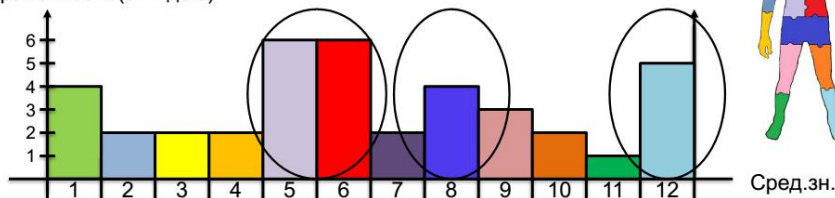
**Пояснение:**

- |                    |                          |                       |                           |                            |                |
|--------------------|--------------------------|-----------------------|---------------------------|----------------------------|----------------|
| 1= Професс. знания | 2= Собств. инициатива    | 3= Коммуникабельность | 4= Навыки работы с людьми | 5= Чувство ответственности | 6= Надёжность  |
| 7= Увлечённость    | 8= Готовность к обучению | 9= Гибкость           | 10= Безотказность         | 11= Отзывчивость           | 12= Лояльность |

Рис. 8 – Личностный профиль и профессиональные характеристики инженера-проектанта

**Конструктор**

Выраженность (от 1 до 6)



**Пояснение:**

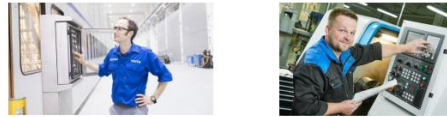
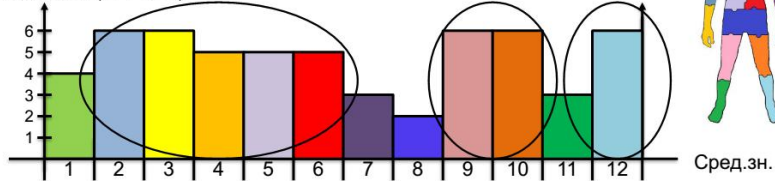
- |                    |                          |                       |                           |                            |                |
|--------------------|--------------------------|-----------------------|---------------------------|----------------------------|----------------|
| 1= Професс. знания | 2= Собств. инициатива    | 3= Коммуникабельность | 4= Навыки работы с людьми | 5= Чувство ответственности | 6= Надёжность  |
| 7= Увлечённость    | 8= Готовность к обучению | 9= Flexibilität       | 10= Безотказность         | 11= Empathie               | 12= Лояльность |

Рис. 9 – Личностный профиль и профессиональные характеристики конструктора



**Инженер-пусконаладчик**

Выраженность (от 1 до 6)



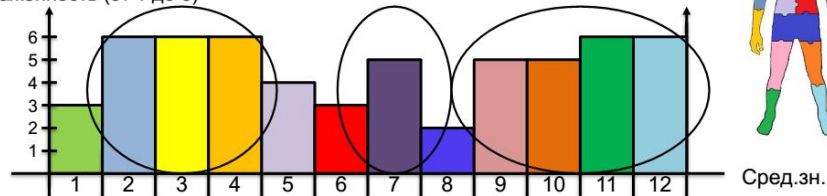
Пояснение:

- |                    |                          |                       |                           |                            |                |
|--------------------|--------------------------|-----------------------|---------------------------|----------------------------|----------------|
| 1= Професс. знания | 2= Собств. инициатива    | 3= Коммуникабельность | 4= Навыки работы с людьми | 5= Чувство ответственности | 6= Надёжность  |
| 7= Увлечённость    | 8= Готовность к обучению | 9= Flexibilität       | 10= Безотказность         | 11= Empathie               | 12= Лояльность |

Рис. 10 – Личностный профиль и профессиональные характеристики инженера-пусконаладчика

**Продавец**

Выраженность (от 1 до 6)



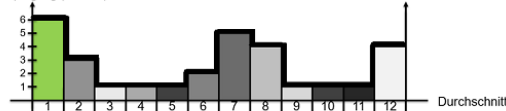
Пояснение:

- |                    |                          |                       |                           |                            |                |
|--------------------|--------------------------|-----------------------|---------------------------|----------------------------|----------------|
| 1= Професс. знания | 2= Собств. инициатива    | 3= Коммуникабельность | 4= Навыки работы с людьми | 5= Чувство ответственности | 6= Надёжность  |
| 7= Увлечённость    | 8= Готовность к обучению | 9= Flexibilität       | 10= Безотказность         | 11= Empathie               | 12= Лояльность |

Рис. 11 – Личностный профиль и профессиональные характеристики продавца

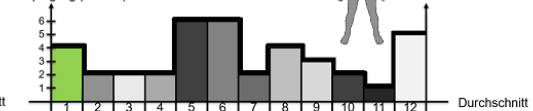
**Инженер-проектант**

Ausprägung (von 1-6)



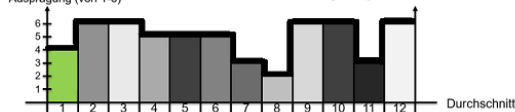
**Конструктор**

Ausprägung (von 1-6)



**Инженер-пусконаладчик**

Ausprägung (von 1-6)



**Продавец**

Ausprägung (von 1-6)

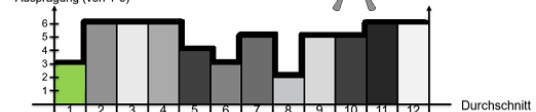


Рис. 12 – Общая систематизация личностного профиля и профессиональных характеристик персонала

Когда личный профиль превосходно подходит к поставленным задачам или занимаемой должности, это можно сравнить с надувной лодкой. После накачивания лодки воздухом (образование, профессиональные знания) всё зависит от того, для каких заданий (личность) она подходит наибольшим образом.



Никто не возьмёт простую байдарку для морских рейдов или рафтинга. Поэтому очень важно, чтобы обе заинтересованные стороны, - фирма и соискатель, - уделяли внимание личностному профилю, чтобы можно было создать положительное профессиональное будущее для обеих сторон!

**Заключение.** Каждый человек является индивидом. Содержание образовательной программы, способности и профессиональные знания, как правило, передаются в стандартном виде. Тем не менее, переработка полученных знаний осуществляется очень индивидуальным, личным образом. В профессиональной сфере дополнительно приходится осуществлять интеграцию/коммуникацию с коллегами, начальниками, клиентами, поставщиками и т.д. Поэтому важно учитывать соотношение поставленных задач и личностных характеристик уже в процессе осуществления выбора!

Полученные в рамках образования знания на различных квалификационных уровнях (школа, училище, специальное высшее учебное заведение, университет, и т.д.) имеют важное значение для осуществления задач в профессиональной сфере!

Для оптимального выполнения предписанной работы важное значение имеют профессиональные знания, полученные в процессе приобретения трудовых навыков в собственной сфере деятельности!

Когда две вышеуказанные начальные стадии подошли к своему завершению, всё больше начинает проявляться личность и связанные с ней положительные и отрицательные качества!

Различные профессиональные профили в рамках одного предприятия требуют различных степеней выраженности тех или иных личностных характеристик.

В процессе поиска и отбора новых необходимых кандидатов на должность для выполнения различных задач необходимо это учитывать, т.е. уделять особое внимание личности.

Развитие личности в профессиональном окружении представляет собой очень комплексный процесс. При этом необходимо, в особенности на этапе приобретения профессиональных трудовых навыков, наблюдать за этим процессом и, в случае необходимости, предложить сотруднику другой вид деятельности, при которой его индивидуальные положительные качества могут получить лучшее применение.

Участвующие в подборе и интегрировании персонала при его профессиональном развитии должны обладать большой степенью эмпатии, чтобы оптимально справляться с возникающими противоречиями между профессиональной пригодностью и личностными особенностями.

УДК 679.9

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

## **АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ БУРШТИНОВИХ КУЛЬОК – ГАРАНТІЯ НАЦІОНАЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ УКРАЇНИ**

Завдяки своїм багатогранним властивостям бурштин все більше привертає до себе увагу з точки зору його добування, обробки та використання. Це визначає актуальність, а саме:

- 1) раціональне природокористування при експлуатації природних копалин бурштину;
- 2) вилучення людини зі сфери ручної праці з пилом та небезпечними для здоров'я відходами на основі повної автоматизації з застосуванням цифрових технологій [1];
- 3) висока продуктивність (щонайменше на порядок вища за ручної праці) і якість готових виробів (прикрас).

Інноваційність запропонованих розробок полягає в механізації і автоматизації технологічного процесу на всіх етапах виробництва від сировини до готового виробу. Зокрема, за рахунок виключення людського фактору при сортуванні напівкоштовних камінчиків [4] продуктивність праці зростає на 250-300% і більше, що дає економію витрат до 2-3 млн. грн на рік з урахуванням діагностики якості та відбраковки мінералів з істотними дефектами. Використання принципу багатопозиційної паралельної, паралельно-послідовної безперервної автоматизованої обробки [2] з активним контролем підвищує продуктивність до 6-12 разів в залежності від кількості виробів, що одночасно обробляються, при високій якості. Крім того, забезпечується мінімізація відходів до 10-15%. При цьому окупність одного комплексу з продуктивністю 3200 шт/годину складає 0,6-0,8 року залежно від вартості комплектуючого обладнання.

Мета роботи – створення високопродуктивного верстата-автомата для шліфування бурштинових кульок після автоматичного сортування при мінімальних витратах на виготовлення верстата і його експлуатацію і забезпеченні високої якості за рахунок паралельної багатопозиційної обробки, активного контролю і комп'ютерного керування.

Після проведення статистичного аналізу було встановлено, що найбільш часто зразки, що зустрічаються – це камені довжиною від 10 до 20мм. Відповідно, саме під цей типорозмір доцільно розробляти обладнання, але також потрібно враховувати можливість переналадки для обробки менших і більших зразків. Концептуальна компоновка верстата складається із 3-х секцій, кожна з яких включає в себе 2 модуля обробки (рис. 1) [5]. В ході роботи був розроблений макет-приставка з автоматичною подачею по програмі.

При проведенні експерименту на верстаті мод. SKU фірми Avalon (Польща), обладнаним макетом-приставкою автоматичної подачі (рис.2) емпіричним шляхом встановлено, що середній час обробки однієї кульки за один цикл складає 110 секунд. При цьому необхідно врахувати, що дана приставка була виконана у вигляді макету, що перешкоджало збільшенню швидкості подачі і внаслідок цього збільшувало тривалість циклу обробки.

Виходячи з цього, логічно припустити, що в разі використання повноцінного якісно виготовленого і налаштованого устаткування тривалість циклу можна зменшити в 2-3 рази. Таким чином, якщо 1 цикл обробки становитиме в середньому 60 секунд, то використовуючи 6 модулів обробки можна отримати 360 кульок на годину і 2880 кульок за зміну (8 годин роботи).

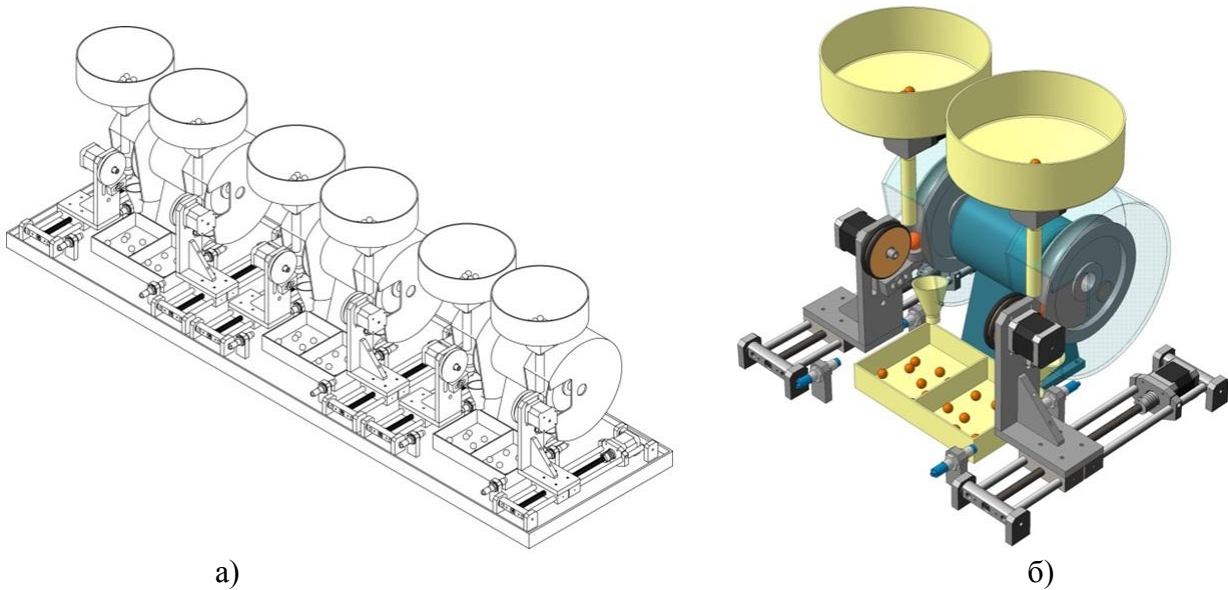


Рис. 1 – Компонівка багатопозиційного верстата-автомата паралельної дії: а – загальний вид верстата, що складається з 3-х секцій; б – загальний вид однієї секції верстата



Рис. 2 – Верстат моделі SKU фірми Avalon (Польща), обладнаний макетом-приставкою автоматичної радіальної подачі кульок

#### Список посилань

1. Борисов Б.П. Выбор и обоснование кинематической структуры станка-автомата для шлифования высокоточных шаров из янтаря / Б.П. Борисов, С.В. Цыплаков, Р.О. Яксон // Автоматизация технологических процессов: сборник научных трудов / КГТУ. – Калининград, 2006. – с. 64...70.
2. Кузнецов Ю.М. Спосіб шліфування янтарних кульок. Патент України на корисну модель №107052, опубл. 25.05.2016. Бюл. №10/2017
3. Кузнецов Ю.М., Гейчук В.М., Недобой В.А. Верстат для шліфування кульок з напівдорогоцінних каменів. Патент України на корисну модель №111912, опубл. 25.11.2016. Бюл. №22.
4. Патент України №116863, опубл. 27.04.2017, Бюл. №8.
5. Кузнецов Ю.М., Орел Я.В. Верстат для шліфування кульок з напівдорогоцінних каменів. Патент України на корисну модель №129617, опубл.12.11.2018, Бюл.№21.

УДК 621.7

Чухліб В.Л., докт. техн. наук

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,

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

## РОЗВИТОК НАУКОВОЇ ШКОЛИ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ ТИСКОМ У НАЦІОНАЛЬНОМУ ТЕХНІЧНОМУ УНІВЕРСИТЕТІ «ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Розвиток наукової школи обробки металів тиском у Національному Технічному Університеті «Харківський Політехнічний Інститут» (НТУ «ХПІ») нерозривно пов'язаний з розвитком кафедри обробки металів тиском та з тими особистостями, які її очолювали в різний час.

Перші згадки про спеціальність “Обробка металів тиском” у Національному Технічному Університеті «Харківський Політехнічний Інститут» зв'язані з самим заснуванням НТУ «ХПІ» у 1885 році, а його професор Петро Матвійович Мухачов, який також був ректором НТУ «ХПІ» на протязі 1905-1915 років, почав керувати роботами студентами та щорічно випускати по 2-3 інженера з обробки металів тиском (ОМТ).

Кафедру обробки металів тиском як самостійний підрозділ заснував у 1929 році його перший завідуючий Фельдман Ілля Йосипович. Перший етап розвитку наукової школи був пов'язаний з пошуками перспективних напрямків і становленням науково-дослідної роботи на кафедрі. У цей період під керівництвом першого завідувача кафедрою Фельдмана І.Й. виконувалися пошукові роботи в різних напрямках ОМТ: дослідження технологічних процесів кування й штампування, прокатки й пресування, дослідження й удосконалення конструкцій пароповітряних штампувальних молотів, пресів, нагрівальних пристроїв та ін.

Другий етап почався з 1959 року, коли кафедру очолив Хмара Самуїл Мойсейович. Хмара С.М. створив при кафедрі потужну галузеву науково-дослідну лабораторію “Твердосплавні штампи” (НДЛ ТШ) і став її науковим керівником. НДЛ ТШ була єдиною лабораторією такого роду в Україні. В ній на держбюджетному й госпдоговірному фінансуванні працювало близько 50 штатних наукових та інженерно-технічних співробітників, сумісників-викладачів і студентів-старшокурсників. У НДЛ ТШ виконувався повний цикл науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт, виготовлення дослідних зразків твердосплавних штамів, випробування їхньої стійкості й широке впровадження у виробництво. Це дозволило створити нові конструкції високостійких твердосплавних штамів й впровадити їх на виробничих підприємствах, де було зосереджено масове виробництво інструменту, машинобудівних й електротехнічних виробів. У 1964 року з ініціативи Хмари С. М. на кафедрі була створена група викладачів і наукових співробітників, що під керівництвом Євстратова В.О. почала дослідження в новому напрямку “Оптимізація технологічних процесів холодного видавлювання й конструкцій штамів”. Концентрація наукових сил і залучення до НДР на госпдоговірній основі працівників інших кафедр НТУ “ХПІ” дозволила виконати кілька фундаментальних піонерських науково-дослідних робіт, завдяки чому завоювали авторитет в масштабі всього колишнього СРСР. При кафедрі була створена галузева лабораторія холодного видавлювання (НДЛ ХВ), що стала науковим центром видавлювання, а Харків став центром проведення всесоюзних (загальносоюзних) науково-технічних конференцій. На базі НДЛ ХВ в НТУ «ХПІ» була організована Всесоюзна науково-технічна секція НТО МАШПРОМ “Холодне об'ємне штампування й видавлювання”. Саме в НДЛ ХВ вперше в СРСР було системно вирішене завдання стійкості штамів для холодного видавлювання, створені принципово нові процеси видавлювання і конструкції високостійких штамів для їхнього здійснення. Ці процеси й

штампи були впроваджені у виробництво на десятках заводах, де було сконцентровано масове виробництво складних деталей інструментальної, автотракторної й електронної промисловості.

З 1975 по 1985 р. завідував кафедрою Смолянінов Володимир Порфирійович. Він багато уваги приділяв учбово-методичній роботі й вихованню студентів. Великий внесок вніс у розробку методик використання обчислювальних машин у обробці металів тиском.

У 1985 року кафедру очолив Євстратов Віталій Олексійович. З його приходом отримав розвиток новий напрямок – автоматизоване проектування процесів видавлювання й конструкцій високостійких штампів для видавлювання (САПР ХВ). По цьому напрямку була створена одна з перших у НТУ «ХПІ» версій САПР штампів для холодного видавлювання. Євстратов В.О. проводив наукові дослідження в галузі теорії пластичної деформації і технології обробки металів тиском. Також Євстратов В.О. багато уваги приділяв психолого-педагогічним та організаційним засадам підвищення якості підготовки фахівців в технічних закладах вищої освіти.

З 2006 року кафедру очолював Плєснецов Юрій Олександрович. З його приходом отримала розвиток робота в області пластичної деформації металів, удосконалення та наукового обґрунтування теоретичних аспектів одного з найважливіших для машинобудівного комплексу технологічних процесів виробництва гнутих профілів. Отримані результати дозволили організувати виробництво принципово нових видів металопродукції зі спеціальними службовими властивостями – профілів високої твердості, із просічно-витягувальними елементами протиковзання, захисно-декоративними покриттями. Плєснецов Ю.О. виконав багато робіт з проектування обладнання для виготовлення гнутих профілів.

З 2018 року кафедру очолює автор цих рядків. Виконуються наукові роботи з визначення комплексу раціональних параметрів процесу кування з комбінацією операцій осаджування та протягування та варіацією напрямку деформування шляхом теоретичного та експериментального дослідження формозміни металу з вихідною нерівномірністю властивостей, що дає можливість одержання виробів з вуглецевих сталей, спеціальних та титанових сплавів з необхідними властивостями та економією матеріальних витрат. Проведені дослідження кування заготовок дозволили розробити технологічні процеси кування, що забезпечили підвищення якості одержуваної продукції за рахунок застосування спеціального режиму деформування. Були розроблені раціональні температурні та деформаційні режими кування вуглецевих сталей, спеціальних та титанових сплавів, а також виконано дослідження характеру пластичної деформації при куванні поковок та її впливу на геометричні параметри поковок залежно від форми заготовки і чинників процесу для покращення механічних властивостей виробів.

На кафедрі обробки металів тиском з 2009 року проводиться Міжнародна науково-технічна конференція «Ресурсозбереження та енергоефективність процесів та обладнання обробки тиском в машинобудуванні і металургії», яка проводиться кожний рік. Мета проведених конференцій полягала в аналізі сучасного стану і перспектив розвитку обробки тиском у машинобудуванні і металургії, а також в обміні досвідом і підвищенні рівня інформованості підприємств і організацій щодо можливостей технологічних процесів і обладнання обробки тиском по забезпеченню ресурсозбереження і енергоефективності в машинобудуванні і металургії. Вже було проведено 10 конференцій, а наступна конференція, яка буде проведена у листопаді 2019 року, присвячена 90-річчю створення кафедри обробки металів тиском НТУ «ХПІ».

**СЕКЦІЯ 1**  
**«ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ТА СИСТЕМИ МАШИНОБУДІВНОГО**  
**ВИРОБНИЦТВА»**

UDC 621.902

**Radzevich, S.P., Sci.Dr., Professor**  
 Stoneridge, Inc., USA [radzevich@usa.com](mailto:radzevich@usa.com)

**A POSSIBLE WAY OF EVOLUTION OF NOVIKOV GEARING**

The invented in the mid-1950<sup>th</sup> *Novikov* gear system was a breakthrough in the theory of gearing. The proposed by Colonel M.L. Novikov gearing features a huge potential in sense of power density in a gear pair (see [1], [2] for details). Besides *Novikov gearing* itself deserves to be investigated more in detail, a variation of this gear system that includes rolling elements (balls) is of particular interest, both, for the gear theory and for gear application as well.

A brief look at a schematic of parallel-axes Novikov/conformal/high-conformal gear pair with the boundary  $N$  – circle that overlaps the gears inspired the author<sup>1</sup> to investigate a possibility to replace the sliding between the gear teeth flanks with rolling. Potentially, such a replacement could be useful as the friction losses in rolling are commonly smaller compared to that in sliding.

As it is illustrated in Fig. 1, in a section by a transverse plane, both, the driving pinion, as well as the driven gear feature concave tooth profile. The line of action,  $LA$ , forms a transverse pressure angle,  $\phi_t$ , with a perpendicular to the centerline,  $\mathcal{C}$ .

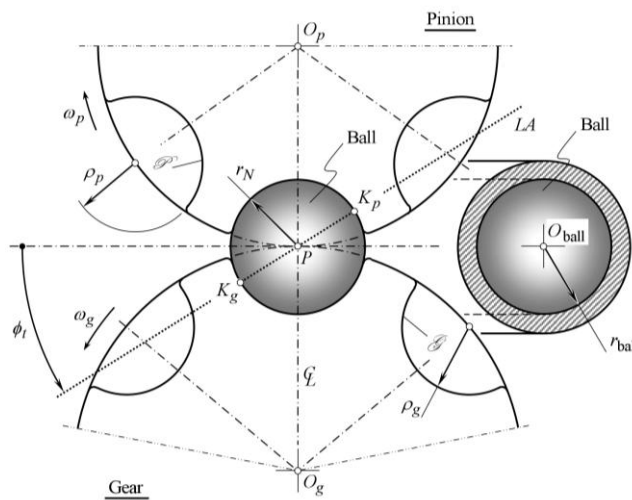


Fig. 1 – Schematic of *Novikov* gearing with balls

The balls of a radius  $r_{ball} = r_N$  interact with the gear and the pinion tooth flanks,  $\mathcal{G}$  and  $\mathcal{P}$ , at two point  $K_g$  and  $K_p$ . The parallel-axes conformal gear pair with intermediate balls feature two pseudo-paths of contact,  $P_{pc.g}$  and  $P_{pc.p}$ . In the case under consideration, the pseudo-paths of contact are two straight lines through the contact points  $K_g$  and  $K_p$  that are perpendicular to the plane of drawing in Fig. 1.

When the gears rotate, the balls travel in the axial direction of the gear pair parallel to the axis of instant rotation,  $P_{ln}$ . At this time, when the balls are situated within the face-width,  $F_{pa}$ , of the gear pair, the balls are supported solely by the tooth flanks,  $\mathcal{G}$  and

$\mathcal{P}$ . After a ball passed up through a channel formed by two helical surface  $\mathcal{G}$  and  $\mathcal{P}$ , it is returned to its initial position by a returning device. The returning device features a gap between the ends, the width of which is equal to or slightly exceeds the face-width,  $F_{pa}$ . Various means to return the balls can be designed.

The forces that act over a ball when it is supported by the tooth flanks,  $\mathcal{G}$  and  $\mathcal{P}$ , are analyzed in Fig. 2. Here, in Fig. 2, the driving pinion tooth flank,  $\mathcal{P}$ , pushes the ball with a certain resultant force  $\mathbf{F}_\Sigma$ . This force is resolved onto a normal component,  $\mathbf{F}_n$ , and a tangential

<sup>1</sup> In March 2, 2018. Patent pending.

component,  $F_t$ . The components  $F_n$  and  $F_t$  of the resultant force  $F_\Sigma$  are considered (normal/tangential) in relation to the ball.

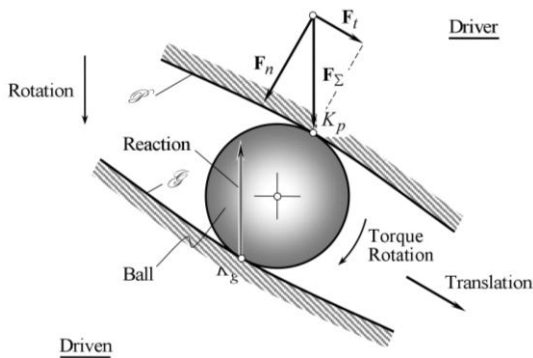


Fig. 2 –“Pocket” for a ball.

In order to ensure straight motion of a ball parallel to the axis of instant rotation,  $P_{ln}$ , the design parameters of the tooth flanks,  $\mathcal{G}$  and  $\mathcal{P}$  have to be designed so as to form the so-called “pocket” (see Fig. 2) for a ball that is currently interacting with the tooth flanks,  $\mathcal{G}$  and  $\mathcal{P}$ . The pocket is in lengthwise direction of the space between two neighboring teeth. This can be done considering the local geometry of the interacting surfaces  $\mathcal{G}$  and  $\mathcal{P}$  with the ball.

Every point of a ball is a convex umbilic point, for which “Dupin indicatrix”,  $Dup(\text{ball})$ , can be graphically interpreted as a circle of a certain radius. The circle centers at the contact point with the gear and with the pinion. Every point of the helical tooth flanks,  $\mathcal{G}$  and  $\mathcal{P}$ , are saddle-like points that feature section by a normal plane of both kinds, that is, convex and concave plane sections are observed.

The tooth flanks,  $\mathcal{G}$  and  $\mathcal{P}$ , have to be designed so, as to ensure concave normal plane section of the booth surfaces,  $\mathcal{G}$  and  $\mathcal{P}$ , in the direction of the ball travel. Under such a scenario, the ball is locked in the “pocket” and travels exactly parallel to the axis of instant rotation,  $P_{ln}$ .

The permissible directions of the pseudo-paths of contact,  $P_{pc.g}$  and  $P_{pc.p}$ , are determined with the help of indicatrices of conformity constructed at points  $K_g$  and  $K_p$ . Viewing along the straight line  $K_g K_p$ , the tooth flanks,  $\mathcal{G}$  and  $\mathcal{P}$ , are turned in relation to one another through an angle  $\bar{\mu}$ , that is similar to the angle of local relative orientation,  $\mu$ , of two smooth regular surfaces at point of their contact<sup>2</sup> [3].

When the balls are located within the face width,  $F_{pa}$ , of the gear pair, they are spaced from one another at a distance that equals to an axial pitch,  $p_x$ , of the tooth helix.

The design parameters of the gear tooth flank,  $\mathcal{G}$ , as well as the design parameters of the pinion tooth flank,  $\mathcal{P}$ , have to be determined so as to ensure the pseudo-paths of contact,  $P_{pc.g}$  and  $P_{pc.p}$ , within the sector for the permissible directions of the pseudo-paths of contact.

The main advantages of the discussed concept of conformal gearing with intermediate balls are due to friction of sliding is substituted by friction of rolling.

## References

1. Radzevich, S.P., High-Conformal Gearing: Kinematics and Geometry, CRC Press, Boca Raton, Florida, 2015 – 332 pages.
2. Radzevich, S.P., “An Examination of High-Conformal Gearing”, Gear Solutions, February, 2018, pages 31-39.
3. Radzevich, S.P., Theory of Gearing: Kinematics, Geometry, and Synthesis, 2nd Edition, revised and expanded, CRC Press, Boca Raton, FL, 2018 – 934 pages.

<sup>2</sup> The difference between the angles  $\mu$  and  $\bar{\mu}$  is solely because of a plane within which the angles are measured. The angle of local relative orientation,  $\mu$ , of two smooth regular surfaces,  $\mathcal{G}$  and  $\mathcal{P}$ , at point of their contact is measured between the principal directions within a common tangent plane to the surfaces. The angle  $\bar{\mu}$  is measured between the projections of the principal directions onto a plane that is perpendicular to the straight line  $K_g K_p$ . This plane is parallel to a common tangent plane in the contact “ball-to- $\mathcal{G}$ ”. It is also parallel to a common tangent plane in the contact “ball-to- $\mathcal{P}$ ”.



УДК 620.164.2:617.58-77

**Volodymyr Frolov, k.t.n.**

Nationale Technische Universität der Ukraine "Kiewer Polytechnisches Institut benannt nach Ihor Sikorsky", v.k.frolov@gmail.com

**Viktor Artiushenko**

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, vicart777@gmail.com

## **MESSSYSTEM ZUR ERFASSUNG VON MIKROBEWEGUNGEN BEI DER PRÜFUNG VON HÜFTPROTHESEN IM SIMULATOR**

Vor der Verwendung eines neuen Materials oder einer neuen Kombination künstlicher Hüftgelenke ist eine große Anzahl von Prüfungen erforderlich. In speziellen Simulatoren (Abb. 1) werden voreingestellte Belastungszyklen auf die Prothese angewendet, woraufhin die Verschleißfestigkeit gemessen und der Schaden analysiert wird.

Auch die Bedingungen für die Behandlung von Prothesen haben ihren eigenen Einfluss. Die Komponenten der Prothese werden mit 3-Achs-Drehmaschinen und 5-Achs-Mehrzweck-Bearbeitungszentren behandelt. In Abhängigkeit von den Zerspanungsdaten und den Materialien der Wechselschneidplatte werden Proben mit unterschiedlichen Eigenschaften der Verschleißfestigkeit und der Korrosionsbeständigkeit erhalten.

Um die optimalen Bearbeitungsparameter für verschiedene prothetische Materialien zu ermitteln, werden auch Simulatoren von zyklischen Belastungen verwendet, die den Prozess des menschlichen Gehens simulieren.



Abb. 1 – Simulator des menschlichen Gehens im Uniklinikum OVGU Magdeburg

Alle modernen Prothesen des Hüftgelenks sind nicht monolithisch, sondern mehrkomponentig. Die Dreikomponentenstruktur ist Standard: Pfanne, Kugel und Schaft.

Bauteilverbindungsstellen sind die Epizentren des Verschleißes. Daher ist es hier sinnvoll, zu forschen.

Der Kopf und der Schaft sind durch eine konische Verbindung zusammengeschlossen. Hier hat die Fretting-Korrosion (Reibungverschleiß) (Abb. 2) den größten Einfluss auf den Verschleiß. Für das Auftreten dieser Verschleißart genügen relative Oberflächenverschiebungen mit einer Amplitude von  $0,025 \mu\text{m}$  [1], die zur Zerstörung der Oxydschicht an den Stellen des beweglichen Kontakts führen. Um die Fretting-Korrosion zu bestimmen, ist es notwendig, die Größen der mikroskopischen relativen Verschiebungen zu bestimmen, die sich zwischen dem Kopf und dem Schaft während der zyklischen Belastung des Simulators ergeben.

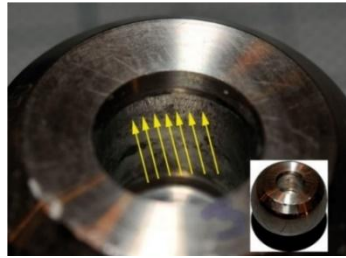


Abb. 2 – Sichtbare Fretting-Korrosionspuren am Prothesenkopf

Das Problem ist die Entwicklung von Messsystemen, um die Auswirkungen verschiedener Faktoren auf die Verschleißfestigkeit und Haltbarkeit von Prothesen zu bestimmen. Dies ist vor allem auf den begrenzten Raum für die Installation von Sensorsystemen im Simulator sowie auf die Bedingungen zurückzuführen, die während des Lastzyklus im Simulator vorhanden sind.

Um die Größe dieser mikroskopischen relativen Verschiebungen (Mikrobewegungen) zu bestimmen, wird ein Sensorsystem (Abb. 3) konstruiert, das auf Wirbelstromsensoren basiert, was gegenüber dem vorhandenen Analogon mehrere Vorteile aufweist.

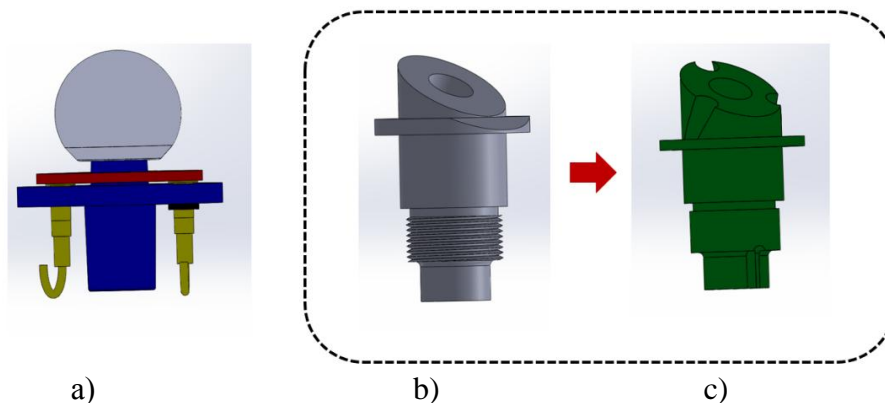


Abb. 3 – Der Aufbau des Sensorsystems zur Bestimmung relativer Verschiebungen (a – Schema des sensorischen Systems; b – existierender Analog; c – vorgeschlagene Konstruktion)

Diese Konstruktion sieht nur ein zusätzliches Stück vor, das gleichzeitig die Auflagefläche für den Einbau der Prothese in den Simulator ist, und verändert die Oberfläche der Halterung des Kegels (3, c), so dass sie als zusätzliche Halterung für den Sensor dient.

Vorteile der vorgeschlagenen Konstruktion:

- einfachere Struktur, wodurch Kosten und Zeit für die Herstellung von Versuchsproben reduziert werden;
- benötigt weniger Platz im Simulator, was die Installation des Prototyps erheblich vereinfacht und den Zugang zu seinen Komponenten ermöglicht, den Austausch von Komponenten ohne Demontage ermöglicht, den Simulationsprozess beschleunigt und dementsprechend einer neuen Prothese auf den Markt schneller gebracht wird;
- der Kegel kann auch für die "normale Messreihe" verwendet werden;
- beseitigt das Problem der unzuverlässigen und nicht festen Montage des Sensors;
- reduziert den durchschnittlichen Messfehler um das 1,73-fache.

Das entwickelte Sensorsystem kann zum Testen neuer Materialien und Materialkombinationen verwendet werden, um die Haltbarkeit der Prothese anhand der angegebenen Werte für die zyklische Belastung und einer Materialkombination von Kopf und Schaft vorherzusagen und die Reibungskorrosion zu bestimmen.

### Quellenverzeichnis

1. M. Windler, Korrosionsverhalten von modularen Verbindungen bei Hüftendoprothesen - DISS. ETH Nr. 15284, Zürich: ETH Zürich, Research Collection, 2003.

UDC 621.865.8

**Chupryna V.M., Doctor of Technical Sciences**

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

### **DYNAMIC QUALITY OF TECHNOLOGICAL CUTTING MACHINES IN AGGREGATE-MODULAR DESIGN**

The modern direction of world mechanical engineering is the aggregate-modular principle of the layout of technological processing machines (machine tools, industrial robots, and others). At knot designing it is necessary to have dynamic characteristics of the components of the knots to determine on their basis the dynamic characteristics of the machine as a whole [1]. In this case, you can estimate the static and dynamic quality of the future machine at the design stage design on the nodes. However, existing methods are not fully justified for obtaining accurate dynamic characteristics of nodes. The problem of determining the dynamic characteristics of a machine based on the dynamic characteristics of component nodes is also not solved.

The basic idea is to develop a fundamentally new approach to the evaluation of dynamic performance of machine tools and machine tool systems with aggregate-modular design. Its essence lies in the development of a methodology for modeling of static and dynamic characteristics of elastic tools system based on exact diakoptics methods and tensor analysis [2].

A tensor approach to the evaluation of spatial rigidity of the individual subsystems (units) of the machine in the form of surfaces of ellipsoids is offered [3]. An method for constructing the surface spatial compliance (stiffness) of the machine on its parts has been designed. This surface graphically maps the anisotropy of the spatial flexibility of the machine in the cutting zone, that is, the magnitude of the flexibility of the machine, depending on the direction of its measurement in the working space. The shape and the parameters of the surface directly affect the accuracy of the machining of parts [4].

The original method for determining the surface of the dynamic spatial flexibility of a machine is proposed, which is based on the surface of static compliance with the use of maximum dynamics coefficients along the main axes of the system, obtained on the basis of the dynamic characteristics of the machine by experimental or computational method. This surface reflects the maximum dynamic spatial flexibility of the elastic system of the machine and allows us to estimate the accuracy of machining parts on the machine in the dynamic modes of its operation.

The immediate relationship of the type surface shape of pliability of the machine and the cutting tool trajectory, which determines the accuracy of machining, was installed. The presence of such a link is confirmed experimentally by spectral analysis of the profiles parts that have been machined.

On the basis of the proposed approach, the basic provisions for improving the technological rigidity and precision machining process using a machine with parallel kinematics in the composition of the robotic machine complex are developed.

#### **List of links**

1. Kudinov V.A. *Dynamika stankov* / Kudinov V.A. – M.: Mashinostroenie, 1967. – 360p.
2. Poduraev Y.V. *Mechatronika: osnovy, metody, primeneniye*: Uchebn. pos. dla vuzov. / Y.V. Poduraev – M.: Mashinostroenie, 2006. – 256p.
3. Strutyns'ky V.B. Rozrobka tenzorno-geometrychnoi modeli prostorovoi gorstkosti shpindel'nogo vuzla metalorizal'nogo verstatu / Strutyns'ky V.B. , Chupryna V.M. // *Systemy obrobky informacii*. – 2016. – № 1(138). – P.47-52.
4. Strutyns'ky V.B. Tenzorno-geometrychna model prostorovoi gorstkosti metalorizal'nogo verstatu / Strutyns'ky V.B., Chupryna V.M. // *Systemy obrobky informacii*. – 2016. – № 2(139). – P.56-62.

UDK 621.914.1

Kalchenko V.I., doctor of technical sciences, professor  
 Sliednikova O.S., Phd in Technical Sciences  
 Vynnyk V.O., Phd student  
 Sklyar V.M., assistant

Chernihiv National University of Technology, vowavynnyk7@gmail.com

**THE RESEARCH OF THE PROCESS OF MILLING OF CAMS OF CAMSHAFTS WITH CROSSED AXES OF THE TOOL AND THE WORKPIECE**

In mechanical engineering, tractor, automotive, shipbuilding, and other industries, in the production of equipment for light industry are widely used various cylindrical surfaces of complex profiles, which are constantly increasing the requirements for accuracy and processing performance. In order to obtain high productivity while ensuring the required accuracy, it is necessary to develop effective universal methods for milling parts.

When processing cam shaft during rotation point of contact with the cam cutter comes out of the plane passing through the axis of rotation of the tool and the part, this leads to a change in the depth of insertion. In this case, the depth of insertion will always be greater than the value of the allowance taken.

Leading Junker (Germany) [1, 2] performs the processing of bearing journals and cams of the camshafts narrow grinding wheel, the height of which is less than the length of the bearings. When processing cams camshafts tool performs reciprocating motion in the plane passing through the axis of rotation of the grinding wheel and camshaft. In this case, the depth of cut and feed along the contour change with the machining coordinate, which reduces the accuracy of the machined surface and machining performance.

In articles [3, 4] a study of the process of shaping the grinding of camshafts and crankshafts.

In work [5] the new method of processing of cylindrical surfaces by the focused mill is developed. In this method, rough milling is carried out by the end surface of the tool and the periphery of the tooth, and finishing – periphery.

Figure 1, a shows a diagram of the processing of the camshaft 1 is rotated by an angle  $\alpha$  cutter 2. Processing of all the cams takes place in one installation.

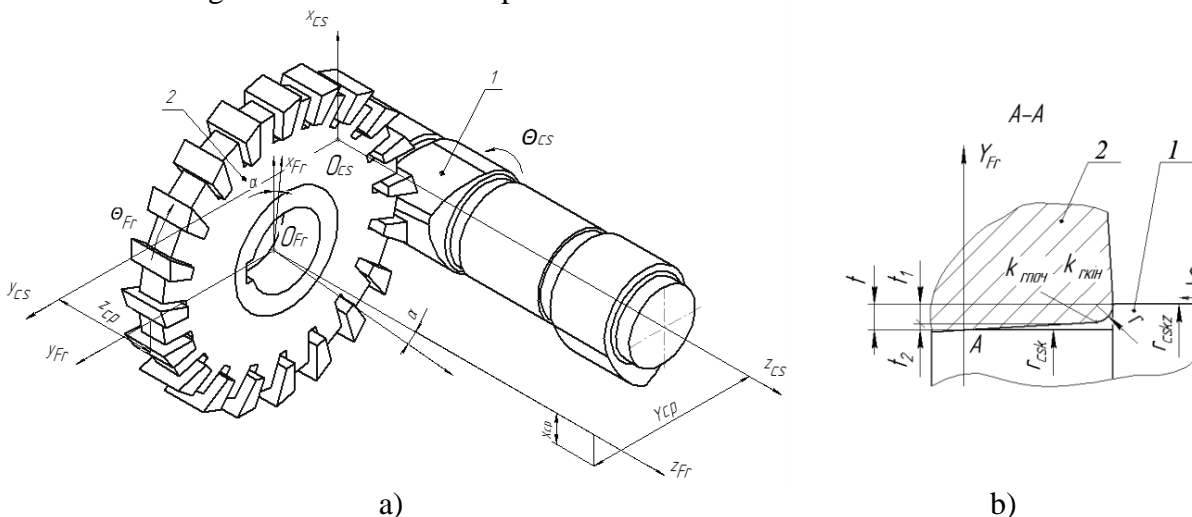


Fig. 1 – Scheme of milling cam camshaft with crossed axes of the cutter and parts

Section A-A Fig. 1, a is shown in Fig. 1, b, when finishing cutting the entire allowance  $t$  occurs periphery of the cutter, the axis of rotation of the tool is at point A to ensure the operation of the entire periphery of the cutter. That will allow for milling curved surfaces of parts on CNC machines to take into account only their shape, excluding the influence of the tool radius and its wear on the accuracy of shaping. This increases the accuracy of the treated surfaces and processing performance.

When the camshaft rotates  $1$  by an angle  $\theta_{cs}$  (fig. 2, a, b) the point of contact  $3$  of the cutter  $2$  with the cam of the camshaft  $1$  is moved by synchronous vertical and transverse movements of the tool  $S_{Fr}$ , it is always in the horizontal plane passing through the axis of rotation of the cutter and the center of curvature of the part, it provides a constant depth of cut and feed along the contour.

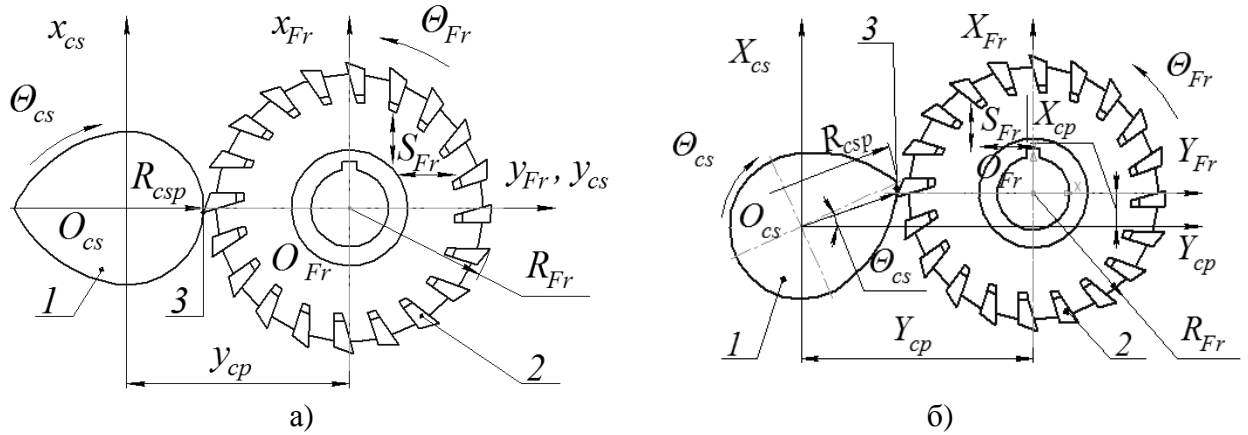


Fig. 2 – Scheme of processing of the cam

When processing the cam coordinates of the center of the cutter  $X_{cp}$ ,  $Y_{cp}$  change and depend on the angular coordinate of rotation of the cam of the cam shaft, when processing the cam section, the center of which coincides with the axis of the part  $Y_{cp}$  does not change, and  $X_{cp}$  is zero.

Using a cylindrical tool module, we describe a modular 3D model of the cutter surface:

$$\bar{r}_{IFr} = MC^I_{Z_{IFr}(k) \cdot \Theta_{Fr} \cdot R_{IFr}(k)} \cdot \bar{e}4, \quad (1)$$

where  $\bar{r}_{IFr}$  – radius-vector of the tool surface of the cutter;

$MC^I_{Z_{IFr}(k) \cdot \Theta_{Fr} \cdot R_{IFr}(k)}$  – cylindrical tool module of the cutter;

$\bar{e}4$  – radius-vector of the initial point of coordinates [6];

$R_{IFr}(k)$  –  $k$ -th radius of the tool surface of the cutter,

$\Theta_{Fr}$  – angle of rotation of the tool around the axis  $O_{Fr}Z_{Fr}$ ,

$Z_{IFr}(k)$  –  $k$ -th the axial coordinate of the tool surface of the cutter.

We describe the tool cylindrical module of the milling cutter forming by the product of single-coordinate matrices:

$$MC^I_{Z_{IFr}(k) \cdot \Theta_{Fr} \cdot R_{IFr}(k)} = M^3(Z_{IFr}(k)) \cdot M^6(\Theta_{Fr}) \cdot M^2(R_{IFr}(k)), \quad (2)$$

where  $M^1$ ,  $M^2$ ,  $M^3$ ,  $M^4$ ,  $M^5$ ,  $M^6$  – single-axis matrix that describes the movement along axes  $X_{Fr}$ ,  $Y_{Fr}$ ,  $Z_{Fr}$  and turns around them  $O_{Fr}X_{Fr}$ ,  $O_{Fr}Y_{Fr}$ ,  $O_{Fr}Z_{Fr}$ , respectively [6].

The nominal surface of the processed Cam is described by the product of the radius vector of the tool surface of the cutter, the orientation module and the forming module:

$$\bar{r}_{DFr} = MC^F_{Z_{cp}(\Theta_{DFr}) \cdot \Theta_{DFr} \cdot Y_{cp}(\Theta_{DFr})} \cdot MS^O_{\alpha \cdot X_{cp}(\Theta_{DFr})} \cdot \bar{r}_{IFr}, \quad (3)$$

where  $X_{cp}$ ,  $Y_{cp}$  – the center distance of the cutter and the part in the vertical and horizontal plane, respectively;

$\Theta_{DFr}$  – the angle of rotation of the part;

$\alpha$  – the angle of inclination of the cutter relative to wescot of inclination of the cutter relative to the axis  $O_{Fr}Y_{Fr}$ ;

$Z_{cp}$  – feed, which describes the movement of the part along the  $O_{cs}Z_{cs}$  axis relative to the cutter.

The orientation module:

$$MS^O_{\alpha \cdot X_{cp}} = M^5(\alpha) \cdot M^1(X_{cp}(\Theta_{DFr})). \quad (4)$$

Forming module:

$$MC^F_{Zp(\Theta_{DFr}) \cdot \Theta_{Df} \cdot Y_{cp}(\Theta_{DFr})} = M^3(Z_{cp}(\Theta_{DFr})) \cdot M^6(\Theta_{DFr}) \cdot M^2(Y_{cp}(\Theta_{DFr})). \quad (5)$$

Fig. 3 shows a 3D model of the cam surface of the camshaft formed by the movement of the contact line along the equidistant to the cam surface.

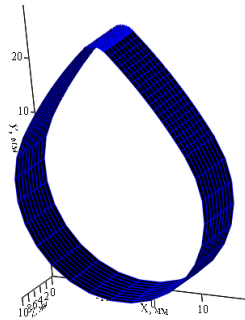


Fig. 3 – 3D model of cam surface of camshaft

According to the method given in [5], the obtained graphs of the dependence of the magnitude of the deviation from roundness in the milling phase of the cam, the center of which coincides with the center of the cam (Fig. 4, a, 4, c) and when processing the area of the cam of the greatest radius (Fig. 4, b, 4 d) of the tool speed (Fig. 4, a, b), diameter of the cutter (Fig. 3, c, d).

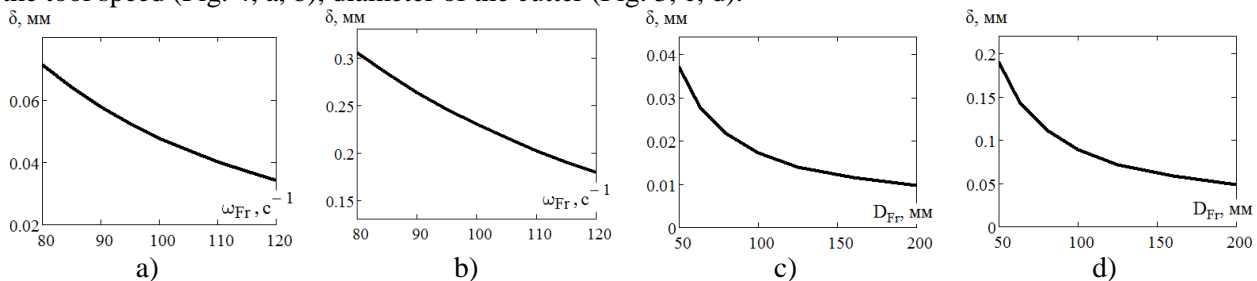


Fig 4 – The dependence of the deviation  $\delta$  from the cam roundness of the speed  $\omega_{Fr}$  (a, b) and the diameter of the cutter  $D_{Fr}$  (c, d)

A new method of milling the camshaft in one set oriented tool based on the analysis of modular 3D-modeling, it will stabilize the removal of allowance and supply along the contour.

The proposed method of milling camshafts on CNC machines eliminates the influence of the radius of the cutter and its wear on the accuracy of shaping the processed curved surface, takes into account only the shape of the part. This technique can also be used in the processing of crankshafts and other cylindrical surfaces of a complex profile in the processing of oriented tools.

### List of references

1. Шлифование распределительных валов кругами из кубического нитрида бора// Проспект фирмы «Junker maschinen» на станки «JUCAM 1000», «JUCAM 3000», «JUCAM 5000», «JUCAM 6000». Erwin Junker. Maschinen fabric Gmbh, Junkerstraße 2. 77787 Nordrash. Germany. 2006, 8 с.
2. CBN crankshaft grinding// Prospect firm «Junker maschinen» on machines «JUCRANK 1000», «JUCRANK 3000», «JUCRANK 5000», «JUCRANK 6S/L/XL». Erwin Junker. Maschinen fabric Gmbh, Junkerstraße 2. 77787 Nordrash. Germany. 2012, 12 p.
3. Кальченко В.І. Модульне 3D-моделювання інструментів, процесу зняття припуску та формоутворення при шліфуванні зі схрещеними осями розподільчого вала і круга / В.І. Кальченко, Д.В. Кальченко, О.С. Следнікова // Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2015 – Вып. 85. – С. 98-106.
4. Кальченко В.І. Модульне 3D-моделювання інструментів, процесу зняття припуску та формоутворення при шліфуванні зі схрещеними осями колінчастого вала і круга / В.І. Кальченко, Д.В. Кальченко // Резание и инструмент в технологических системах. Межд. научн.- техн. сб. – Харьков: НТУ «ХПИ» . – 2014. Вып. 84 – с. 107-114.
5. Кальченко В.В. Дослідження процесу фрезерування циліндричних поверхонь зі схрещеними осями інструмента та вала / В.В. Кальченко, Н.М. Сіра, Д.В. Кальченко, О.О. Аксьонова // Технічні

науки та технології: науковий журнал / Черніг. нац. технол. ун-т. – Чернігів : Чернігів. нац. технол. ун-т. – 2018. – № 4 (14). – С. 18-27.

б. Грабченко А.И., Кальченко В.И., Кальченко В.В. Шлифование со скрещивающимися осями инструмента и детали (Монография). – Чернигов: ЧДТУ, 2009. – 256 с.

UDC 621.7, 62-4

**Osypenko V., Doctor of Technical Sciences, Professor**  
**Plakhotnyi O., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor**  
**Timchenko O., assistant**  
 Cherkasy state technological university, alec.timchenko@gmail.com

### FEATURES OF THE SINGLE CRATER GEOMETRY FORMATION IN WIRE ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING USING MODERN CURRENT GENERATORS

The surface of the parts obtained by the electrical discharge machining (EDM) has characteristic features. It is formed by sequential overlaying of craters formed by separate discharges. The shape and geometry of craters determine the productivity of the process and the microgeometry of the formed surfaces. Essentially, craters are complex multifactorial functions of technological processing parameters among which dominant are the heat source parameters and the thermophysical characteristics of the surface layers of the workpiece [1].

Taking into account the complexity of the problem, the authors set the goal to determine the peculiarities of the influence of the mentioned above technological parameters on the shape, volumes of individual erosion craters and the temperature distribution in the zone of impact of the discharge plasma channel using modern current generators. This is achieved using methods of mathematical modeling and based on the known results of experimental and theoretical studies. The shape of the crater depends on the heat source power distribution, the thermophysical parameters of the material of the electrode, the duration of the pulse current, etc. [2].

The development of electrical components allows even in relatively cheap machines to implement regimes with a maximum current of 1000 A and a pulse duration of 0.05  $\mu$ s. Table 1 shows the parameters of the technological current generator of the AccuteX GE-43SA Electrical Discharge Cutting Machine, which is a typical representative of the middle-priced equipment.

Table 1 – Power parameters for the finishing, semifinishing and main cut regimes for steel machining using EDM complex AccuteX GE-43SA

Regime No.	Pulse duration, $\mu$ s	Current amplitude, A	Energy applied on anode, $E_a$ , mJ	Crater diameter, $\mu$ m	Power density, $q$ , $10^{12}$ W/m <sup>2</sup>
1	0,05	33	0,02	20	1,27
2	0,6	400	4,95	58	3,07
3	1,2	800	28,831	101	3,03

Using the mathematical model presented in [1], the simulation of thermal fields which emerge from the impact of a single pulse according to regimes 1-3 (Table 1) in qualitative medium carbon steel 45 (GOST 1050-88) [3] was conducted. Mathematical model [1] is the solution of an axisymmetric quasi-triple phase nonlinear heat conduction problem with moving phases' boundaries (Stefan's problem).

Fig. 1 shows the formation of the evaporation and melting boundaries and isotherm 727°C at the moment of pulse ending.

Assuming that the shape of the crater is axisymmetric, one can calculate the volume of the material undergoing phase transformation. The data obtained are summarized in Table 2.

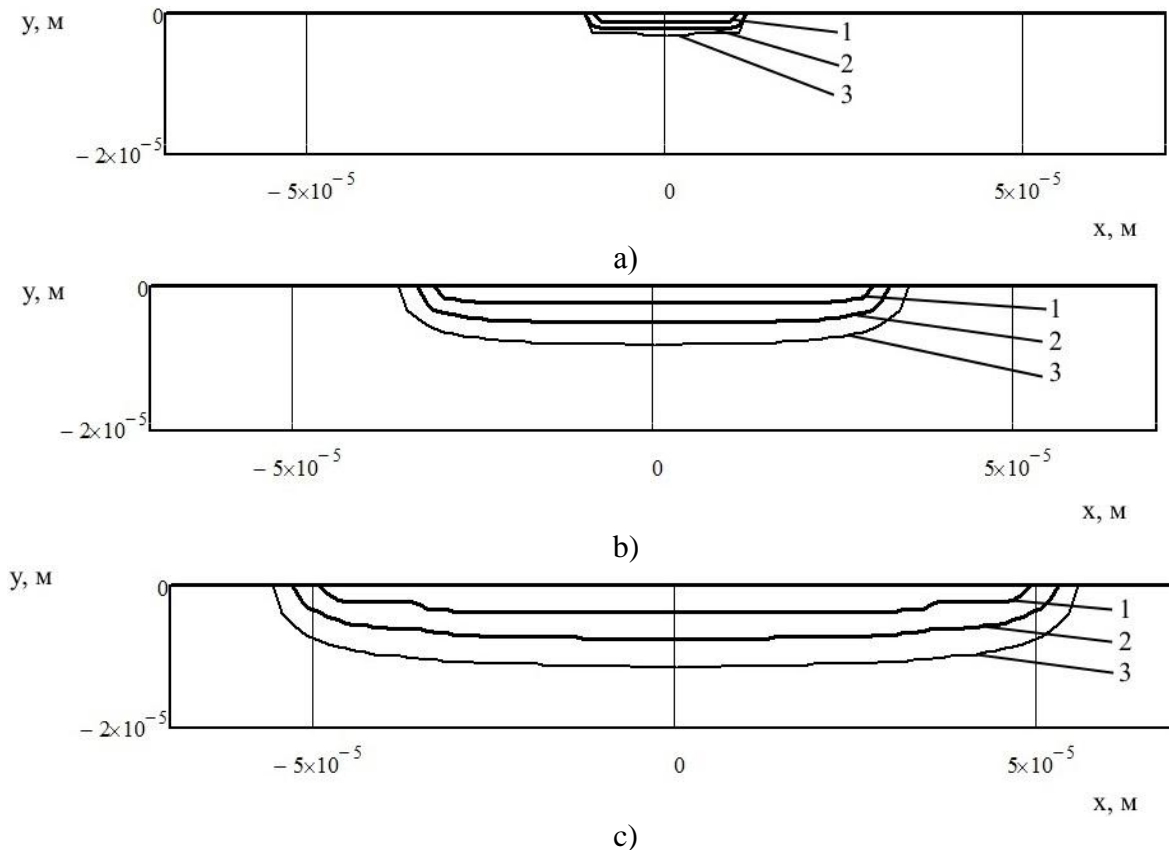


Fig. 1 – Formation of phase transitions boundaries at regimes №1 (a), №2 (b), №3 (c) (table 1): 1 – evaporation zone boundary ( $T_{\text{evap}} = 2735^{\circ}\text{C}$ ); 2 – melting zone boundary ( $T_{\text{mel}} = 1527^{\circ}\text{C}$ ); 3 – isotherm  $727^{\circ}\text{C}$  (at the moment of pulse ending)

At the end of the pulse, the discharge channel collapses and part of the melted material is thrown into the working fluid, another part of the melted material forms a ledge around the crater, and some part remains at the bottom of the crater and re-solidifies.

Table 2 – Calculated volumes of phase transitions of anode material

№	Depth of heating above $727^{\circ}\text{C}$ , $\mu\text{m}$	Volume of molten material, $10^{-18} \text{ m}^3$	Volume of evaporated material, $10^{-18} \text{ m}^3$
1	3,16	881	414
2	8,36	15400	6940
3	11,67	53800	23400

Consequently, the actual depth of the crater will be between the melting zone and the evaporation zone boundaries. This also needs to be taken into account when evaluating the thickness of the heat affected zone. The crater volume obtained by modeling correlates well with the actual cutting performance and technological characteristics of the AccuteX GE-43SA Electrical Discharge Cutting Machine.

#### List of references

1. Osypenko V. Fyzyko-tekhnolohichni osnovy elektroerozijnoho drotjanoho vyrizannja: Autoref. dis... doc. of tech. sc. / V. Osypenko; Nat. tech. univ. of Ukraine "Kyiv. politech. inst.". – Kyiv, 2006. – 420 p.
2. Stavyzkyj B. Issledovanie form i razmerov erozionnyx lunok, obrazovannyx na razlichnyx materialax iskrovymi razjadami / Stavyzkyj B., Stavyzkaja N. // Elektronnaja obrabotka materialov. – 1980. – №1. – P. 9–1.
3. Popovich V. Tekhnolohija konstrukzijnyx materialiv i materialoznavstvo: pidruchnyk / V. Popovych, V. Popovych. – Lviv : Svit, 2006. – 624 p.



УДК 621.9

Дмитрієв Д.О., докт. техн. наук, професор  
 Русанов С.А., канд. техн. наук, доцент  
 Федорчук Д.Д., аспірант

Херсонський національний технічний університет, vistelon.fd@gmail.com

### ПРОГНОЗУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ І ЗАКОНОМІРНОСТІ КЕРУВАННЯ ПРОСТОРОВИМИ СИСТЕМАМИ ПРИВОДІВ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАДАЧ

Механізми паралельної структури (МПС) мають високі функціональні властивості і можуть бути застосовані в різних технологічних операціях майже усіх галузей промисловості [1]. На даний час основна увага приділяється багатокоординатним просторовим системам приводів структури "гексапод". Однак залишаються практично не використаними властивості плоских механізмів з МПС, які можуть бути використані в операціях, зварювання, оздоблювання, будівництві та інших видів обробки як мобільні малометалеємні конструкції у важкодоступних та в умовах які створюють небезпеку для здоров'я людини.

В даній роботі наведено алгоритми і розв'язання прямої та зворотної задач кінематики для двокоординатного механізму типу "біглайд" стосовно визначення координат, швидкості прискорень усіх ланок.

Основою на розв'язанні прямої задачі кінематики, можна дати оцінку граничним можливостям переміщення платформи з робочим органом [2].

Розглянемо спрощену схему каркасної установки зображеної на рис. 1 для випадку  $l_p = 0$ ,  $\alpha = 90^\circ$ .

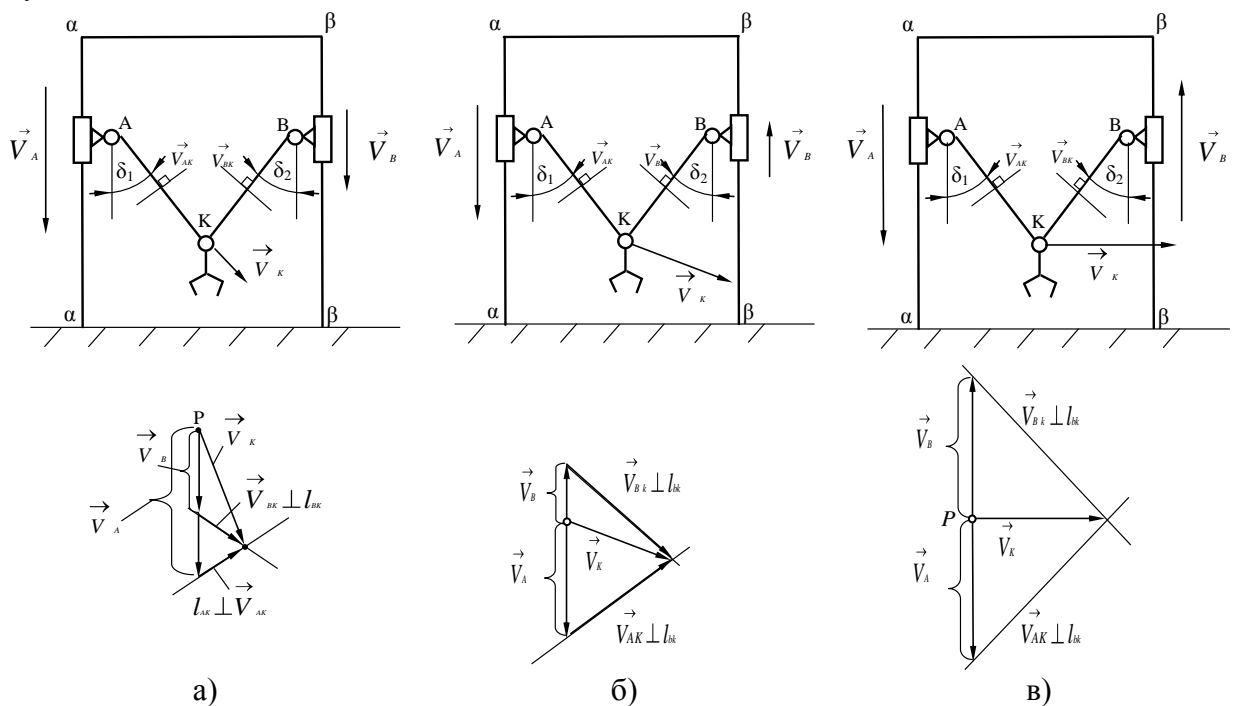


Рис. 1 – Схеми каркасної установки, планів швидкостей ланок МПС та вектору швидкості

вихідної ланки  $\vec{V}_K$  для різних випадків:

а)  $\vec{V}_A \downarrow \downarrow \vec{V}_B$ ,  $\vec{V}_A > \vec{V}_B$ ; б)  $\vec{V}_A \downarrow \uparrow \vec{V}_B$ ,  $\vec{V}_A > \vec{V}_B$ ; в)  $\vec{V}_A \downarrow \uparrow \vec{V}_B$ ,  $\vec{V}_A = \vec{V}_B$

При розв'язуванні зворотної задачі кінематики шуканими параметрами є  $V_A$  і  $V_B$ , а заданими  $V_K$ , а побудова здійснюється за алгоритмом у зворотній послідовності.

Швидкість точки  $K$  вихідної ланки встановлюється як:

$$V_K = \sqrt{\left( V_B \frac{\cos(\delta_1)(V_A - V_B) \cdot \sin(\delta_2)}{\cos(\delta_1)\sin(\delta_2) + \sin(\delta_1)\cos(\delta_2)} \right)^2 + \frac{\cos(\delta_1)^2(V_A - V_B)^2 \cdot \sin(\delta_2)^2}{(\cos(\delta_1)\sin(\delta_2) + \sin(\delta_1)\cos(\delta_2))}} \quad (1)$$

Кут вектору  $\vec{V}_K$  з вертикальною віссю згідно рис. 1.а визначається як:

$$\omega = \arcsin\left( \frac{\cos(\delta_2)(V_A - V_B)\cos(\delta_1)}{(\cos(\delta_1)\sin(\delta_2) + \sin(\delta_1)\cos(\delta_2)) \cdot V_A} \right) \quad (2)$$

На основі отриманих виразів та залежностей було розроблено спеціалізоване програмне забезпечення Tangle (рис. 2, а), яке дозволяє здійснювати аналіз кінематичних параметрів каркасної установки з МПС, що проектується [3].

Дана програма розв'язує пряму задачу кінематики, де задаються параметри векторів  $V_A$  і  $V_B$ , а також значення кутів  $\delta_1$  і  $\delta_2$ . TAngle графічно відтворює план зв'язку швидкостей та кутів нахилу штанг установки з МПС, та показує, положення робочого органу при заданих параметрах.

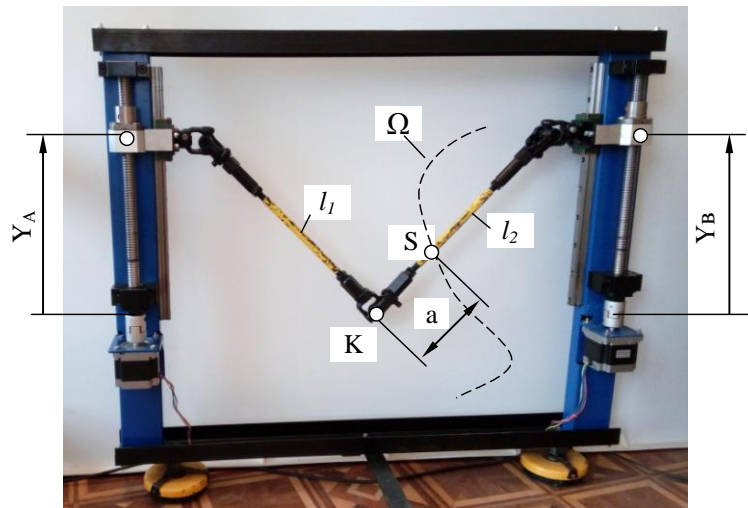
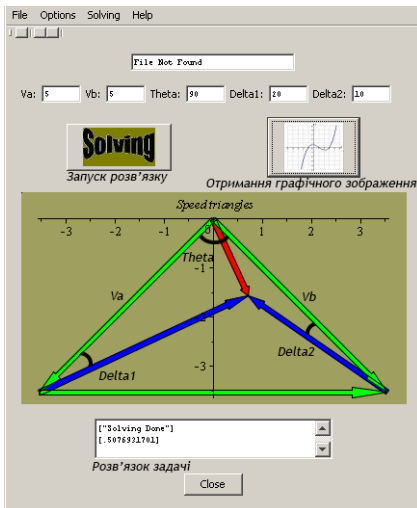


Рис. 2 – робоче вікно програми TAngle (а) і складений дослідний зразок біглайду (б)

Враховуючи конструктивні особливості і обмеження "біглайду", щодо закріплення інструменту, запропоновано розташовувати один або декілька інструментів на одній із штанг на відстані від шарнірного з'єднання. Нижче наведено розв'язок зворотної задачі кінематики згідно схеми рис. 2, б, як першої для отримання законів переміщення кареток приводів для подальшого керування.

$$Y_A = \pm \sqrt{l_2^2 - (X_K - X_A)^2} + Y_K \quad (3)$$

$$Y_B = \pm \sqrt{l_1^2 - (X_K - X_B)^2} + Y_K \quad (4)$$

При цьому  $\vec{R}_K = \vec{R}_S - \vec{a}$ ,  $\vec{a} = (\vec{R}_K - \vec{R}_B) \frac{a}{l_1}$ ,

тоді  $\vec{R}_K = \vec{R}_S - (\vec{R}_K - \vec{R}_B) \frac{a}{l_1} \rightarrow \vec{R}_K \left(1 + \frac{a}{l_1}\right) = \vec{R}_S + \vec{R}_B \frac{a}{l_1}$ , тому

$$X_K = \frac{1}{1 + \frac{a}{l_1}} (X_S + X_B \frac{a}{l_1}) \quad (5)$$

$$Y_K \left(1 + \frac{a}{l_1}\right) = Y_S + Y_B \frac{a}{l_1} \quad (6)$$

При вирішенні формули (4), разом з формулою (2), отримуємо:

$$Y_B = \pm \sqrt{l_1^2 - (X_K - X_B)^2} + \frac{1}{1 + \frac{a}{l_1}} [Y_S + Y_B \frac{a}{l_1}] \quad (7)$$

звідки:

$$Y_B = \frac{1}{1 - \frac{\frac{a}{l_1}}{1 + \frac{a}{l_1}}} \left[ \mp \sqrt{l_1^2 - (X_K - X_B)^2} + \frac{1}{1 + \frac{a}{l_1}} Y_S \right]$$

$$Y_B = \left(1 + \frac{a}{l_1}\right) \left[ \mp \sqrt{l_1^2 - (X_K - X_B)^2} + \frac{Y_S}{1 + \frac{a}{l_1}} \right] \quad (8)$$

Підставивши формулу (6) в формулу (4), отримуємо:

$$Y_K = \frac{Y_S}{1 + \frac{a}{l_1}} \left[ \mp \sqrt{l_1^2 - (X_K - X_B)^2} + \frac{Y_S}{1 + \frac{a}{l_1}} \right] \times \frac{a}{l_1} \quad (9)$$

Підставивши формулу (7) в формулу (1), отримуємо:

$$Y_A = \mp \sqrt{l_1^2 - (X_K - X_A)^2} + \frac{Y_S}{1 + \frac{a}{l_1}} + \left[ \mp \sqrt{l_1^2 - (X_K - X_B)^2} + \frac{Y_S}{1 + \frac{a}{l_1}} \right] \times \frac{a}{l_1} \quad (10)$$

Тобто рівняння (10), (8), (9) та (5) складають повне рішення задачі.

**Висновки.** Розглянуто і удосконалено математичне ядро для розв'язку зворотної і прямої задач кінематики та управління складним рухом шарнірно-стрижневих механізмів. Створено алгоритми і моделі, які дозволяють виконувати їх проектування, прогнозувати властивості руху ланок та оцінювати працездатність компоновки плоскої системи приводів для відповідних задач з об'єктами у просторі та швидко перебудувати або переналадити елементи системи.

#### Список посилань

1. Кузнецов Ю.М. Компоновки верстатів з механізмами паралельної структури: Монографія / Ю.М. Кузнецов, Д.О. Дмитрієв, Г.Ю. Діневич; під ред. Ю.М. Кузнецова. – Херсон: ПП Вишемирський В.С., 2009. – 456 с.
2. Русанов С.А. Математичні моделі і програмні продукти розв'язку задач кінематики і аналізу стратегій обробки / С.А. Русанов, А.А. Омельчук, Д.Д. Федорчук // Прикладні питання математичного моделювання №2. – 2018. – С. 57-71.
3. Русанов С.А., Дмитрієв Д.О., Омельчук А.А. Комп'ютерна програма «Tangle» - Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №76042 від 19.01.2018.
4. Дмитрієв Д.О. Застосування графоаналітичного методу для аналізу кінематики механізмів паралельної структури і викладання дисципліни теорія механізмів і машин / Д.О. Дмитрієв, С.А. Русанов, О.О. Сафьяник // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології промислового комплексу», випуск 3. – Херсон: ХНТУ, 2017. – С. 67 – 71

УДК 621.923.42

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

Сіра Н.М., канд. техн. наук

Аксьонова О.О., асистент

Чернігівський національний технологічний університет, itmia@ukr.net

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЧОРНОВОГО ФРЕЗЕРУВАННЯ ЦИЛІНДРИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ ЗІ СХРЕЩЕНИМИ ОСЯМИ ІНСТРУМЕНТА ТА ДЕТАЛІ

Велику частину продукції, яку виготовляють машинобудівні підприємства, відносять до групи тіл обертання, зокрема циліндричних поверхонь. Актуальною проблемою сучасного машинобудування є досягнення високих показників точності та якості при обробці деталей.

Впровадження нових, дослідження та удосконалення вже існуючих способів фрезерної обробки циліндричних деталей сприятиме підвищенню продуктивності фрезерування та забезпеченню високої точності та якості оброблених поверхонь.

На рис. 1 представлена схема процесу фрезерування зі схрещеними на кут  $\gamma$  осями вала 1 та фрези 2.

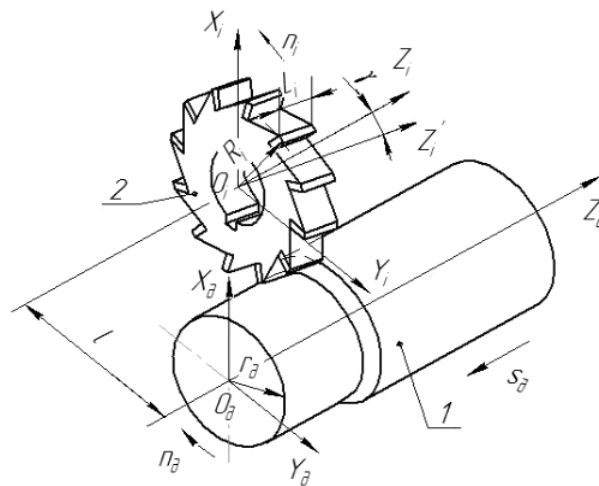


Рис. 1 – Схема фрезерування циліндричного вала зі схрещеними осями інструмента та деталі

Завдяки розробленій модульній 3D моделі процесів формоутворення та зняття припуску при чорновому фрезеруванні орієнтованим інструментом отримана пляма контакту фрези та циліндричного вала, приведена на рис. 2, де 1 – лінія контакту зовнішнього циліндра вала та різальної кромки фрези, 2 – лінія перетину різальної кромки фрези і торцевої поверхні вала, 3 – лінія контакту інструмента та деталі.

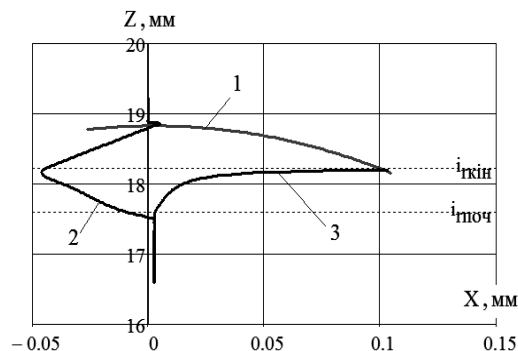


Рис. 2 – Пляма контакту фрези і циліндричного вала

Дослідження розподілу питомої продуктивності чорнового фрезерування  $Q(z)$  вздовж профілю різальної кромки орієнтованого на кут  $\gamma$  інструмента показали, що фрезерування зі схрещеними осями інструмента та деталі забезпечує підвищення точності формоутворення завдяки рівномірному зносу зуба фрези: чорновий припуск знімається його торцем (від координати  $i_{rкін}$  до  $i_{rпоч}$ ), а чистовий – розвантаженою периферійною ділянкою (до координати  $i_{rпоч}$ ). Отже, торцем та периферією різальної кромки інструмента доцільно проводити чорнове глибинне фрезерування нежорстких циліндричних деталей. При цьому кут повороту фрези вибирають із умови забезпечення максимального зняття припуску при рівномірному завантаженні торця різальної кромки інструмента.

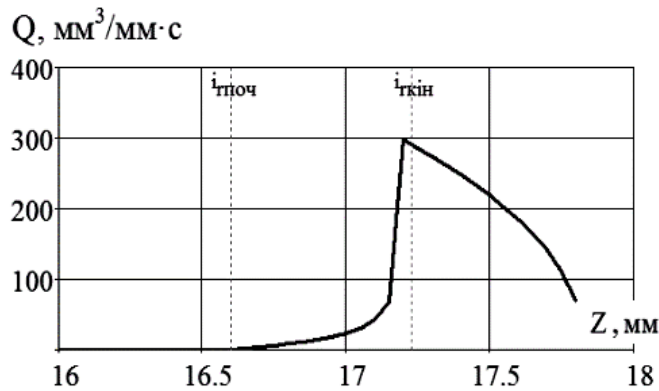


Рис. 3 – Розподіл питомої продуктивності фрезерування вздовж профілю різальної кромки фрези

Запропонований новий спосіб чорнового фрезерування циліндричних поверхонь орієнтованим інструментом, де обробка здійснюється торцем та периферією зуба інструмента. На основі розроблених моделей отримані рекомендації вибору кута орієнтації фрези, який вибирається із умови забезпечення максимального зняття припуску при рівномірному завантаженні торця різальної кромки інструмента.

#### Список посилань

1. Этин А.О. Кинематический анализ методов обработки металлов резанием. / А.О. Этин. – М.: Машиностроение, 1964. – 324 с.
2. Грабченко А.И. Шлифование со скрещивающимися осями инструмента и детали (Монография). / А. И. Грабченко, В. И. Кальченко, В.В. Кальченко. – Чернигов: ЧДТУ, 2009. – 256 с.
3. Кальченко В.І. Модульне 3D-моделювання інструментів, процесів зняття припуску та формоутворення при шліфуванні зі схрещеними осями циліндричного та ступінчастого вала і ельборового круга / В.І. Кальченко, В.В. Кальченко, Н.М. Сіра // Резание и инструмент в технологических системах : Междунар. науч.-техн. сб. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2016. – Вып. 86. – С. 36-48.
4. Родин П.Р. Основы формообразования поверхностей резанием. / П.Р.Родин. – Киев, Издательское объединение «Вища школа», 1977. – 192 с.
5. Кальченко В.И. Повышение производительности и точности шлифования со скрещивающимися осями эльборового круга и ступенчатого валика. / В.И. Кальченко, Н. Н. Погиба, Д. В. Кальченко // Резание и инструмент в технологических системах. Межд. научн.- техн. сб. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2011. – Вып. 80 – с. 131-140.
6. Решетов Д. Н. Точность металлорежущих станков. / Д. Н. Решетов, В. Т. Портман. – М.: Машиностроение, 1986. – 336 с, ил.
7. Кальченко В.В. Дослідження процесу фрезерування циліндричних поверхонь зі схрещеними осями інструмента та вала / В.В. Кальченко, Н.М. Сіра, Д.В. Кальченко, О.О. Аксьонова // Технічні науки та технології: науковий журнал / Черніг. нац. технол. ун-т. – Чернігів : Чернігів. нац. технол. ун-т. – 2018. – № 4 (14). – С. 18-27.

УДК 621.9.04

**Воронцов Б.С., докт. техн. наук, професор**  
Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», [voronts@gmail.com](mailto:voronts@gmail.com)  
**Кривошея А.В., канд. техн. наук, ст. наук. співробітник**  
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, [krivosheyatolja@ukr.net](mailto:krivosheyatolja@ukr.net)

## **КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА, ЯК ЗАСІБ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЕТАПІВ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ**

Підвищення продуктивності і зниження термінів проведення конструкторсько-технологічної підготовки виробництва зубчастих коліс на даний час неможливо без використання автоматизованих систем проектування, виробництва, аналізу і контролю. Велика розмаїтість промислових систем CAD/CAM/CAE дозволяє прискорити відокремлені етапи життєвого циклу зубчастих коліс, проте повнофункціональна автоматизована система формоутворення, яка б повною мірою відповідала вимогам сучасності, досі не розроблена.

Для того, щоб прискорити етапи конструкторсько-технологічної підготовки виробництва зубчастих коліс, необхідно автоматизувати процес формоутворення та інтегрувати його в загальну систему інформаційного забезпечення життєвого циклу зубчастих передач.

В роботі пропонується комп'ютерно-інтегрована система формоутворення зубчастих коліс, у якій на вході задана початкова оброблювана поверхня і можливі схеми формоутворення.

На виході системи необхідно отримати комп'ютерні моделі поверхонь деталей, які є основою для генерації технологічних процесів оброблення деталей на верстатах з ЧПК, а також, автоматизованого контролю геометрії деталей по моделі-еталону. Ця інформація може передаватися в промислові CAD-системи різними способами – у вигляді геометричних образів або масивів даних. Але найбільш ефективним було б підключення розроблених параметричних бібліотек деталей безпосередньо до системи формоутворення на основі єдиного параметричного простору.

Аналогічна ситуація спостерігається і з комп'ютерними моделями інструментальних поверхонь. При наявності параметричних бібліотек інструментів можливо отримувати на виході готові моделі інструментів.

Синтезовані кінематичні схеми формоутворення дозволяють вибрати необхідне обладнання для виготовлення деталей.

Інтерактивне керування автоматизованою системою формоутворення має здійснюватися за допомогою уніфікованих керуючих параметрів, які змінюють форму вихідної поверхні та кінематичну схему формоутворення. При цьому одночасно змінюються всі елементи системи, включаючи геометричні та кінематичні показники процесу формоутворення. Інтерактивний аналіз цих показників в процесі синтезу служить зворотним зв'язком і допомагає додатково використовувати досвід і знання проектувальника для швидкої оцінки результату.

В результаті таких ітераційних дій можна вибрати раціональний процес формоутворення та геометрію оброблюваних деталей. Реалізація модульності побудови системи формоутворення зубчастих коліс дозволяє без додаткових витрат на розробку спеціального програмного забезпечення розширити її в частині аналізу взаємодії робочих поверхонь зубчастих коліс. Важливим є те, що універсальні керуючі параметри залишаються єдиними для всієї системи та відповідають вимогам інваріантності, єдності та мінімальної достатності керуючих параметрів.

УДК 621.923

**Шахбазов Я.О.,** докт. техн. наук, професор  
**Широков В.В.,** докт. техн. наук, професор  
**Широков О.В.,** канд. техн. наук, докторант  
**Паламар О.О.,** канд. техн. наук, доцент

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

## **ВСТАНОВЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ УМОВ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ШЛІФУВАННЯ**

Процеси шліфування, які характеризуються значними тепловиділенням, потужністю і силами, вимагають від інструмента високої теплостійкості, твердості, хімічної стійкості і водостійкості. Усі ці властивості притаманні для шліфувальних (абразивних) кругів на керамічній зв'язці. Забезпечення необхідної точності і якості обробленої поверхні шліфуванням можливо за стабільності експлуатаційних характеристик абразивних кругів, що досягається, як вибором характеристики круга, точністю геометричних розмірів і форми, так і рельєфом його робочої поверхні, який утворюється при правці [1–3].

Проведений аналіз поширених способів правки шліфувальних кругів алмазними інструментами. Серед відомих способів правки найбільше застосування для всіх типів виробництва має простий і універсальний метод – точіння алмазними інструментами, який слід віднести до процесів високошвидкісного руйнування крихкого матеріалу робочої поверхні шліфувального круга. Наведені загальні витрати шліфувальних кругів при їх правці, показали, що втрати шліфувальних кругів складають переважну частину їх корисного обсягу. Аналіз показав, що режим правки і вид інструмента визначають не тільки стійкість шліфувального круга, але і коефіцієнт його корисного використання. Зазначено, що забезпечення шорсткості обробленої поверхні при шліфуванні передбачає створення упорядкованого рельєфу на робочій поверхні шліфувального круга. Створення упорядкованого рельєфу можливе у процесі мікроруйнування абразивних зерен при правці шліфувального круга алмазним інструментом. У такому випадку, керування характером руйнування робочої поверхні шліфувальних кругів можна досягти обмеженням концентрації контактного навантаження в межах абразивного зерна або передачею її до зв'язки шліфувального круга. Показано, що вирішення цієї проблеми залежить від співвідношення між основними параметрами удару, як періоди тріщиноутворення та проходження ударної хвилі крізь абразивне зерно. На основі аналізу закономірностей крихкого мікро- та макро- руйнування абразивних зерен встановлені гранично можливі глибини правки шліфувального круга алмазним інструментом в режимі неповного (мікро-) або повного (макро-) руйнування абразивних зерен на чистових і чорнових операціях шліфування. Встановлено технологічну можливість керованого формування робочої поверхні шліфувального круга правкою алмазним інструментом в режимі крихкого руйнування зерен абразивних кругів на різних операціях шліфування.

Правка шліфувального круга алмазним інструментом розглядається в контактній системі «кристал алмазу – абразивне зерно – зв'язка шліфувального круга». Залежно від характеру руйнування цієї системи буде визначатися ступінь розвиненості робочої поверхні шліфувального круга і придатність його до виконання операції шліфування. Якщо руйнування самих абразивних зерен відбувається при їх безпосередньому контакті з кристалом алмазу, то закономірності руйнування зв'язки шліфувального круга, де відсутній контакт з кристалом алмазу, слід пов'язати проходженням ударної хвилі крізь абразивне зерно. У такому випадку, керування характером руйнування робочої поверхні шліфувальних кругів можна досягти обмеженням концентрації контактного навантаження в межах абразивного зерна або передачею її до зв'язки шліфувального круга. Вирішення цієї проблеми залежить від співвідношення між основними параметрами удару, як періоди

тріщиноутворення та проходження ударної хвилі крізь абразивне зерно. З цією метою визначено максимальну ударну силу між кристалом алмаза і абразивним зерном у вигляді [1, 4]

$$P_{\max} = K^{2/5} (1,25MV^2)^{3/5}, \quad (1)$$

де  $K$  – коефіцієнт жорсткості ударної системи,

$M$  – приведена маса співударних елементів абразивного зерна і кристалу алмаза,

$V$  – швидкість шліфувального круга.

У залежності (1) кількість руху ( $MV$ ) виражено через імпульс сили ( $PT$ ) що діє на абразивне зерно в процесі контактування з алмазом. Розв'язуючи цю залежність відносно сили, одержано:

$$P_{\max} = 1,4K(TV)^{3/2}, \quad (2)$$

де  $T$  – тривалість удару між абразивним зерном та кристалом алмаза.

Із залежності (2) визначається період зростання сили удару у вигляді залежності (3), при якому забезпечується відповідний характер руйнування зерна абразивного круга в процесі правки шліфувального круга

$$T = \frac{1,25}{V} \left( \frac{P}{K} \right)^{2/3}. \quad (3)$$

У залежностях (1) та (2) значення сили відповідає характерові руйнування абразивного зерна. Наприклад, для випадку: при середньостатистичні радіусів абразивного зерна –  $r_1 = 0,1$  мм і кристалу алмаза –  $r_2 = 0,2$  мм та швидкості шліфування –  $V = 40$  м/с (матеріалом абразивного зерна є електрокорунд) коефіцієнт жорсткості [4] буде складати  $K = 3 \times 10^8$  Н/м<sup>2</sup>. Якщо вважати силу макроруйнування абразивного зерна  $P = 20$  Н [5], то розрахункове значення моменту початку тріщиноутворення, що визначається залежністю (3) становить приблизно  $T = 4 \times 10^{-10}$  с; період же проходження ударної хвилі крізь абразивне зерно з полюса руйнування до вільної поверхні дорівнює  $T_e = 6,67 \times 10^{-9}$  с. Як видно з цього розрахунку, ударне навантаження, головним чином, витрачається на руйнування абразивного зерна. На зв'язку ж шліфувального круга діють незначна частина сили та імпульс післяударного навантаження. Період мікроруйнування зерна, очевидно, буде ще меншим. Отже, в процесі правки шліфувальних кругів алмазним інструментом методом точіння робочий шар шліфувального круга буде руйнуватися в основному по зернам, що дозволяє керувати ступеню їх руйнування за рекомендаціями роботи [5], якістю обробленої поверхні і продуктивністю шліфування.

Одержані закономірності крихкого руйнування абразивних зерен рекомендовані для визначення технологічних параметрів процесу правки шліфувальних кругів на керамічній зв'язці на різних операціях шліфування з метою прогнозування та забезпечення показників процесу обробки.

Для забезпечення упорядкованого рельєфу та неперервності формування рельєфу робочої поверхні шліфувального круга при правці алмазним інструментом методом точіння рекомендовано вибрати величину поздовжньої подачі алмазного інструмента за розміром контакту кристала алмазу з кругом при глибині правки шліфувального круга  $h$ . Тому величину поздовжньої подачі при правці шліфувального круга слід визначати із залежності  $s = 2\sqrt{2\rho_3 h - h^2}$ , де  $\rho_3$  – радіус вершини кристалу алмаза правлячого інструмента.

**Висновки.** На основі проведених досліджень встановлені закономірності крихкого руйнування робочої поверхні шліфувальних кругів та формування упорядкованого рельєфу при їх правці алмазним інструментом методом точіння. Встановлено, що вирішення цієї проблеми залежить від співвідношення між основними параметрами удару,



як періоди тріщиноутворення та проходження ударної хвилі крізь абразивне зерно. Наведено, що в процесі правки шліфувальних кругів алмазним інструментом методом точіння робочий шар шліфувального круга руйнується в основному по зернах. Це дозволяє керувати ступеню їх руйнування, рельєфом робочої поверхні шліфувальних кругів, якістю обробленої поверхні і продуктивністю при шліфуванні.

#### Список посилань

1. Кремнев Г.П. Повышение эффективности процесса шлифования при правке абразивных шлифовальных кругов / Кремнев Г.П., Ница А.Н., Соколов В.Ф. // Информационные технологии в образовании и производстве. – 2015.–№3(8).– С.233–238.
2. Schwarz K.E. Zerspanungsvorgänge und Schleifergebnis beim Ab-richten von Grinding / K.E. Schwarz // Journal of Manufacturing Science and Engineering, 2001.–Vol. 123.–P. 319-324.
3. Резников А.Н. Исследование условий разрушения зерен шлифовального круга при правке / А.Н.Резников, В.А.Сандлер // Сверхтвердые материалы. – 1981. – № 2. – С. 43–47.
4. Шахбазов Я.О. Керування робочою поверхнею шліфувальних кругів / Я.О. Шахбазов – Львів: Фенікс, 1998.– 136 с.
5. Шахбазов Я.О. Технологічне забезпечення процесу шліфування / Шахбазов Я.О., Широков В.В., Широков О.В., Паламар О.О. // Поліграфія і видавнича справа.– УАД. – 2018. – № 1 (75). – С. 75–81.

УДК 621.771

**Огинский И.К.,** докт. техн. наук  
**Таратута К.В.,** канд. техн. наук  
**Востоцкий С.Н.,** ст. преподаватель  
**Воронцова Н.Ю.** мл. научн. сотрудник  
Запорожский национальный университет, oginskyu@gmail.com

#### СОВМЕЩЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ЛИТЬЯ И ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ В МЕТАЛЛУРГИИ И МАШИНОСТРОЕНИИ

Совмещение отдельных технологических операций в единый производственный процесс является достаточно распространенным приемом в металлургии, и металлоперерабатывающих отраслях, в частности, в машиностроении. В мировой металлургии, например, массовое распространение получило совмещение процессов непрерывной разливки и последующей прокатки. Наряду с традиционными сочетаниями процессов возникают новые или развиваются известные, получающее распространение с появлением новых технических возможностей, примером является развитие процесса валковой разливки-прокатки (другое используемое название – бесслитковая прокатка). Процесс известен достаточно давно, впервые идею изготовления полосы непосредственно из расплава с использованием двухвалкового кристаллизатора озвучил и запатентовал известный металлург Генри Бессемер. Однако по причине технических проблем организации процесса бесслитковой прокатки его промышленная реализация надолго отстала от идеи и начала активно развиваться лишь во второй половине прошлого столетия. Организация подобного производства требует выполнения значительных по объему предварительных проектно-конструкторских и исследовательских работ, проведения экспериментальных исследований. При всех своих достоинствах и перспективности бесслитковая прокатка развивается недостаточно быстрыми темпами. Одной из объективных причин является также и то, что металлургия, будучи весьма материалоемким производством, не всегда в состоянии производить масштабное техническое перевооружение достаточно своевременно в связи с высоким уровнем необходимых для этого затрат.

К настоящему времени все достижения в области бесслитковой прокатки связаны с производством тонкого листа. Наряду с традиционным применением предпринимаются

активные попытки расширить область её применения, например, в последнее время опубликован ряд работ, посвященных новым процессам бесслитковой прокатки [1-6]. К числу таких работ последнего времени относятся выполненные в Рейн-Вестфальской высшей технической школе (г. Ахен, Германия), где методом валковой разливы-прокатки были получены полосы переменной высоты по ширине. [1] Несколько позже подобные работы были начаты в Ганноверском университете и продолжены в Падерборнском (Германия) [2-5]. Был создан новый способ получения и устройство для его реализации [2], описание технологического комплекса приведено в работах [3, 4]. Получили свое развитие исследования, направленные на получение биметаллических полос методом бесслитковой прокатки [5]. Перспективным направлением является создание способов получения квадратных заготовок, а также сплошных и полых цилиндрических, исследования в этом направлении ведутся авторами настоящей работы. Цилиндрические заготовки используются в трубопрокатном производстве, весьма актуальной задачей при этом является получение трубной заготовки малого диаметра (110-150 мм). Этот диапазон размеров характерен тем, что при изготовлении трубной заготовки традиционным методом непрерывной разливы металла в своей центральной части имеет менее плотную структуру (при разливы создается осевая рыхлость). В валковом кристаллизаторе деформирование твердеющего металла позволяет устранить указанные недостатки, уплотнить структуру, минимизировать или полностью исключить осевую рыхлость.

В части выполнения размерного ряда катано-литой квадратной заготовки могут возникнуть ограничения по верхнему и нижнему пределам. В первом случае ограничивающим фактором могут стать конструктивные особенности оборудования, например, необходимость создания водоохлаждаемых валков размерами, которые являются трудновыполнимыми или с ограниченными функциональными возможностями. Ограничения по нижнему пределу могут носить другой характер и быть вызваны спецификой кристаллизации заготовки малого сечения в условиях трудно прогнозируемого градиента скоростей охлаждения ее центральных и периферийных зон. Заготовка квадратной формы для сортопрокатного передела стала традиционной, но с точки зрения деформации не является обязательной. Она является традиционной поскольку обеспечивают технологические достоинства при транспортировке, складировании, осмотре и ремонте, в большинстве случаев и при нагреве (в части её перемещения в нагревательной печи). Выбор и построение системы вытяжных калибров с позиций исходной заготовки (квадрат или круг) является равноценным. В некоторых случаях круглая заготовка может оказаться предпочтительной. Например, если её рассматривать с позиции затвердевания и охлаждения, то она является более рациональной, поскольку в ней отсутствуют перепады температуры по сечению, происходит равноосная кристаллизация, обеспечивающая достаточно равномерное распределение свойств по сечению. В квадратной же заготовке при затвердевании и охлаждении в первую очередь происходит кристаллизация в угловых зонах, соответственно, будет иметь место неравномерное распределение свойств по сечению.

Работы в направлении создания новых технологических процессов всегда являются наукоёмкими, требующие новых технических решений. Авторами настоящей работы проводятся изыскания в направлении создания новых видов бесслитковой прокатки, в частности, для получения сплошных и полых заготовок, создана технологическая основа и выполнены проектно-конструкторские разработки, проведено моделирование процессов, создано экспериментальное оборудование, в ближайшей перспективе планируется получение первых экспериментальных результатов.

#### Список ссылок

1. Daamen M. Experimental and Numerical Investigation of Double Roller Casting of Strip with Profiled Cross Section / M. Daamen, T. Förster, G. Hirt // ICTP 2011. – Vol.2. – P. 93-98.

2. Пат. 113368 Україна, МПК (2006.01) B22D 11/06, B22D 11/10 Пристрій для валкової розливки-прокатки профільованих штаб / Гридин О.Ю. (UA), Огінський Й.К. (UA), Бондаренко С.В. (UA), Шапер М. (DE); заявник та патентовласник Національна Металургійна Академія України. – № 201600100; Заявл. 04.01.16. Опубл. 10.01.17, Бюл. №1. – 5с.: з іл.

3. Grydin O. Yu. Experimental Twin-Roll Casting Equipment for Production of Thin Strips / O. Yu. Grydin, Y. K. Ogins'kyu, V. M. Danchenko, Fr.-W. Bach // Metallurgical and Mining Industry. – 2010. - Vol.2(5) – P.348-354.

4. Гридин А. Ю. Технологический литейно-прокатный комплекс экспериментальных исследований процесса валковой разливки-прокатки Падерборнского университета / А. Ю. Гридин, И. К. Огинский, М. Шапер // Пластична деформація металів. – 2017. – С. 210-217.

5. Хвист В.А. Стабилизация положения стальной полосы в валковом кристаллизаторе при получении биметаллического алюминиево-стального композита способом валковой разливки-прокатки / В.А. Хвист, А.Ю. Гридин, И.К. Огинский // Сучасні проблеми металургії. – 2012. – №15. – С. 3–13.

УДК 62.231

**Стругинський В.Б., докт. техн. наук, професор**

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

Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», urchyshynoks@ukr.net

### **ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУЮВАННЯ НАЗЕМНИХ РОБОТИЗОВАНИХ КОМПЛЕКСІВ ДЛЯ РОБОТИ З НЕБЕЗПЕЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ**

Один із напрямків застосування роботизованих систем – робота в умовах, які є несприятливими для людини, і в яких людина наражає себе на небезпеку. Зокрема, небезпечними є роботи з такими об'єктами як снаряди, міни, вибухові пристрої. Розроблення наземних роботизованих комплексів для виконання цих робіт [1] має важливе значення для національної безпеки України і являє собою актуальну науково-технічну задачу, яка потребує термінового вирішення.

Роботизовані комплекси імпортного виробництва є дорогими і не задовольняють необхідним вимогам. Основною причиною цього є використання в роботизованих комплексах універсальних спрощених конструкцій маніпуляторів важільного типу.

Для відпрацювання наземних роботизованих комплексів із системою маніпуляторів пропонується спеціальний підхід, що полягає у використанні розробленого набору модулів які монтуються на колісному та/або гусеничному шасі теж модульного типу [2]. Набір модулів містить різні конструктивні елементи, шарніри, приводи, вимірювачі, універсальні блоки керування. Із даних модулів формуються системи маніпуляторів розімкненого типу та маніпулятори з паралельними кінематичними зв'язками. Системи маніпуляторів будуються по схемі механізмів триподів, гексаподів або триглайдів, гексаглайдів та ін. При малій масі вони мають значну вантажопідйомність яка в 10-20 разів перевищує вантажопідйомність традиційних маніпуляторів важільного типу.

Із модулів реалізується експериментальний зразок комплексу із необхідною системою маніпуляторів, адаптованих для роботи з небезпечними об'єктами. Із набору модулів реалізується понад 100 варіантів систем маніпуляторів і відпрацьовуються конструкції відповідно до задач, необхідних при роботі з небезпечними об'єктами.

На основі досліджень в умовах, наближених до польових, експериментальний зразок вдосконалюється із одержанням раціонального або оптимального варіанту наземного роботизованого комплексу із системою прогресивних конструкцій маніпуляторів, адаптованих для роботи з небезпечними об'єктами. Для збільшення прохідності до системи додаються фліппери та приводи. Для проведення діагностики та огляду об'єктів додаються спеціальні пристрої.

Позитивною особливістю даних маніпуляторів є ефективне сприйняття зусиль і моментів. Реалізуються необхідні головні вектори і головні моменти сил для роботи з небезпечними об'єктами.

#### Список посилань

1. Верстат паралельної кінематики з мехатронною системою активного контролю; Патент України на винахід № 111381 / Струтинський В.Б., Дем'яненко А.С. / 25.04.2016.
2. Крокуючий пристрій мобільного робота; патент України на корисну модель №130526 / Струтинський В.Б., Юрчишин О.Я., Келавець Ю.Р., Бондаренко Н.С., бюл. № 23/2018, 10.12.2018.

УДК 539.3

**Бабенко А.Є., докт. техн. наук, професор,  
Равская Н.С., докт. техн. наук, професор,  
Боронко О.А., докт. техн. наук, професор,  
Лавренко Я.И., канд. техн. наук, доцент**

Национальный технический университет Украины «КПИ им. И.Сикорского»,  
lavrenko.iaroslav@gmail.com

### **КИНЕМАТИЧЕСКОЕ ВОЗБУЖДЕНИЕ ВЫНУЖДЕННЫХ ПОПЕРЕЧНЫХ КОЛЕБАНИЙ ДИСКОВОЙ ФРЕЗЫ С НЕРАВНОМЕРНЫМ ШАГОМ**

При исследовании поведения дисковой фрезы в процессе резания актуальной является проблема, связанная с изучением динамической неустойчивости и соответственно с подбором таких параметров фрезы и режимов резания, которые позволяют избежать или ослабить вредные воздействия этого явления. Задача о вынужденных колебаниях механической системы может быть решена на основе разложения по собственным формам колебаний. Основная трудность решения заключается в определении спектра собственных частот и форм колебаний дисковой фрезы. Для этого был разработан пакет прикладных программ для определения собственных частот и собственных форм колебаний дисковых фрез.

Дисковые фрезы, как правило, выполняются с постоянным шагом зубьев. Возможности дисковых фрез с неравномерным шагом зубьев и криволинейным профилем стружечных канавок не определены. Исследования ряда инструментов, в том числе и фрез, показывают, что применение неравномерного шага зубьев и криволинейной формы стружечных канавок оказывает существенное влияние на вибрации при резании, стойкость инструмента, точность обработки и качество обработанных поверхностей. Поэтому разработка дисковых фрез с криволинейным профилем стружечных канавок и неравномерным шагом зубьев является одним из перспективных направлений совершенствования этого инструмента. В процессе резания дисковой фрезой возникают внешние периодические возмущающие силы вследствие удара зубьев фрезы в моменты начала и окончания процесса резания каждого зуба. Поэтому в свете вышесказанного первичной проблемой является исследование вынужденных колебаний дисковой фрезы. Известно, что в результате погрешности и сборки системы станок – фреза – заготовка и деформирования этой системы имеют место смещение и поворот фрезы относительно срединной плоскости фрезы. Это приводит к изгибу фрезы в результате контакта ее боковой поверхности с поверхностью реза. Благодаря поднутрению фрезы этот контакт осуществляется по внешнему ободу, но внешний обод фактически состоит из вершин зубьев, поэтому рассматриваемое взаимодействие выражается в периодическом процессе изгибания фрезы в результате ее вращения. Это периодическое взаимодействие фактически является кинематическим возбуждением поперечных колебаний фрезы. Далее решалась задача о вынужденных колебаниях. При конструировании дисковой фрезы

частота вынуждающей силы обусловлена скоростью резания, количеством и формой режущих зубьев. В работе исследовано влияние неравномерности шага зубьев на динамическое поведение дисковой фрезы и выведен критерий ее динамического состояния.

УДК 621.9.02:621.9.14

Грицай І. Є., докт. техн. наук, професор  
Національний університет «Львівська політехніка», [i.gryc@i.ua](mailto:i.gryc@i.ua)

### КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НЕСТАЦІОНАРНОГО ПРОЦЕСУ ЗУБОФРЕЗЕРУВАННЯ ЧЕРВ'ЯЧНОЮ ФРЕЗОЮ ТА ЙОГО ПРОСТОРОВОГО СИЛОВОГО ПОЛЯ

Продукція сучасного машинобудування немислима без зубчастих коліс та передач, які є неодмінними складовими машин та механізмів в усіх його галузях. Основним способом виготовлення зубчастих коліс широкої гами модулів, габаритів та мас на сьогодні залишається нарізання та оброблення зубців черв'ячними фрезами. З огляду на поширення, універсальність та його значення для машинобудування цей процес є постійним об'єктом уваги науковців на дослідників для виявлення резервів підвищення його продуктивності, якості виготовлення коліс, удосконалення схеми різання, конструкції зубців і їх захисних покриттів тощо. Основою для комплексних та системних досліджень служать геометричні моделі зрізуваних шарів черв'ячної фрези, які несуть повну інформацію про перебіг процесу різання і від правдивості відтворення яких залежить якість моделей, що базуються на їх параметрах. Внаслідок особливо високої складності формоутворення та кінематики цього процесу на даний час все ще відсутня методика для адекватної оцінки об'ємно-структурних та кількісних параметрів зрізів черв'ячної фрези. Приймаючи до уваги актуальність і практичне значення вирішення цієї проблеми для математичного моделювання та дослідження різноманітних контактних, силових, теплових, деформаційних, трибологічних (та ін.) процесів та явищ, які супроводжують різання черв'ячною фрезою, розроблена нова методика розрахунку параметрів зрізів та 3D графічних моделей стружок на різальних елементах в умовах неперервного генерування зубчастих профілів. В її основу покладено просторове відтворення кінематичних рухів усіх різальних елементів в робочому просторі, які присутні в методі неперервного обточування.

Вирішення цієї задачі дало змогу по-новому підійти до моделювання сили різання фрезерування і об'ємного просторового силового навантаження. Як відомо, сила різання є функцією площі поперечного перерізу зрізу  $S$  (мм<sup>2</sup>), інтенсивності осадження  $\xi$  і межі міцності матеріалу заготовки на суг  $\tau$  (МПа) та описується залежністю:  $P = \tau \cdot \xi \cdot S$ . В процесі обточувального зубофрезерування елементарна сила різання, як функція параметрів зрізів виникає на кожному активному лезі та змінюється за певним законом по шляху контакту леза, або одночасно декількох лез, з оброблюваною поверхнею (поверхнями). Сила на окремому зубці є функцією сил на лезах, а сумарна сила, яка діє на окрему рейку (гребінку) фрези визначається геометричною сумою сил на усіх її зубцях, які одночасно перебувають в контакті з заготовкою. Як елементарна сила на зубцях, так і сумарна сила на рейках є вектором, величина і напрямок якого змінюється за певним законом. Різання кожної з рейок (числом 9-10 для стандартних фрез) має власні параметри і характеризується періодичністю з частотою, що відповідає одному оберту фрези, проте, кожен зубець фрези в межах одного її повороту зрізає однакову за параметрами і формою стружку. Отже, параметри зрізів (площа поперечного перерізу і товщина) є первинними

чинниками, які призводять до коливання сили різання і які визначають зубофрезерування, як процес зі змінними у часі різання, проте детермінованими параметрами.

Другим чинником, який визначає нестационарність зубофрезерування, є несталість інтенсивності осадження стружки. На відміну від існуючих методів визначення величини коефіцієнта  $\xi$ , які, у більшості, є експериментальними, поєднання методики графічного 3D моделювання параметрів зрізів з можливостями іншої, розробленої на кафедрі ТМБ системи дослідження деформаційних процесів, дає змогу на основі реологічного аналізу процесу нестационарного різання встановити зміну коефіцієнта осадження стружки за зміною товщини зрізів різальними елементами черв'ячної фрези (рис.1). Нехтуючи температурними змінами фізичних і механічних властивостей матеріалу нарізуваного колеса і приймаючи постійною величину межі міцності  $\tau$ , з допомогою комп'ютерного моделювання встановлено закономірності зміни сили різання. На рис. 2,а наведено порівняння розрахункової та уточненої (з врахуванням зміни інтенсивності осадження) сили різання зубофрезерування, а на рис. 2,б – просторове силове поле черв'ячної фрези по зубцях на її гвинтовій поверхні.

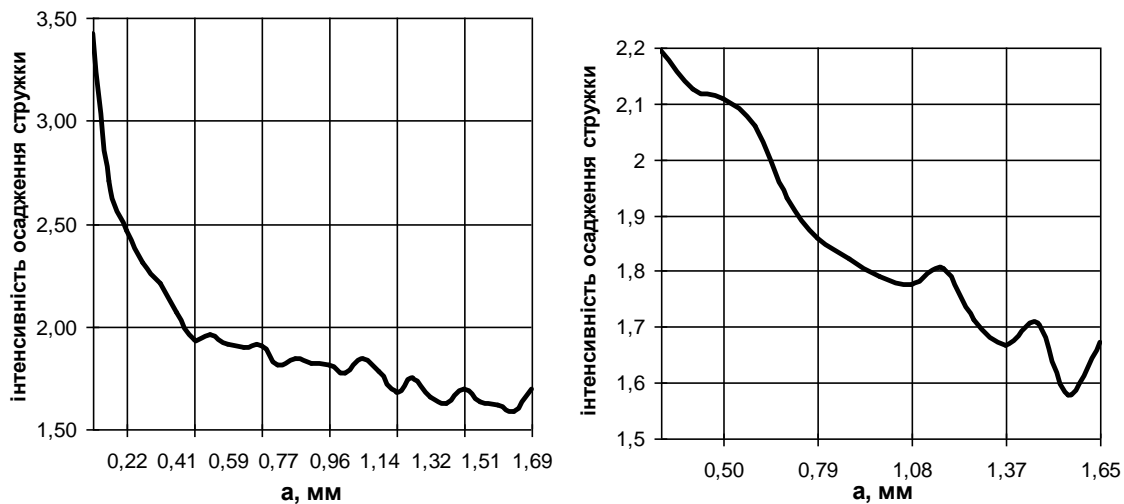


Рис.1. – Зміна коефіцієнта інтенсивності осадження стружки залежно від товщини зрізу при швидкості зміни товщини зрізу 10 м/с (а) і 20 м/с (б)

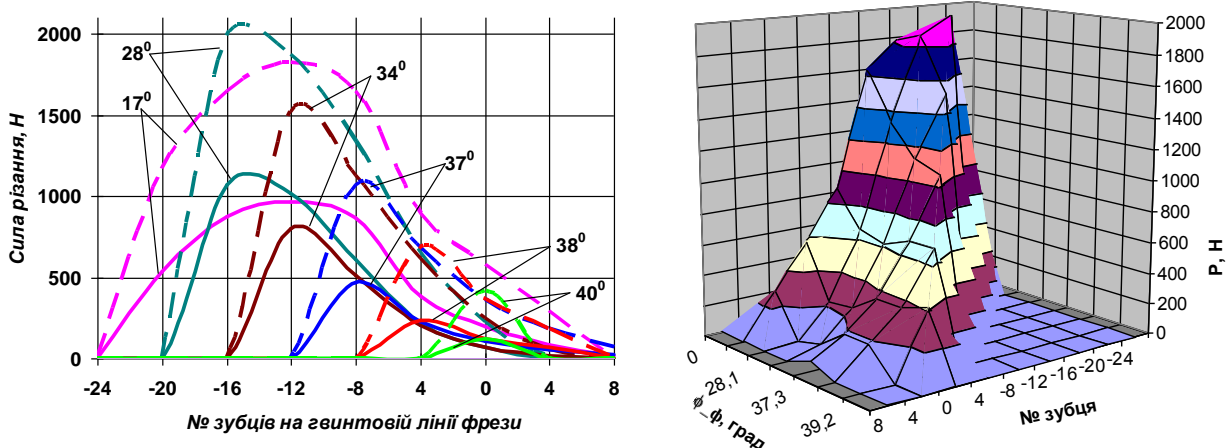


Рис.2 – Номінальна та уточнена із залежності « $\xi$  -  $a$ » сила різання по куту повороту (а) і поверхня просторового силового навантаження на зубцях гвинтової поверхні фрези (б) колесо:  $m$  5 мм, Z18, сталь 45; фреза:  $Z_f$ 10;  $D_{af}$  100 мм; осьова подача 3 мм/об.; швидкість різання 35 м/хв.; суцільна лінія – розрахункова сила різання; штрихова лінія – сила різання з урахуванням зміни інтенсивності осадження по товщині зрізуваного шару

УДК 621.9.048.6

Шевченко О.В., докт. техн. наук, професор  
Манзюк С.А., аспірант

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

## ЕФЕКТИВНИЙ ПРИСТРІЙ МАЛИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ ДЛЯ ПРЕЦИЗІЙНОЇ ТОКАРНОЇ ОБРОБКИ

Малі переміщення в металорізальних верстатах використовують для компенсації похибок, які виникають в технологічній оброблюваній системі внаслідок теплових та пружних деформацій, динамічних навантажень на холостих ходах та при різанні, зміни розмірного налаштування верстата та ін.

Спроби вирішення проблеми малих переміщень за допомогою традиційних електромеханічних систем натрапляють на цілий ряд технічних труднощів. При створенні мікропереміщень і роботі на наднизьких швидкостях електромашинні виконавчі пристрої постійного і змінного струму працюють в нестійких режимах, що проявляється в нерегулярних коливаннях об'єкту позиціонування в напрямку руху. Крім того, істотний вплив мають нелінійності кінематичних передач (люфти, сухе тертя, зони нечутливості та ін.), нехтувати якими в цих умовах неможливо. Навіть у кращих кульково-гвинтових передачах повторюваність при позиціонуванні досягається з похибкою від десятих частин до одиниць мікрометрів. Таким чином, можна зробити висновок, що традиційні електромашинні виконавчі пристрої позиціонування в цьому напрямку свої можливості вичерпали і треба переходити до нових конструктивних рішень, що долають вказані недоліки [1].

Аналіз технологічних можливостей прецизійних токарних верстатів та типових деталей, що обробляються на них, дозволяє встановити основні вимоги до пристроїв малих переміщень, а саме:

- діапазон малих переміщень не перевищує 0,3 мм, що для різального інструменту визначається критерієм зносу його різальних кромок;
- точність позиціонування до  $0,3 \div 0,5$  мкм;
- повторюваність при позиціонуванні не гірше 0,5 мкм;
- жорсткість за напрямками дії складових сили різання не нижче  $10 \div 20$  Н/мкм;
- лінійна залежність між переміщенням повзуна та вхідною дією в приводі;
- відсутність люфтів та мертвих ходів при реверсуванні [2].

Основною складністю забезпечення точного позиціонування робочого органу є отримання малих переміщень при забезпеченні необхідної жорсткості передачі. Для позиціонування в мікро- та нанометричному діапазоні в приводах верстатів доцільно додатково використовувати спеціальні пружні кінематичні пристрої, що виконують функції пружних напрямних чи пружних шарнірів та виключають вплив зовнішнього тертя в останній передачі приводу на точність позиціонування.

На рис. 1 наведено конструктивну схему пристрою для прецизійного позиціонування різального інструменту. Пристрій складається з основи 1, що встановлюється на супорті верстата, повзуна 2 з різцем 3, зв'язаного з основою 1 пластинами 4 з пружними шарнірами 5, що утворюють пружний паралелограм. Привод позиціонування повзуна 2 виконаний у вигляді пружного кривошипно-повзунного механізму з кривошипом  $AB = l_2$ , шатуном  $BC = l_3$ , що в т. С контактує з повзуном 2. Пружний зв'язок в механізмі забезпечують пружні шарніри в точках А, В та С. Поворот кривошипу АВ забезпечує гвинтова передача 6, що деформує пружний шарнір в точці А.

Важливим етапом при виборі розмірних характеристик пристрою є розрахунок передавального відношення, що зв'язує зміну кута  $\varphi$  повороту кривошипа АВ з переміщенням різця в напрямку  $Ox$  при заданих розмірах  $l_1$ ,  $l_2$  та  $l_3$ . Для орієнтовного

кінематичного розрахунку пристрою можна використати формулу для визначення переміщень в шарнірному чотириланковому кривошипно-повзунному механізмі [3]:

$$x = l_2 \cos \varphi + l_3 \sqrt{1 - \left\{ \frac{l_2 \sin \varphi + l_1}{l_3} \right\}^2}.$$

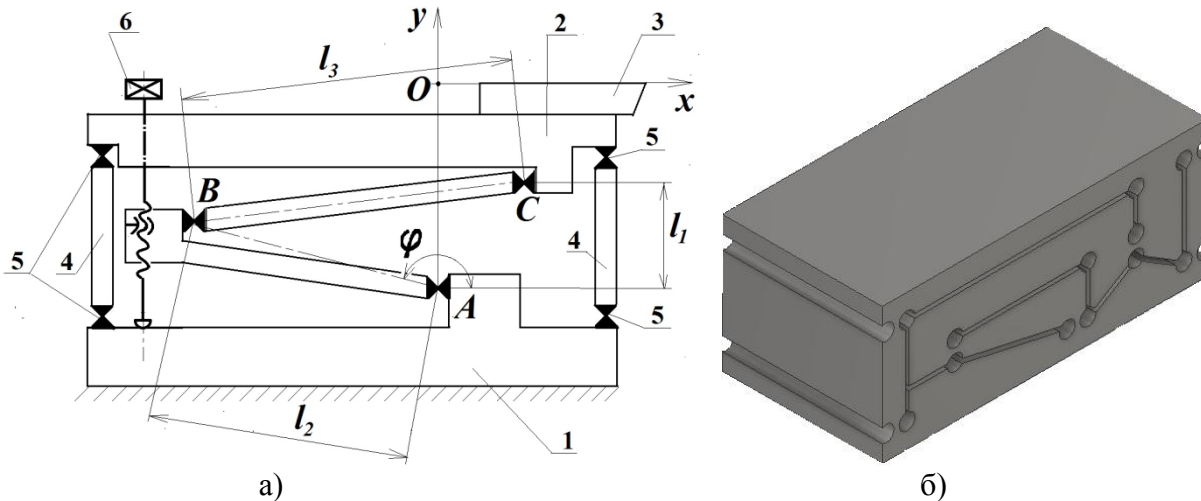


Рис.1 – Конструктивна схема (а) та приклад твердотільної моделі (б) пристрою для прецизійного позиціонування різального інструменту

Результати попереднього орієнтовного розрахунку дозволяють отримати геометричні розміри елементів пристрою і початкові дані для розробки його твердотільної моделі. На основі твердотільної моделі методом скінченних елементів виконується уточнений розрахунок передаточного відношення та жорсткості конструкції пристрою в точці прикладання сили різання. На рис. 1, б наведено приклад твердотільної моделі пристрою позиціонування з габаритними розмірами 100x100x275 мм. Для розрахунків статичних характеристик пристрою використано середовище програми Autodesk Inventor.

За результатами розрахунків визначено, що передаточне відношення між переміщенням в точці В та напрямком Oх (рис.1) складає 1/6. Така редукція в пружній частині приводу дозволяє при мікрометричному регулюванні за допомогою диференціального гвинтового механізму, або при використанні пакетної конструкції п'єзоелектричного актуатора перейти в діапазон нанометричного позиціонування. Жорсткість запропонованої конструкції в напрямках складових  $P_x$ ,  $P_y$  та  $P_z$  сили різання складає:  $C_x = 272$  Н/мкм,  $C_y = 368$  Н/мкм та  $C_z = 172$  Н/мкм. Отримані характеристики задовольняють умові забезпечення точного позиціонування робочого органу при необхідній жорсткості конструкції.

Результати виконаних розрахунків та моделювання дозволили отримати достатню базу даних для розробки конструкцій пристроїв малих переміщень для конкретних типів технологічного прецизійного верстатного обладнання.

#### Список посилань

1. Бобцов А.А. Исполнительные устройства и системы для микроперемещений. Учебное пособие / Бобцов А.А., Бойков В.И., Быстров С.В., Григорьев В.И. – С.-Петербург, ГУ ИТМО, 2011. – 131 с.
2. Шевченко О.В. Використання приводів нано- та мікропереміщень при ультрапрецизійній обробці на верстатах / О.В. Шевченко, С.А.Манзюк // Вісник ЖДТУ, Житомир, № 4 (67) / Серія: Технічні науки – 2013. – с. 42-48.
3. Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин: Учеб. для вузов. / И. И. Артоболевский – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 640 с.



УДК 65.018:658.562

Григор'єва Н.С., докт. техн. наук, професор  
Шабайкович В.А., докт. техн. наук, професор  
Луцький національний технічний університет, vik\_shabajkin@ukr.net

### ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ

Забезпечення якості продукції - поняття комплексне, багатопланове та досить складне. Україна зі своїм технічним рівнем і потенційними можливостями за 27 років незалежності залишилася відкинутою за рейтингом якості продукції на останні місця серед країн світу і знаходиться серед слаборозвинутих країн Африки. Причина полягає в тому, що у другій половині 90<sup>х</sup> років в Україні можновладці створили систему управління, яка прирєкла державу на їх збагачення, а народ - на бідність. Серед основних чинників такої ситуації це розвал економіки, непомірне та дике збагачення за будь-яку ціну, поганий соціально-психологічний клімат, низька духовність, відсутність відчуття господаря та інші супутні негативні явища, породжені збагачуючимся керівництвом. Тут переплелися «прихватація» та корупція, рейдерство та бандитизм, хабарництво та «відкати», відмивання грошей, уникання від сплати податків, вивід грошей в офшорні зони і багато іншого.

Якість продукції визначається як внутрішніми, так і зовнішніми чинниками [1]. Відома чисельна література по впливу внутрішніх чинників на якість продукції, таких як маркетинг, стан технологічного обладнання, організація виробництва, розробка проектів продукції, особливо систем якості і т.п. Єдиним недоліком такого матеріалу можна признати те, що його автори не є фахівцями, які слабо розбираються в формуванні якості продукції при її розробці та виготовленні, наприклад, політиками, економістами, соціологами і тому він носить загальний, а інколи гасловий характер, що значно знижує його цінність і перешкоджає практичному застосуванню. Вплив зовнішніх чинників навколишнього середовища, влади і держави висвітлений досить слабо, замасковано, хоча він величезний і зводить нанівець навіть позитивний вплив внутрішніх чинників. Це в першу чергу стан економіки і законодавства держави, що значно гальмує підвищення якості продукції і вже привів до найнижчого рейтингу, при цьому нариваючись на демагогічні оскарження з боку псевдо економістів і таких же політиків, які стверджують, що все іде добре (*хіба що в них?*) і країна рухається в правильному напрямку. хоча згідно опитувань 67,3 % українців вважає, що країна іде в неправильному керунку, а якість продукції постійно падає.

Головними внутрішніми чинниками, що впливають на якість, є розробка та виготовлення продукції. Рівень самої продукції та технологічного обладнання з оснащенням, на якому вона виготовлятиметься, має відповідати світовому. Тут першим є маркетинг, який повинен забезпечувати такий рівень шляхом правильного виявлення прототипу, в першу чергу за показниками якості. Впевнившись, що розроблювана продукція буде кращою за прототип (в протилежному випадку нема чого її розробляти!) і матиме на ринку попит на довгий час, можна приступати до її розробки. При розробці необхідне як мінімум використання сучасних методів проектування, найкраще інноваційних, і обов'язкове проведення під час розробки випробувань на якість. Тільки це дає можливість вдосконалити конструкційну розробку і одержати більш високі показники якості продукції.

Далі розробляється технологія виготовлення продукції з подібними підходами: сучасність методики, інноваційність, забезпечення якості, організація виробництва, тощо. При цьому важливим є використання нового технологічного обладнання, на якому повинні працювати кваліфіковані робітники. В умовах відсутності фінансування цю умову

виконати поки що важко, а інколи і неможливо, що приводить до загальмування технічного прогресу та економіки.

Таким чином, для підвищення якості продукції необхідно усунути такі недоліки як: відсутність сучасної продукції, що відповідає високим технологіям, застарілість матеріально-технічної бази, погані організацію, кадрове забезпечення, не кваліфікованість керівної ланки, велику затратність виробництва, значні ціни на технологічне обладнання, матеріали, сировину, покупні вироби, енергоносії, значну кількість проміжних невиробничих організацій, ланок, відсутність відповідальності за допущені помилки тощо.

Якість продукції визначається її технічним і організаційним рівнем, відтвореним в показниках якості та досконалості конструкції виробу, структурою способу, процесу [2]. За всім цим стоять витрати на розробку та виготовлення продукції з обов'язковим врахуванням витрат на експлуатацію виробів і здійснення процесу. Тому напрямком підвищення якості продукції не може бути лише скорочення виробничих і експлуатаційних витрат, що безумовно є важливим, але досконалість виробу, процесу є не менш значущим. Така продукція має бути інноваційною, а краще виконана на рівні патентів, в якій вже закладені суттєві новизна, корисність і ефективність. Тому, наприклад, модернізувати стару відому продукцію, котра не має інноваційних потенційних резервів недоцільно, оскільки більш ефективним буде розробка принципово нової інноваційної продукції. Особливо широке поле для такої діяльності відкривається у зв'язку з широкою комп'ютеризацією та впровадженням інформаційно-комунікаційних технологій [3].

Сумнівна сьогоденна боротьба з негативними явищами підтверджується відсутністю її ефективності. Тут також слід відмітити вплив на якість продукції подвійних стандартів. Та й хіба можна очікувати успіху, коли з корупцією борються самі корупціонери, хабарами – хабарники, злодійством – самі злодії, шахрайством – самі шахраї і т.п. Захищаючи, наприклад, низьку якість продукції та її не конкурентоспроможність навіть придумали різні митні оплати, збори, «захист» вітчизняного виробника тощо.

Вимагає вирішення і більш складне завдання по створенню сприятливого соціально-психологічного клімату, підвищенню духовності, які є похідними від економічного та політичного стану країни. Тут також немає чого винаходити, відомий світовий досвід, найкращим з якого є японський, який також чомусь нікого не цікавить. Ще кращий Сінгапурський досвід, оскільки Сінгапур на першому місці в рейтингу Світового банку за показниками конкурентності. Відомий також польський та прибалтійський досвід і інші.

Справдилась байка Крилова І.А. *«Беда, коль пироги начнет печи сапожник, а сапоги тачать пирожник»*. І в наслідок посипались, як з дірявого мішка, недолугі реформи, закони, постанови, ухвали, інструкції, роз'яснення та інший бюрократично-паперовий вал. Так і хочеться згадати фрігійського царя Мідаса з VII століття д.н.е, який до чого доторкався, перетворював усе у золото. Напрошується порівняння з точністю до навпаки: до чого не доторкнуться наші сучасні антимідаси - законодавці, влада, чиновники, все перетворюється у непотріб, який гальмує будь-який розвиток країни, але при їхньому збагаченні. Підтверджується це їх 27-річною «діяльністю», в результаті якої Україна постійно займає останні місця в рейтингах країн світу за корисними показниками, зате перші за негативними. Для успіху треба майже все переробити, усунувши вплив негативних чинників на якість продукції, але в першу чергу змінити олігархічно-люмпенську модель економіки та недолуге керівництво. Слабка надія на покращення ситуації пов'язана з переобранням президента, кваліфікованого й працездатного парламенту та уряду.

#### Список посилань

1. Шабайкович, В.А. Управління забезпеченням якості продукції [Текст] / В. А. Шабайкович // – Львів.: ЛІМ, 2013. – 235 с.

2. Григор'єва, Н. С. Науково-технологічні основи гнучкого модульного автоматичного складання виробів [Текст] / Н. С. Григор'єва // – Луцьк: Надстир'я, 2008. – 520 с.
3. Шаповал М.І. Менеджмент якості [Текст] / М.І. Шаповал // – К. Т-во «Знання». КОО, 2003. – 475 с.

УДК 621.91.01

**Мироненко Е.В., докт. техн. наук, професор,  
Міранцов С.Л., канд. техн. наук, доцент,  
Гузенко Д.Є., аспірант**

Донбаська державна машинобудівна академія, evgeny.mironenko@digma.donetsk.ua

## **БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНА ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ТОКАРНОЇ ОБРОБКИ НА ВАЖКИХ ВЕРСТАТАХ**

Токарна обробка валків прокатних станів характеризується значною питомою часткою часу в загальній трудомісткості виготовлення валків. У зв'язку із цим підвищення ефективності токарної обробки прокатних валків є актуальним і важливим науково-практичним завданням, що постає перед підприємствами-виробниками прокатного встаткування. У ході технічного переоснащення виробництва прокатних валків на провідних підприємствах галузі повною мірою проявляється проблема ефективного інструментального забезпечення токарної обробки. Зокрема, при токарній обробці сталевих прокатних валків усе частіше застосовуються токарні різці із твердосплавними ріжучими пластинами зі зносостійкими покриттями виробництва провідних світових фірм-виробників інструменту. Особливості технологічного процесу виготовлення прокатних валків найчастіше вимагають використання таких різців не тільки на чистових токарних операціях, але й на операціях напівчистої обробки. У зв'язку із зазначеними причинами вивчення й наукове обґрунтування можливостей ефективної напівчистої токарної обробки сталевих валків прокатних станів різцями із твердосплавними ріжучими пластинами зі зносостійкими покриттями різного складу має велике практичне значення для підприємств галузі. При цьому розв'язання проблеми підвищення ефективності напівчистої токарної обробки прокатних валків повинне носити комплексний характер і включати забезпечення високих показників стійкості різців і технологічних характеристик деталей, а також високих показників енергоефективності процесу обробки.

У структурі технологічних процесів виготовлення подібних деталей переважає токарна обробка, яка виконується на важких токарних верстатах, причому близько 70 % часу витрачається на точіння зовнішніх циліндричних поверхонь [1].

Одним з найбільш перспективних напрямків підвищення ефективності процесів механічної обробки є застосування різальних інструментів зі зносостійкими покриттями [2–7], які знаходять усе більшого застосування й для напівчистої, і навіть для чорнової токарної обробки деталей важкого машинобудування, у тому числі прокатних валків з великими діаметрами бочки валка, що вимагає у свою чергу багатокритеріальної оптимізації параметрів технологічного процесу й параметрів технологічних систем важких токарних верстатів.

Для підвищення ефективності токарної обробки на важких токарних верстатах розроблений програмно-математичний комплекс (ПМК) для багатокритеріальної оптимізації параметрів технологічного процесу й технологічної системи важких токарних верстатів. Алгоритм оптимізації здійснює роботу безпосередньо з генетичними методами й нейронною мережею [8].

Для виконання задачі багатокритеріальної оптимізації параметрів технологічного процесу механічної обробки в ПМК закладена можливість визначення параметрів інструменту (ріжучих пластин), з наступним формуванням і нагромадженням бази

інструмента, завдання параметрів оброблюваної деталі: вказівка матеріалу й зусиль різання. Також для різних параметрів технологічного переходу передбачена можливість сформувати таблицю нормативних параметрів, по якій буде зроблене навчання нейронної мережі. Результати оптимізації зберігаються у двох форматах:

- формат, що дозволяє повторно переглянути результати проведеної оптимізації безпосередньо в ПМК для автоматизації процесу отримання моделей й багатокритеріальної оптимізації без повторного проведення процесу оптимізації;
- текстовий файл, що містить інформацію про проведену оптимізацію для подальшого парсингу та використання у сторонніх додатках.

#### **Загальні висновки:**

1. На підставі проведених досліджень систематизовані й проаналізовані результати проведених на базі ПАТ НКМЗ (м. Краматорськ) стікисних випробувань токарних різців із твердосплавними різальними пластинами зі зносостійкими покриттями різних фірм-виробників при напівчистовій обробці валків прокатних станів з великими діаметрами бочки валка з метою подальшого формування комплексу рекомендацій з ефективного використання цих твердих сплавів у зазначеній області.

2. Розроблений програмно-математичний комплекс (ПМК) для автоматизації процесу отримання моделей й багатокритеріальної оптимізації. ПМК дозволяє виконувати настроювання значень цільових функцій оптимізації, параметрів створюваних нейронних мереж, генетичного алгоритму.

3. Для виконання задачі багатокритеріальної оптимізації параметрів технологічного процесу механічної обробки в ПМК закладена можливість завдання параметрів інструмента (ріжучих пластин), з наступним формуванням і нагромадженням бази інструмента, завдання параметрів оброблюваної деталі: завдання матеріалу й зусиль різання. Також для різних параметрів технологічного переходу передбачена можливість сформувати таблицю нормативних параметрів, по якій буде зроблене навчання нейронної мережі.

4. Виконана багатокритеріальна оптимізація параметрів технологічного процесу й параметрів технологічної системи важких токарних верстатах при обробці валків прокатних станів.

#### **Список посилань**

1. Мироненко, Е. В. Научные основы создания систем агрегатно-модульных инструментов для тяжелых токарных станков : дис. ... д-ра техн. наук : 05.03.01. / Е. В. Мироненко ; Донбасская гос. машиностроительная академия. – Краматорск, 2003. – 417 с.

2. Верещака, А. А. Режущие инструменты с модифицирующими износостойкими комплексами / А. А. Верещака, А. С. Верещака, М. И. Седых. – М. : МГТУ «Станкин», 2014. – 195 с. – ISBN 978-5-7025-0712-6.

3. Верещака, А. А. Функциональные покрытия для режущих инструментов / А. А. Верещака // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2015. – № 4 (48). – С. 25–39.

4. Верещака, А. С. Методологические принципы создания функциональных покрытий для режущего инструмента / А. С. Верещака, С. Н. Григорьев, В. П. Табаков // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2013. – № 3. – С. 18–39.

5. Табаков, В. П. Формирование износостойких ионно-плазменных покрытий режущего инструмента / В. П. Табаков. – М. : Машиностроение, 2008. – 311 с. 8. Мацевитый, В. М. Покрытия для режущих инструментов / В. М. Мацевитый. – Х. : Вища шк. Изд-во при Харьк. ун-те, 1987. – 128 с.

6. Костюк, Г. И. Эффективный режущий инструмент с покрытием и упрочненным слоем : справочник / Г. И. Костюк. – К. : Антика, 2003. – 412 с. – ISBN 966-8105-21-4.

7. Соловьев, В. В. Применение пластин с покрытиями при черновом точении на тяжелых токарных станках / В. В. Соловьев, Е. В. Мироненко, В. С. Гузенко // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. – № 3. – 2010. – С. 54–59.

8. Саймон Хайкин. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание. – Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. - 1104с.

УДК 621.38

Калафатова Л.П., докт. техн. наук, професор  
Славінський В.О., магістр

Донецький національний технічний університет, [lydmila.kalafatova@gmail.com](mailto:lydmila.kalafatova@gmail.com)

## ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ В УМОВАХ СУЧАСНИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ ВИРОБНИЦТВ

Інтенсифікація сучасного машинобудівного виробництва вимагає втілення високопродуктивних методів обробки, серед яких усе більшу увагу виробників привертає використання технології високошвидкісної обробки (ВШО), яка реалізується на ультрасучасних верстатах з ЧПК з частотою обертання шпинделя більше  $10\,000\text{ хв}^{-1}$  і подачею від 3000 до 15000 мм/хв, що особливо ефективно при обробці складнопрофільних деталей на операціях фрезерування [1].

До недавнього часу широке використання цієї технології стримували: відсутність належних верстатів і систем ЧПК і різального інструменту. Зараз ці проблеми в принципі вирішені. Тому тенденція до розширення використання ВШО носить сталий характер і розповсюджується на прогресивні машинобудівні підприємства України. Прикладом такого підприємства може бути ВАТ «Донбаська індустріальна компанія», продукцією якої є різноманітне гірничо-шахтне обладнання. Технологія виробництва машин цього типу передбачає значний об'єм фрезерних операцій при обробці габаритних складнопрофільних деталей і підвищення ефективності процесів їх формоутворення.

Але впровадження технології ВШО на конкретному виробництві вимагає від технологів розуміння особливостей процесів, що відбуваються в цьому випадку при різанні, а також відповідності наявних верстатів, обладнання, інструментів, систем програмування і керування верстатами можливостям ефективного впровадження ВШО.

Високошвидкісна механічна обробка (HSM – High Speed Machining) [1], в останні роки суттєво змінили підхід до методів механообробки. Сьогодні підприємства провідних країн світу достатньо широко використовують ВШО при швидкостях різання 500...1500 м/хв і більше при обробці різних матеріалів, у тому числі і важкооброблюваних сталей.

Теоретичним обґрунтуванням технології ВШО є встановлений факт зниження сил різання у деякому діапазоні швидкостей різання. Встановлено, що температура різання залежить від швидкості не монотонно, а має екстремальний характер. Це дозволяє досягти значних швидкостей різання при виході за межі цього екстремуму, досягаючи 130 000 м/хв. Були запропоновані фізичні і математичні моделі, що пояснюють цей ефект [1, 2].

Одним з важливих факторів при ВШО є не тільки зниження величини сил різання в зоні високих швидкостей, але і перерозподіл тепла в зоні обробки. Це відбувається за рахунок того, що при невеликих перерізах зрізу в даному діапазоні швидкостей основна маса тепла, яке є причиною зносу інструменту, концентрується в стружці і не успіває переходити в заготовку. Встановлено, що при вірному підборі параметрів 75% виробленого тепла відводиться зі стружкою, 20% - через інструмент і 5% - через оброблювану деталь [2]. Перевага ВШО відбувається також за рахунок обробки в надкритичному діапазоні коливань: при високих частотах обертань, які значно перевищують частоти власних коливань деталі, інструменту та елементів верстата.

Рис.1 графічно ілюструє загальні властивості ВШО, показуючи тенденції зміни об'єму видаленого матеріалу (продуктивність процесу), якості поверхні, сил різання і стійкості інструменту в залежності від швидкості різання. Вирішальним фактором в оцінці процесу HSM-обробки є продуктивність верстатів, що визначає вартість виробництва і підвищення якісних характеристик процесу обробки. Для цього повинні бути виконані наступні умови щодо елементів технологічної системи.

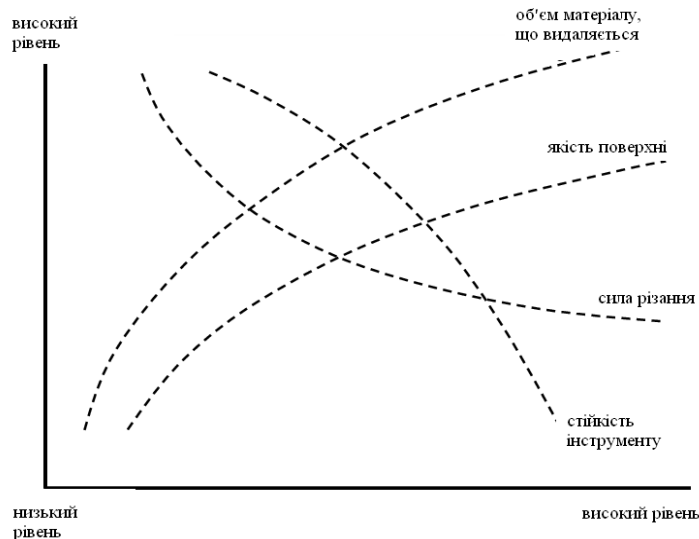


Рис. 1 – Зміни якості обробки деталі, стійкості інструменту, сили різання і об'єму матеріалу, що видаляється, при використанні технології ВШО [1]

**Конструкція верстатів** повинна забезпечити: високу жорсткість і безвібраційність, що досягається за рахунок великої маси базових частин, спеціальної конструкції напрямних для можливості плавного переміщення рухомих частин верстат при їх малих масі та інерції; термічну стабільність усіх елементів верстату при мінімальних температурних деформаціях; наявність електродвигунів лінійного типу для забезпечення великої робочої подачі, високого прискорення, безступінчастості регулювання, високої точності; наявність високошвидкісного шпинделя як найбільш фундаментального компонента верстату для ВШО, який забезпечує потрібний рівень частот обертання шпинделя (обмежується конструкцією підшипників) і дозволяє використати їх найбільш ефективно [1, 2],

**Системи ЧПК** і вимоги, які надаються до САМ систем, що використовуються при підготовці керуючих програм і повинні забезпечити широкий вибір стратегій обробки, а саме: особливо точне керування приводами подач і головного руху, наперед за все виконуючи функції високої швидкості обробки даних для забезпечення безперервного руху інструменту при зміні його напрямку і швидкості руху; плавний закон зміни величини подачі для підвищення якості поверхні і зниження навантажень на інструмент.

**Різальний інструмент** для ВШО повинен мати підвищену стійкість. Різальна частина інструменту виготовляється із різних матеріалів, включаючи мікрозернисті карбіди, полікристалічні алмази і нітрид бору, поширено використання зносостійких покриттів.

При впровадженні технології ВШО для забезпечення високої якості і точності оброблюваної поверхні додаткову увагу потрібно надавати підбору режимів різання з точки зору знаходження зон, де відсутні вібрації при високих швидкостях різання, а також розробці і використанню новітніх методів створення керуючих програм.

#### Список посилань

1. Wroblewski Adam C. Model Identification, Updating, and Validation of an Active Magnetic Bearing High-Speed Machining Spindle for Precision Machining Operation: Thesis, 2011 [Електронний ресурс] – Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/281936470\\_Model\\_Identification\\_Updating\\_and\\_Validation\\_of\\_an\\_Active\\_Magnetic\\_Bearing\\_High-Speed\\_Machining\\_Spindle\\_for\\_Precision\\_Machining\\_Operation](https://www.researchgate.net/publication/281936470_Model_Identification_Updating_and_Validation_of_an_Active_Magnetic_Bearing_High-Speed_Machining_Spindle_for_Precision_Machining_Operation)
2. Серебrenицкий П.П. Высококоростная механическая обработка [Електронний ресурс] // Мир-Пром – Режим доступа: <https://mirprom.ru/public/vysokoskorostnaya-mehaniicheskaya-obrabotka.html>

УДК 621.91

Ковалевський С.В., докт. техн. наук, професор  
Ковалевська О.С., канд. техн. наук, доцент  
Кошевой А.О., аспірант

Донбаська державна машинобудівна академія, [kovalevskii@dgma.donetsk.ua](mailto:kovalevskii@dgma.donetsk.ua)

### УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ БАГАТОРІЗЦЕВИХ РІЗАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ З МЕХАНІЧНИМ КРІПЛЕННЯМ ПЛАСТИН

Незважаючи на велику кількість типорозмірів непереточуваних пластин, відповідних різним конструкціям металорізального інструменту, в тому числі таких, в яких використовується групове застосування пластин [1], спостерігаються різні ступені зносу інструменту при однакових умовах різання. Це свідчить про те, що стабільність властивостей цих пластин навіть в межах партії неоднкова. Втрата різальних властивостей окремими пластинами в багаторізцевому інструменті здатна заподіяти брак виробів. При цьому частина пластин використовує свій ресурс не повністю. Але, як показує практичний досвід, оптимізація режимів різання згідно рекомендаціям фірм-виробників різальних пластин не завжди забезпечує позитивні результати.

Ціль роботи - розробка способу підвищення розмірної стійкості багаторізцевого різального інструменту з механічним кріпленням різальних пластин. Для її досягнення цілі були вирішені наступні завдання:

- запропонувати підхід до коректування якості багаторізцевого різального інструменту з механічним кріпленням різальних пластин;
- розробити методику експериментальних досліджень запропонованого підходу до підвищення експлуатаційних характеристик багаторізцевого різального інструменту з механічним кріпленням різальних пластин;
- розробити пристрій для експериментальних досліджень;
- дослідити технологічні можливості впливу на різальні властивості інструменту
- розробити рекомендації щодо підвищення експлуатаційної надійності багаторізцевого різального інструменту з механічним кріпленням різальних пластин.

Раніше авторами роботи було доведено, що при виготовленні твердосплавних різальних пластин кожна різальна пластина відрізняється по внутрішній структурі, та розмірам, що веде до їх різних експлуатаційних характеристик [2,3,4]. Ця різниця фіксується за акустичними індексами, що засновані на порівнянні акустичних спектрів вимушених коливань пластин навіть в межах однієї партії пластин.

Зроблено припущення, що при монтажі багаторізцевого різального інструменту з механічним кріпленням різальних пластин в залежності від зусилля закріплення, змінюються акустичні індекси вже встановлених пластин.

Для експериментальних досліджень був розроблений діагностичний пристрій (рис.1), в якому передбачений одночасно випромінювач широкосмугового (20 кГц.) сигналу, роздільна здатність якого складає 172 Гц. Конструкція діагностичного пристрою має особливості, які полягають в наступному. П'єзовипромінювач, що з'єднаний з хвілелеводом (сталевий стрижень)

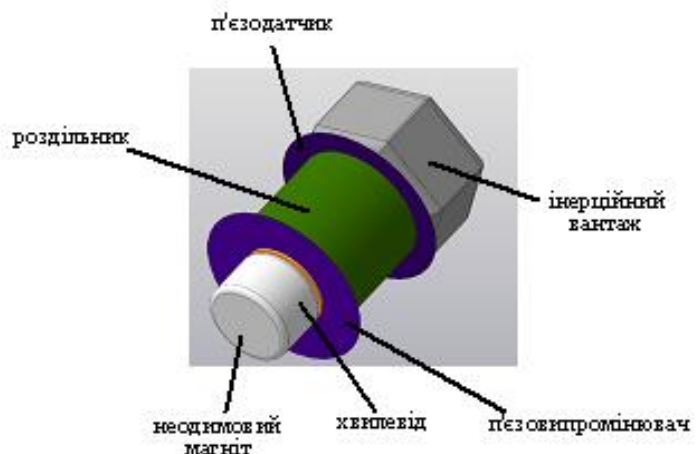


Рис. 1 – Діагностичний пристрій

розділений вставкою (роздільником) з п'єзодатчиком здатен порушувати власні коливання кожної різальної пластини в складі різального інструменту. Для забезпечення однакового зусилля притиску діагностичного пристрою (див. рис.1) застосований неодимовий магніт, а для підвищення чутливості п'єзодатчика застосований інерційний вантаж.

Установка діагностичного пристрою показана на рис. 2.

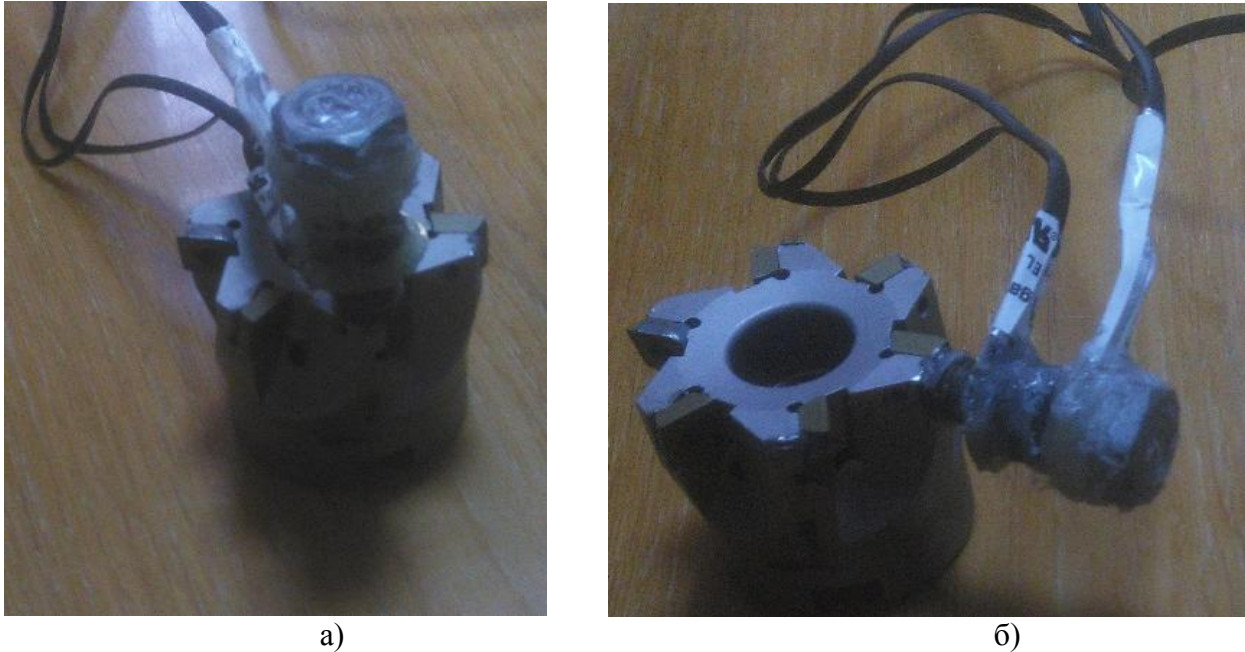


Рис. 2 – Установка діагностичного пристрою: а) положення 1, б) положення 2,

Оскільки вплив діагностичного пристрою виконувалася за допомогою програмного генератора «білого шуму», сигнал якого через ЦАП в вигляді звукової карти комп'ютера і підсилювача низької частоти з подальшою фіксацією спектра АЧХ через мікрофонний вхід АЦП (друга звукова карта) і оцифруванням спектра сигналу п'єзодатчика, було виконано калібрування експериментального стенду «на холостому ході» - без установки діагностичного пристрою в положення 1 і 2 (рис.2). Калібрувальна АЧХ представлена на рис.3.

З урахуванням власних шумів експериментального стенду, за вирахуванням калібрувальної отримано АЧХ власних коливань кожної пластини  $S_p[A(t)] = S_e[A(t)] - S_k[A(t)]$ , де  $S_e[A(t)]$  - експериментальна АЧХ (рис.4).

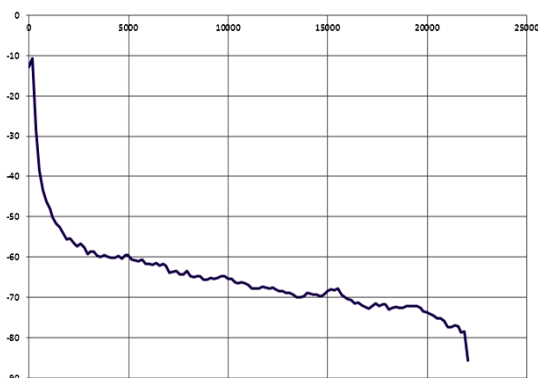


Рис. 3 – Калібрувальна АЧХ експериментального стенду  $S_k[A(t)]$

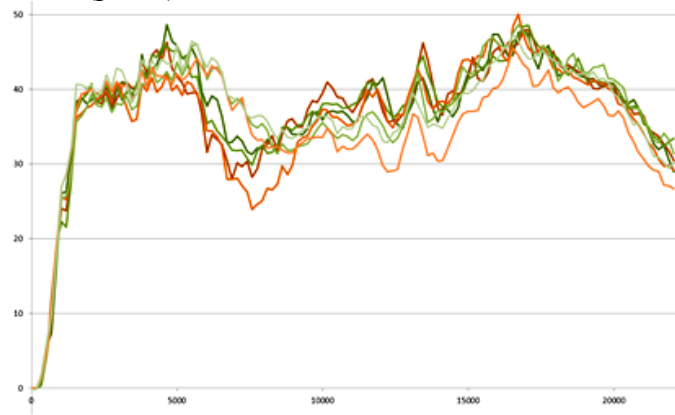


Рис. 4 – АЧХ власних коливань кожної пластини

Масив експериментальних АЧХ був оброблений з використанням нейромережного емулятору NeuroPro 0,25 [5]. В результаті апроксимації даних виявлено, що найбільш



значимою частотою АЧХ, яка має зв'язок з зусиллям затиску непереточуваних різальних пластин з кореляцією, що дорівнює 1,0, є 15679,3 Гц. Отримано нейромережну модель залежності амплітуди на частоті 15679,3 Гц від зусилля затиску кожної пластини (рис.5).

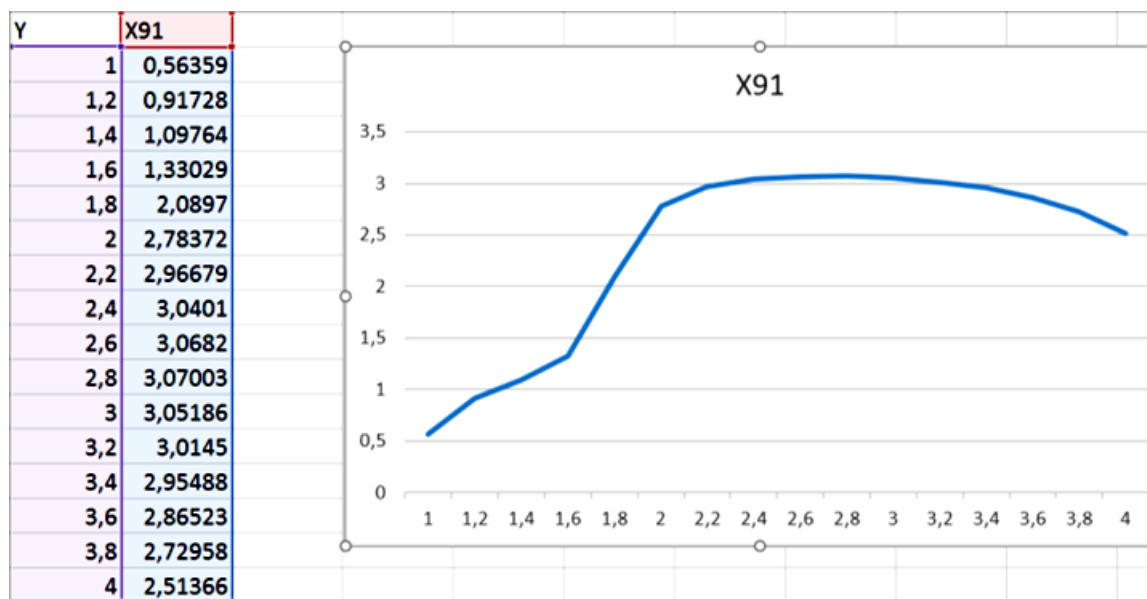


Рис. 5 – Графік залежності амплітуди на частоті 15679,3 Гц від зусилля затиску кожної пластини

Це надало можливість враховувати характеристики пластин підбором сил затиску для зміни АЧХ, що забезпечує однакові умови роботи та період стійкості кожної з комплекту пластин для багаторізевого інструменту. Тому, для підвищення експлуатаційних характеристик багаторізевого інструменту необхідно знизити вплив нестабільності різальних властивостей непереточуваних пластин шляхом наближення відхилень АЧХ усіх пластин одна від однієї до мінімуму. Цільова функція  $F(\overline{S}_{\Sigma})$  представлена формулою (1):

$$F(\overline{S}_{\Sigma}) = \sum_n [\overline{S}_i(A) - \overline{S}_{j \neq i}(A)]^2 \rightarrow \min \quad (1)$$

де n – кількість непереточуваних пластин багаторізевого інструменту.

#### Список посилань

1. Інформаційний ресурс <https://docs.steelcam.org/dormer-pramet/obshij-katalog-2018-page558> (режим доступу 23.04.2019)
2. Діагностика технологічних систем і виробів машинобудування (з використанням нейромережевого підходу) : монографія / С. В. Ковалевський, О. С. Ковалевська, Є. О. Коржов, А. О. Кошевой ; за заг. ред. д.т.н., проф. С. В. Ковалевського. – Краматорськ : ДДМА, 2016. – 186 с.
3. Ковалевський С.В. Нейросетевое прогнозирование стойкости упроченных режущих пластин / Ковалевський С.В., Ковалевська О.С., Євсюков Є.Ю., Кошевой А.О. // «Нейросетевые технологии и их применение НСТИП2014» сборник научных трудов - Краматорск: ДГМА, 2017. – С.56.
4. Ковалевский С. Высоковольтный разряд как фактор повышения режущих свойств неперетачиваемых пластин / С. Ковалевский, Е. Ковалевская, А. Кошевой // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты) – 2018. – Т. 20. – № 3. – С. 6–17.
5. Царегородцев В. Г. Взгляд на архитектуру и требования к нейроимитатору для решения современных промышленных задач / Царегородцев В. Г.// Научная сессия МИФИ2004: сб. науч. тр. Ч. 2. М.: МИФИ, 2004. – с. 160–167.

УДК 621.91

Ковалевський С.В., докт. техн. наук, професор  
Ковалевська О.С., канд.техн.наук, доцент  
Глушич К.С., магістр

Донбаська державна машинобудівна академія, kovalevskii@digma.donetsk.ua

## ОБРОБКА РОБОЧИХ ПОВЕРХНІВ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ОБЕРТОВИМ МАГНІТНИМ ПОЛЕМ

Мета роботи полягає у вдосконаленні процесу, щодо підвищення зносостійкості поверхонь тертя. Вирішення цієї проблеми в підвищенні міцності робочої поверхні деталі машини за допомогою обертового магнітного поля на етапах механічної обробки [0].

Інструмент представляє собою чотири магнітопроводи, кінці кожного зведено в одну точку, з обмотками, які зміщені на  $90^\circ$  один відносно одного. Синусоїдальний струм у кожній з чотирьох стаціонарних котушок виробляє чотири змінні магнітні поля, перпендикулярні до осі обертання, які створюють одне обертове магнітне поле [0]. Рух 4-фазного синусоїдального струму в обмотках  $L_1, L_2, L_3$  із зсувом  $\frac{\pi}{2}$  вказано на рисунку 1.

Кількість витків  $N=3500$  на одній обмотки, при довжині  $l=43\text{мм}$ , зовнішньому діаметру  $D=10\text{мм}$  обмотки. Ємкість одного із трьох підключених конденсаторів  $C=30\text{мкФ}$ .

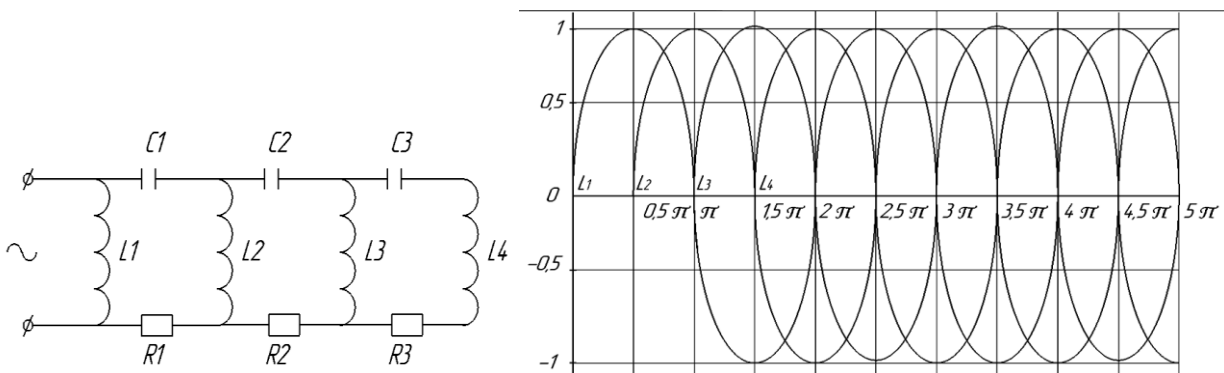


Рис. 1 – Принципова схема створення обертового магнітного поля в обмотках  $L_1, L_2, L_3, L_4$

Проведено розрахунок резонансної частоти коливального контуру. Визначення індуктивності  $L_i$  проводилися за формулою 1 [2]:

$$L = \frac{\left(\frac{D}{10}\right)^2 \cdot N^2}{(4,5 \cdot D) + (10 \cdot l)} \quad (1)$$

Звідси, індуктивність  $L = 25789$  мкГн.

Частота коливального контуру розрахована за формулою [2]:

$$f_{i=1...4} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_i \cdot C}} \quad (2)$$

Звідси, частота  $f = 180$  Гц. Для досконалого аналізу дослідження проводили при 100Гц, 200Гц, 300Гц.

Експериментальна установка показана на рисунку 2.

В результаті проведення експерименту точкового впливу обертового магнітного поля (інтервал виміру твердості 2 хвилини) отримано результати залежності твердості від часу впливу та способу обробки. (рис. 3).

Згідно методики проведено експериментальні дослідження. Результати свідчать про наявність екстремальних значень твердості при прогнозуванні резонансної частоти 200 Гц. Виявлено ефект екстремальної залежності твердості від тривалості процесу, що на

нашу думку пояснюється ефектом, який спостерігається при тривалій вібраційній обробці. Ефект підвищення твердості при зменшенні швидкості пояснюється позитивним впливом тривалості дії обертового магнітного поля, але в межах обмежень попереднім зауважень.

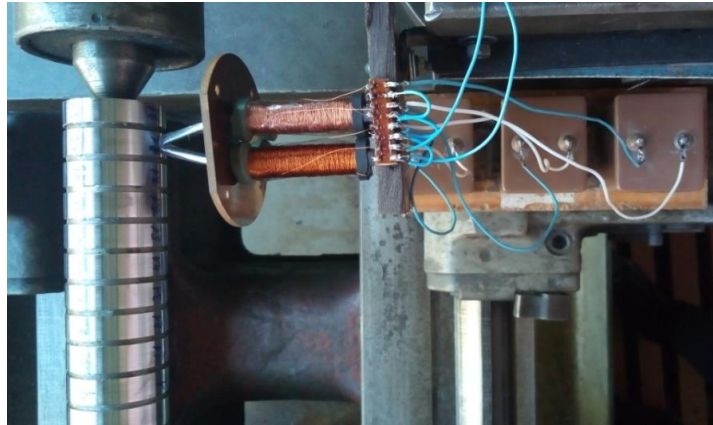


Рис. 2 – Експериментальна установка

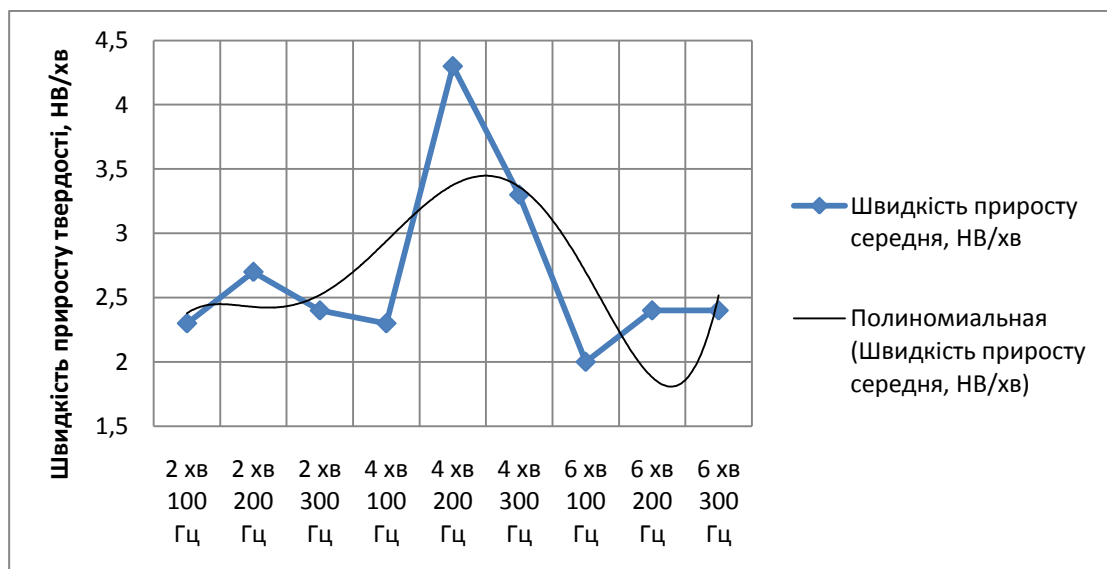


Рис. 3 – Графік залежності швидкості приросту твердості від параметрів обробки обертовим магнітним полем

На підставі гіпотези і експериментальних досліджень можна стверджувати, що безконтактна обробка обертовим магнітним полем дозволяє отримувати позитивні зміни якості поверхневого шару, полягає у підвищенні твердості та зносостійкості. Встановлено, що є екстремальні значення показників при обробці в умовах резонансу частоти обертового магнітного поля та власної частоти обробки поверхні.

Таким чином гіпотеза підтверджена результатами експерименту: підвищення зносостійкості поверхонь тертя при 3 хвилинах випробування – в 1,1...1,2 раз, при 6 хвилинах – в 1,3...1,4 раз, при 9 хвилинах – в 1,5...1,6 раз.

#### Список посилань

1. Позитивне ріш на патент. Заявка u 2018 06373, МПК С23С 16/02, С23С 22/00, F26В 3/347. Спосіб нанесення покриття на робочі поверхні деталей машин / Ковалевський С.В., Глушич К.С.; заявник Донбаська державна машинобудівна академія. – № u2018 06373; подання 07.06.2018; позитивне рішення 08.10.2018. – 8 с.

2. Васецкий Ю.М. Асимптотические методы решения задач электродинамики в системах с массивными криволинейными проводниками: Монография / Ю.М. Васецкий. – К.: Наукова думка, 2010. – 270 с.

УДК 621.923

Кологойда А.В., ст. викладач

Чернігівський національний технологічний університет. [kolohoida@gmail.com](mailto:kolohoida@gmail.com)

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ШЛІФУВАННЯ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ТА ГОЛЧАСТОЇ ПОВЕРХОНЬ ЗІ СХРЕЩЕНИМИ ОСЯМИ КРУГА І ВАЛИКА ТЕКСТИЛЬНОЇ МАШИНИ

У процесі створення текстильної продукції широко використовуються чесальні агрегати. Основними функціональними частинами яких є барабани та валики, а робочими елементами виступають голки. З метою спрощення виготовлення, а також забезпечення необхідних умов закріплення, голки закріплюють на спеціальній основі, утворюючи голчасту гарнітуру. Яка розрізняється за розміром, формою та порядком закріплення на ній голок і вибирається в залежності від стадії обробки та типу сировини [1, 2, 3].

Оскільки, продуктивність та якість продукції залежить від стану робочих органів, то проблема обробки гладкої циліндричної та голчастої поверхні барабанів та валиків текстильних машин є актуальною.

Наразі одним з провідних підприємств України по випуску виробів з вовни є Чернігівське товариство КСК «Чексіл», при цьому більш ніж 50% загального обсягу продукції експортується у країни Європи.

Найбільш розповсюдженими є текстильні машини польського підприємства Vefama та німецького Oetir. Вони випускають чесальні агрегати з барабанами діаметром до 3,5 м та валиками до 240 мм. Враховуючи значні габарити, барабани шліфують безпосередньо на текстильній машині з застосуванням спеціальних пристроїв. А валики оброблюють на круглошліфувальних верстатах, причому вони знімаються і встановлюються для шліфування підшипниках, по яких базуються в чесальній машині.

При прочісуванні, на якість продукції впливає два основних фактори [1, 2, 3, 4].

По-перше, геометрична форма зовнішньої циліндричної поверхні барабанів та валиків, при цьому похибка форми твірної сприяє утворенню нерівномірності зазору між робочими поверхнями (рис. 1, а), що в свою чергу збільшує кількість пороків на одиницю довжини вовни.

По-друге, форма робочої поверхні голки та наявність задирки на її кінчику (рис. 1, б). При заточуванні голчастої гарнітури бажано отримати плоску торцеву поверхню голок, та уникнути виникнення задирок, оскільки видалити їх при подальшому шліфуванні практично не можливо [4]. Однак в процесі прочісування вовни вони викликають розрив нитки та збільшення відсотку неякісного виробу.

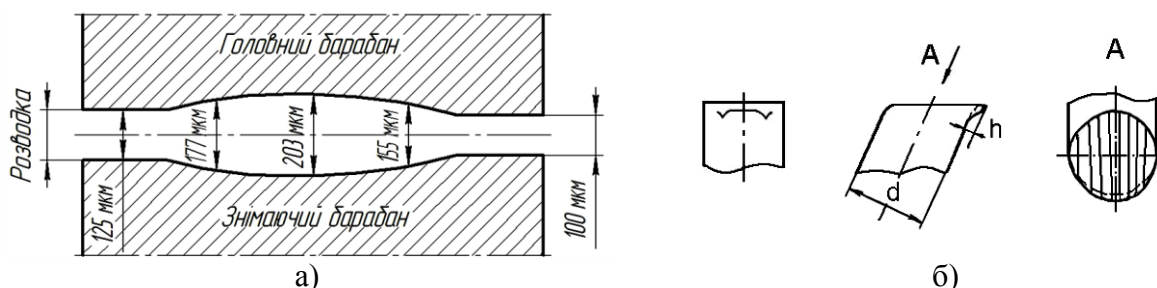


Рис. 1 – Похибка форми твірних барабанів а) та робочої поверхні голки б)

Перед намотуванням голчастої гарнітури на поверхню барабанів та валиків текстильних машин їх попередньо оброблюють для забезпечення необхідної точності та шорсткості. Запропоновано новий спосіб однопрохідного доводочного шліфування [5] зі схрещеними осями шліфувального круга та текстильного валика. За яким оптимальний кут орієнтації інструменту обирають за умови максимального завантаження різальної

кромки, а продуктивність обробки збільшується за рахунок збільшення частоти обертання круга та деталі.

Після намотування гарнітури на базову циліндричну поверхню валиків та барабанів, попередньо здійснюють її вирівнювання, а потім остаточне заточування голчастої поверхні. Крім того, оскільки в процесі роботи агрегату, у результаті фрикційного зносу кінчики голок затуплюються, то необхідно також виконувати періодичне переточування гарнітури. З метою підвищення продуктивності та якості заточування голчастої поверхні розроблено спосіб шліфування [6]. Обробка здійснюється зі схрещеними осями інструмента та деталі, де кут орієнтації обирається з умови максимального завантаження різальної кромки, а максимальна подача з умови допустимої тепло напруженості у зоні обробки, з метою забезпечення сталої структури матеріалу кінчиків голок.

При заточуванні голчастої гарнітури значний вплив на прямолінійність циліндричної твірної робочої поверхні валика, а також на форму робочої поверхні голки мають динамічні складові процесу різання. Так, наприклад, при збільшенні швидкості різання торцева поверхня голки наближується до площини, а при зменшенні – набуває форму еліпсу. Експериментальним шляхом розраховано жорсткість голок, що дало можливість більш повно описати процес заточування голчастої фурнітури.

З врахуванням існуючих методик визначення сил різання [8, 9] розроблено методику визначення сили що діє на одиничне абразивне зерно з врахуванням кількості ріжучих та деформуючих зерен, а також жорсткості голчастої гарнітури. При цьому, також визначено кількість зерен з якими контактує одна голка.

З використанням САЕ систем [9, 10], зокрема пакету Abaqus досліджено навантаження на одиничне абразивне зерно в процесі шліфування. При цьому визначено закономірність розподілу сил різання вздовж його поверхні.

На базі теоретичних та експериментальних досліджень запропоновано методику розрахунку оптимальних режимів різання при заточуванні голчастої гарнітури, а також рекомендації до вибору параметрів шліфувального круга.

#### Список посилань

1. Оренбах С.Б. Повышение эффективности работы чесальных машин / Оренбах С.Б., Кофман Э.Д., Худых М.И. – М.: Легкая индустрия, 1980. – 176 с.
2. Салихов С.Б. Ворсование шерстяных тканей и трикотажного полотна. / С.Б.Салихов – М.: Легкая индустрия, 1967. – 287 с.
3. Механическая технология текстильных материалов: Уч. для вузов / [А.Г. Севостьянов, Н.А. Осьмин, В.П. Щербakov и др.] – М.: Легпромбытиздат, 1989. – 512 с.
4. Грабченко А.И. Шлифование со скрещивающимися осями инструмента и детали (Монография). / А. И. Грабченко, В. И. Кальченко, В. В. Кальченко. – Чернигов: ЧГТУ, 2009. – 356 с.
5. Кальченко В.І. Однопрохідне доводочне шліфування зі схрещеними осями круга та циліндричної деталі / В.І. Кальченко, А.В. Кологойда, Я.В. Кужельний, В.В. Морочко // Технічні науки та технології. – 2018. – №4 (14). – С. 9–17.
6. Декларацийний патент України №93394 В24В 19/00 “Спосіб заточування голчастої циліндричної поверхні периферією орієнтованого круга” /В.І. Кальченко, В.В. Кальченко, А.М. Єрошенко, А.В. Кологойда – Опубл. 25.09.2014, Бюл. № 18.
7. Филимонов Л.Н. Высокоскоростное шлифование. / Л. Н. Филимонов. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1979. – 248с.
8. Корчак С.Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей. / С.Н. Корчак. – М.: Машиностроение, 1974, – 280 с.
9. Криворучко Д.В. Моделирование процессов резания методом конечных элементов: методологические основы: монография / Д.В. Криворучко, В.А. Залого; под общей ред. В.А. Залого. – Сумы: Университетская книга, 2012. – 434 с.
10. 3D-моделирование алмазно-абразивных инструментов и процессов шлифования: Учебн. пособие / А.И. Грабченко, В.Л. Доброскок, В.А. Федорович. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. – 364 с.

УДК 621.923.42

Кужельний Я.В., викладач

Чернігівський національний технологічний університет, [k.y.v.immortal@gmail.com](mailto:k.y.v.immortal@gmail.com)

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ ОДИНИЧНИМ АБРАЗИВНИМ ЗЕРНОМ ПІД ЧАС ШЛІФУВАННЯ ПЛАСТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

У різноманітних галузях виробництва застосовуються циліндричні деталі з високими параметрами точності та якості. Для забезпечення необхідних величин даних параметрів застосовується фінішна операція шліфування.

Згідно з [1] під час процесу шліфування різання здійснюється не всіма різальними кромками робочої поверхні абразивного круга, а тільки тими, що знаходяться над зв'язкою. Проте із числа різальних кромки, що контактують з поверхнею деталі, стружку знімають тільки ті, які мають найбільш придатну форму вершин та необхідну глибину врізання в матеріал деталі.

Перед початком видалення поверхневого шару деталі абразивними зернами відбувається доволі довготривале ковзання різальної кромки в місці контакту. Це ковзання супроводжується пластичною деформацією матеріалу деталі. Інші різальні кромки в цей час виконують роботу тертя і пружної та пластичної деформації. Дана робота відбувається без зняття стружки. Для визначення моменту, коли закінчується пластична деформація і починається процес різання абразивними зернами, існує критерій, який представляє собою відношення глибини врізання до радіусу заокруглення вершини різальної кромки ( $a_z / \rho$ ). Тому на якість і точність поверхні деталі впливає не лише безпосередньо процес різання, а й пластичне деформування металу.

Складність дослідження процесу різання абразивними зернами під час шліфування полягає у тому, що інструмент має велику кількість різальних елементів, які, зазвичай, мають неправильну геометричну форму та розміщені у випадковому порядку.

При дослідженні процесу різання під час шліфування, приймають різноманітні можливі форми абразивних зерен – конус, еліпс, тетраїд, циліндр, призма, піраміда та інші.

Для дослідження різноманітних процесів, в тому числі й процесу різання під час шліфування, широке застосування отримав метод чисельного моделювання [2].

Використовуючи результати досліджень [2-5] було створено 3D модель процесу різання деталі одиничним абразивним зерном (рис. 1).

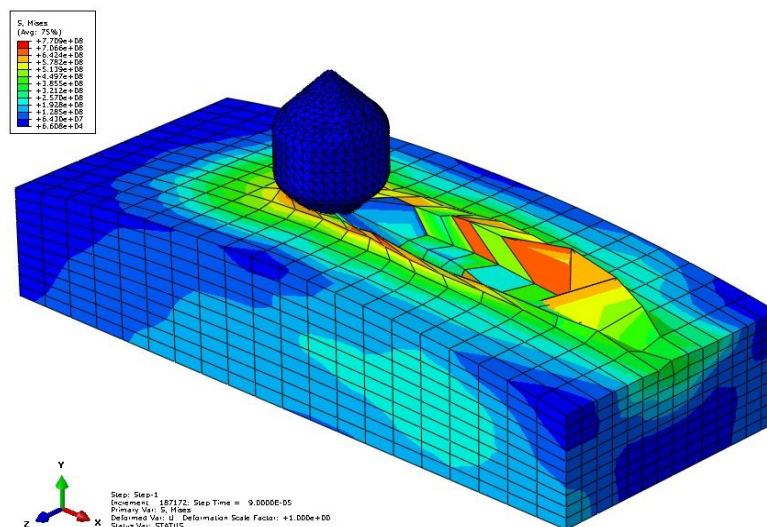


Рис. 1 – 3D модель процесу різання деталі одиничним абразивним зерном

Згідно із роботою Байкалова А.К. [6] зазвичай існує три положення абразивного зерна відносно деталі: перпендикулярне, повздовжнє і поперечне (рис. 2). Робота тих зерен, що мають несприятливе розміщення у шліфувальному крузі, буде витрачатися на знос зерна, деформацію деталі та перетворення у теплову енергію. Також згідно з [6], лише 1/3 від загальної кількості зерен, що знаходиться у шліфувальному крузі, буде витрачатися на різання деталі. Робота іншої частини зерен буде витрачатися на пружну та пластичну деформації деталі, тертя та перетворення в теплову енергію.

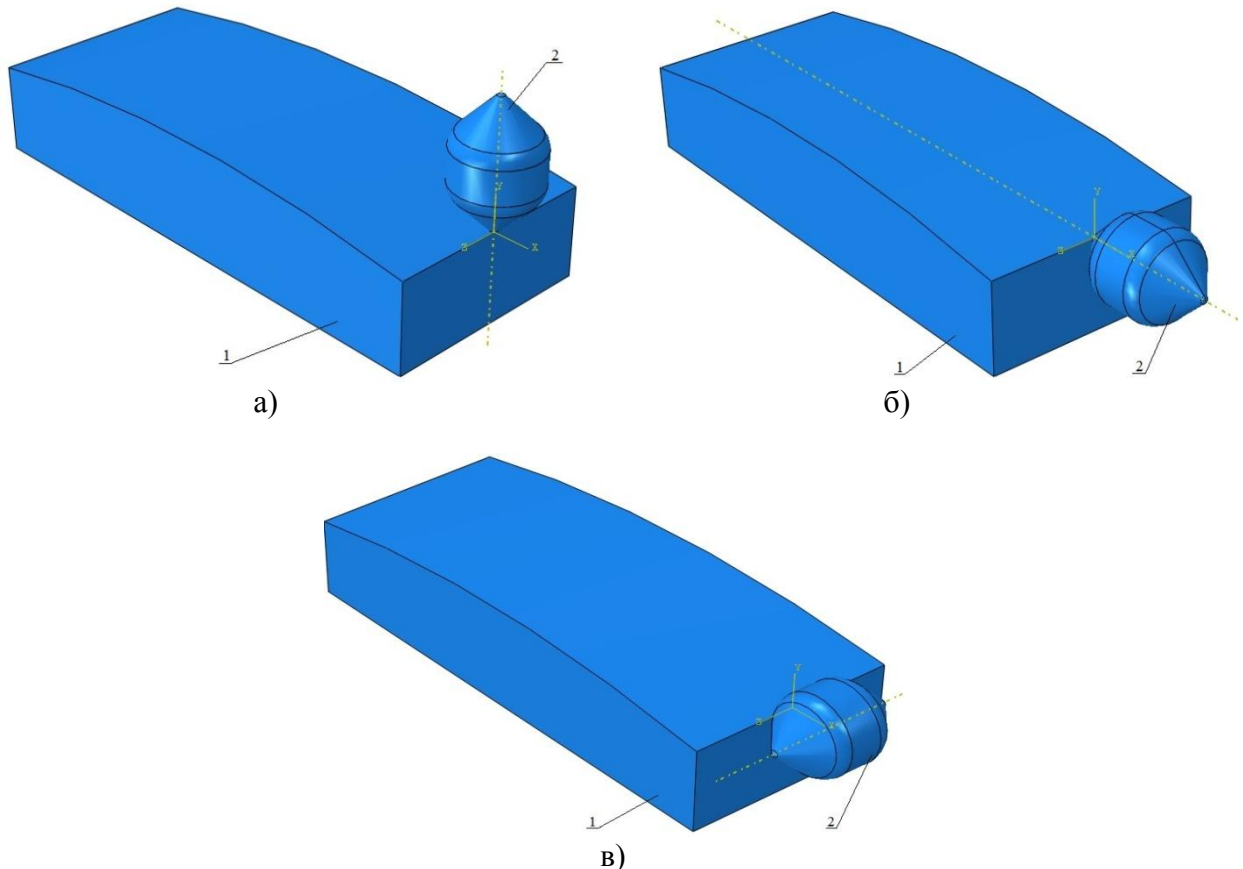


Рис. 2 – Перпендикулярне (а), повздовжнє (б) та поперечне (в) розміщення абразивного зерна відносно деталі: 1 – деталь; 2 – абразивне зерно

#### Список посилань

1. Филимонов Л.Н. Высокоскоростное шлифование [Текст] / Л.Н. Филимонов- Л.: Машиностроение, 1979, 248 с.
2. Криворучко Д. В. Моделирование процессов резания методом конечных элементов: методологические основы (Монография) [Текст] / Д. В. Криворучко, В. А. Залого – Сумы: Университетская книга, 2012. – 496с.
3. Кальченко В.І. Визначення сумарної сили різання одним абразивним зерном при шліфуванні зі схрещеними осями круга та деталі [Текст] / В.І. Кальченко, В.В. Кальченко, Я.В. Кужельний, Д.В. Кальченко// Сучасні технології в машинобудуванні. – 2017. – №12. – С. 20–30.
4. Кальченко В.І. Дослідження сил різання одного абразивного зерна при шліфуванні зі схрещеними осями круга та деталі [Текст] / В.І. Кальченко, В.В. Кальченко, Н.М. Сіра, Я.В. Кужельний // Технічні науки та технології. – 2018. – №2 (12). – С. 59–68.
5. Мазур Н.П. Основы теории резания материалов: Учебник [Текст] / Н.П. Мазур, Ю.Н. Внуков, А.И. Грабченко, В.Л. Доброскок, В.А. Залого, Ю.К. Новоселов, Ф.Я. Якубов. – 2-е изд., перераб. и дополн. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2013.– 534 с.
6. Байкалов А. К. Введение в теорию шлифования материалов [Текст] / А. К. Байкалов.– К.: Наукова думка, 1978. – 207 с.

УДК 631.3-77

Науменко А.О., канд. техн. наук, доцент

Біляєва О.С., ст. викладач

Науменко О.А., канд. техн. наук, професор

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, info@khntusg.com.ua

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОНОВЛЕННЯ ТРАКТОРІВ ПОТУЖНІСТЮ БІЛЬШЕ 100 КВТ В АПК УКРАЇНИ

Забезпечення високої ефективності використання технічних засобів в агропромисловому комплексі України в найбільшій мірі залежить від надання сервісних послуг [1,2]. При цьому необхідно дотримуватись всіх принципів технічного сервісу, у відповідності з тією концепцією, яка склалась на даний період [3,4]. Звичайно розвиток матеріальної основи технічного сервісу – ремонтно-обслуговуючої бази повинний забезпечувати технічну адекватність сервісних послуг. Тому надзвичайно важливо дослідити тенденції, існуючі на протязі останніх років, в оновленні складу технічних засобів, а саме тракторів, вантажних автомобілів, комбайнів в сільськогосподарських підприємствах України.

Нами були систематизовані данні Державної служби статистика України за період 2011-2016 рр.

Вартість послуг з ремонту сільськогосподарської техніки, які споживали сільськогосподарські підприємства, щорічно зростає. Якщо в 2013 р. вона складала 340,4 млн.грн., в 2014 р. – 472 млн.грн., в 2015 р. – 808,8 млн.грн., то в 2016 р. таких послуг було куплено уже на 1млрд.181 млн.грн. Така ситуація більшою мірою пов'язана з повільною розбудовою інфраструктури ремонтно-обслуговуючої бази машино-тракторного парку агропромислового комплексу. Особливо це важливо в умовах оновлення технічних засобів сільськогосподарських підприємств.

Тому нами були проведені дослідження наявності, купівлі і списання тракторів, вантажних автомобілів і зернозбиральних комбайнів за 6 років. Трактори розглядались по групах в залежності від потужності: до 40 кВт, 40-60 кВт, 60-100 кВт, понад 100 кВт.

В якості прикладу приведені результати аналізу для тракторів потужністю понад 100 кВт.

За період 2011-2016 рр. сільськогосподарські підприємства України придбали 16тис. 475 нових тракторів слідуючих марок: «Беларус», «Кий», «Коваль», «ХТА», «ХТЗ», «ЛТЗ», «Case», «Challenger», «Claas», «Deutz-Fahr», «Fendt», «JCB Fasttrac», «John Deere», «Lamborghini», «Landini», «Massey Ferguson», «New Holland», «Same», «Versitayl», «Ag-Chem Terra-Gator», «ТЯ-200 «Ярило», «Holmer-Terra», «Kirovets», «Vredo», «Me Cornick», «Valtra».

Склалась тенденція, що сільськогосподарські підприємства в 2011-2013 роках більше купували тракторів потужністю 60-100 кВт, а в 2015-2016 роках кількість придбаних тракторів потужністю 60-100 кВт і понад 100 кВт практично вирівнялась.

Загальна кількість щорічно придбаних нових тракторів потужністю понад 100 кВт коливалась від 768 в 2014 році до 1557 в 2016 році (Рис.1). В той же час відсоток придбання таких тракторів по роках має значно менший коефіцієнт варіації і становить стабільно 35-43% (Рис.1) від загальної кількості придбаних тракторів по Україні. Тому для перспективного планування розвитку ремонтно-обслуговуючої бази доцільно використовувати показник відсоткового розподілу закупівлі різних груп потужностей енергетичних засобів.



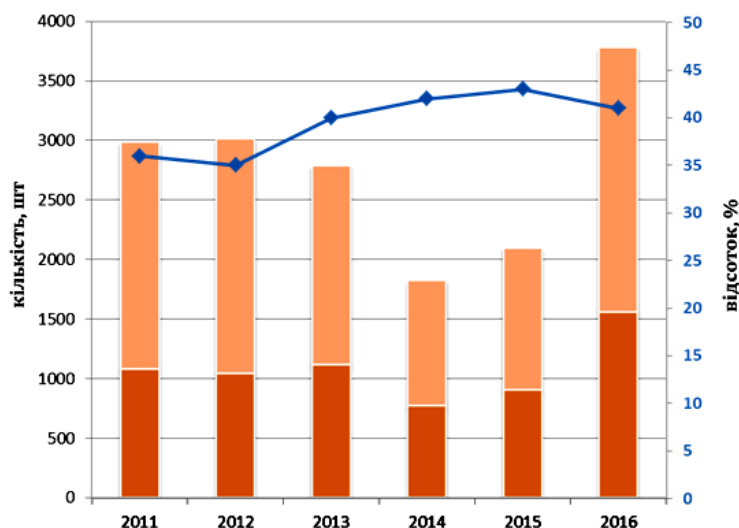


Рис. 1 – Купівля нових тракторів сільськогосподарськими підприємствами.

- – всього куплено за рік, шт.
- – куплено тракторів потужністю більше 100 кВт, шт.
- ◆ – відсоток нових куплених тракторів потужністю 100кВт до загальної кількості

Таблиця 1 – Відсоток придбаних основних марок тракторів потужністю більше 100кВт за період 2011-2016 рр.

Потужність тракторів	2011	2012	2013	2014	2015	2016
понад 100 кВт						
«Беларус»	15,2	15,8	13,7	11,5	8,8	14,1
ХТЗ	13,8	8,3	7,6	20,1	18,2	5,2
«Case»	14,6	10,7	18,4	12,2	13,7	13,2
«Claas»	1,1	2,8	2,2	1,8	2,8	4,4
«Fendt»	4,0	1,4	1,5	3,1	4,8	4,4
«John Deere»	21,8	26,9	27,5	22,4	20,5	25,9
«Nev Holland»	7,6	10,3	9,7	9,6	10,2	14,1

Як свідчать дані табл.1 серед групи найбільш потужних тракторів лідирує по купівлям «John Deere» - 20-27%, «Беларус» - 10-15%, «Case» - 11-18%. В зв'язку з нестабільною роботою Харківського тракторного заводу купівля тракторів ХТЗ коливається від 5 до 20% загальної кількості придбаних тракторів.

Таким чином отримані дані будуть використані для обґрунтування типових технологічних процесів обслуговування та ремонту техніки та напрямків розвитку інфраструктури технічного сервісу сільськогосподарської техніки.

#### Список посилань

1. Науменко А.А. Стратегія розвитку інфраструктури технічного сервісу АПК./ А.А.Науменко //Труди Аграрного університету Молдови, том 28. – 2011. – с.35-40.
2. Науменко А.А. Развитие системы ремонтно-обслуживающих услуг в АПК Украины. / А.А.Науменко. // Motrol-Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa, том 15, вып.7. – 2013. – с. 72-78.
3. Науменко О.А. Технологічна та функціональна структура сервісного підприємства. / О.А. Науменко, І.В. Науменко // Вісник ХНТУСГ ім.Петра Василенка «Технічні системи і технології тваринництва», том 132. – 2013. – с.121-125.
4. Науменко О.А. Обґрунтування структури сервісних центрів АПК./ О.А.Науменко //Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка, том 96, Харків, ХНТУСГ, 2010. – с.11-15.

УДК 621.9.08

Кривий П. Д., канд. техн. наук, професор.

Петречко І. Р., магістрант

Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя, p.kryvyy@gmail.com

Тимошенко Н. М. канд. фіз-мат. наук, доцент

Національний Університет «Львівська Політехніка»

## МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ ГОЛОВНОГО ЗАДНЬОГО КУТА ТОКАРНИХ РІЗЦІВ З ЦИЛІНДРИЧНОЮ ЗАДНЬОЮ ПОВЕРХНЕЮ.

Проаналізовано [1, 2] відомі методи вимірювання головного заднього кута (ГЗК) токарних різців, у яких головна задня поверхня є плоскою з використанням спеціальної восьми-реберної ребристої піраміди, маятникового кутоміра, а також ВНИИ Маслов.

Встановлено, що загальним недоліком відомих методів є недостатня точність вимірювань, ГЗК з циліндричною задньою поверхнею (ЦЗП) токарних різців причому похибка може складати до 50 %.

Запропоновано новий метод вимірювань ГЗК з ЦЗП суть якого полягає у наступному. Із ЦЗП різця знімають зліпок, використавши відповідні полімерні матеріали, наприклад, полісиліконовий відтискний матеріал «zetaplus» (Італія), і цей зліпок сканують, при необхідності збільшують і отримують у головній січній площині слід головної задньої поверхні різця у вигляді дуги АВ (рис. 1).

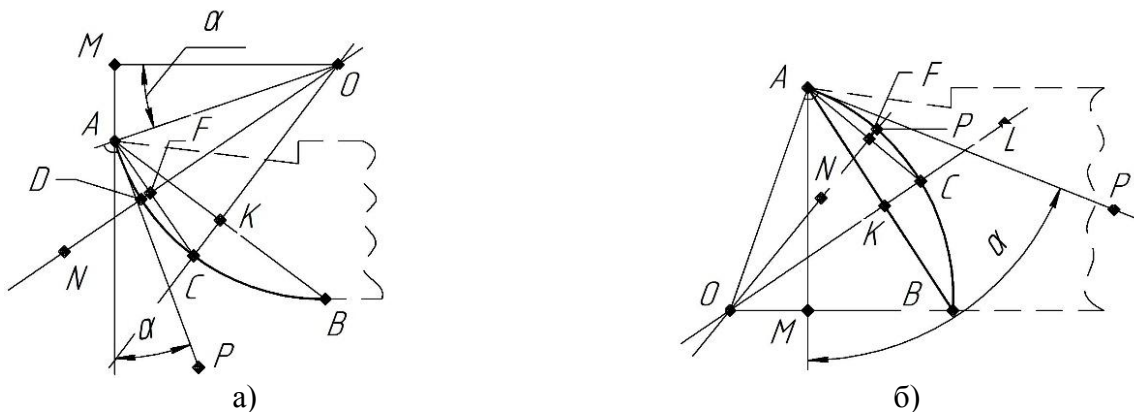


Рис 1 – Графічна ілюстрація методу вимірювання головного заднього кута а) з опуклою головною задньою циліндричною поверхнею б) з вгнутою головною задньою циліндричною поверхнею

Проводять хорду АВ, яку ділять на дві рівні половини  $AK=KB$  і до точки К поділу проводять нормаль  $KCL$ . Проводять хорду АК, і також ділять її на дві рівні частини  $AF=FC$  і до точки F поділу хорди проводять нормаль  $FDN$ . Знаходять на перетині цих нормалей точку О (рис. 1), яка є центром кола із кривиною, що дорівнює кривині ЦЗП різця. У вершину різця, яка матеріалізується точкою А (рис. 1) ставлять перпендикуляр АР до радіуса ОА і цей перпендикуляр є дотичною лінією до сліду головної задньої поверхні. У подальшому з точки А ставлять перпендикуляр, АМ на поперечну вісь шліфувального круга (на рисунку не показано), яка проходить через точку О горизонтально, і визначають величину цього перпендикуляра. За формулою  $\alpha = \arcsin AM/AO$  визначаємо величину ГЗК токарного різця.

### Список посилань

1. Лабораторные работы по курсу «Резанье металлов» [Текст]/ И. П. Третьяков, В. А. Аршинов, Н. Ф. Кисельов, В. А. Синельников. – Москва: Машиностроение, 1965. – 145 с.
2. Попов С. А. Шлифование деталей и заточка режущего инструмента [Текст]/ С. А. Попов, Л. Г. Дибнер, А. С. Каменкович. – Москва: Высш школа, 1975. – 311 с.

УДК 621.941

Попов С.В., канд. техн. наук, доцент  
Васильєв А.В., канд. техн. наук  
Карапузь А.І., студент

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, psv26@i.ua

## ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ТОЧІННЯ НЕРЖАВІЮЧОЇ СТАЛІ МАРТЕНСИТНОГО КЛАСУ 40X13 ТВЕРДИМ СПЛАВОМ Т15К6

Дослідженню процесів обробки конструкційних матеріалів присвячено чимало наукових робіт, зокрема [1, 2]. Гільзи циліндрів поршневих розчинонасосів, що виготовляються зі сталі 40X13, раціонально обробляти твердим сплавом Т15К6 [3-5]. Мета наукового дослідження полягає у визначенні таких умов обробки різанням заготовок з хромистої нержавіючої сталі мартенситного класу марки 40X13, при яких витрата різців з твердосплавними пластинками Т15К6 була би найменшою.

Для реалізації поставленої мети у науковому дослідженні необхідно виконати наступні задачі: призначити критерій оптимального зношування при переважаючій ролі вартості різців у собівартості обробки різанням; дослідити вплив швидкості різання на інтенсивність зношування різців; на основі теоретичних та експериментальних досліджень визначити такі величини швидкості різання й критерію зношування різців по задній поверхні  $h_{z\text{ onm}}$ , при яких досягається максимальна довжина шляху різання  $L$  протягом сумарного ресурсу роботи різця, тобто найменші витрати твердосплавних різальних інструментів.

Відповідно до теоретичного аналізу та розробленої методики було проведено серію експериментальних досліджень стійкості твердосплавних різців, що засвідчила наступне:

- вибір виду критерію зношування різців залежить як від виду обробки різанням (чорнова або чистова), так і від інших факторів. Якщо у складі собівартості обробки різанням переважну роль грає вартість різців, то краще обирати критерії оптимального зношування. Найбільш економічно доцільним є критерій професора М.Н. Ларіна;

- швидкість різання впливає на інтенсивність зношування різців. Чим більше швидкість різання, тим інтенсивніше зношується різець. При швидкості різання 107 м/хв за 36 хв. роботи висота площадки  $h_p$  складає близько 1,6 мм, у той же час при швидкості 158 м/хв. площадка зношування вже дорівнює 2 мм, а при швидкості 172 м/хв. – сягає 2,6 мм;

- щоб досягти максимальної ефективності обробки різанням заготовок зі сталі 40X13 твердосплавними різцями Т15К6, тобто обробити найбільшу кількість деталей при найменшій витраті різців, необхідно вести обробку на оптимальній швидкості різання  $V_{L\text{ max}} = 135\text{ м/хв.}$  до досягнення критерію зношування по задній поверхні різця  $h_{z\text{ onm}} = 2\text{ мм.}$

### Список посилань

1. Vasylyev A., Popov S., Vasylyev Ie., Shpylka A., Vovchenko V. Modernization of the method of rotary form making of external profile surfaces. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018. №6/1(96). - P. 55-61.

2. Vasilyev A., Popov S., Vasilyev E., Pavelieva A. Improvement the method of rotational broaching in the production of profile openings on the lathes of turning group. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. №1/1 (85). - P. 4-9.

3. Pavelieva A., Vasylyev Ie., Popov S., Vasylyev A. The analysis of running efficiency of valve units in differential mortar pump. *Technology audit and production reserves*. 2017. №5/1 (37). - P. 4-9.

4. Kravchenko S., Popov S., Gnitko S. The working pressure research of piston pump RN–3.8. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. №5/1 (83). - P. 15-20.

5. Popov S., Vasilyev A., Rymar S. The designing of crank mechanism of piston pump. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2013. №1/7 (61). - P. 30-32.

УДК 621.993.76

Самчук Л.М., канд. техн. наук  
Повстяна Ю.С., канд. техн. наук  
Пастернак В.В., канд. техн. наук  
Зубовецька Н.Т., канд. техн. наук

Луцький національний технічний університет, [samchuk204@gmail.com](mailto:samchuk204@gmail.com)

## РЕГЕНЕРАЦІЯ ФІЛЬТРУВАЛЬНИХ МЕТАЛОКЕРАМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ УЛЬТРАЗВУКОМ

При виборі фільтрувального матеріалу і способу його регенерації, як правило, керуються умовами експлуатації та призначенням фільтрів – водопідготовка, очищення стічних вод, регенерація технічних рідин. При цьому, чинними нормативними документами, які відображають тільки загальні умови експлуатації фільтра передбачається, що коливання концентрацій забруднюючої речовини в неочищених стоках невелика, умови регенерації фільтра не враховують фізико-хімічних особливостей взаємодії фільтрувального матеріалу і забруднень. Більшість наукових робіт присвячені фільтруванню та регенерації матеріалу в процесі очищення стічних вод, що містять тверді частинки. Наявність плівки нафтопродуктів на зерні фільтрувального матеріалу суттєво змінює, як механізм очищення так і процес регенерації. Цей факт має бути врахованим при експлуатації фільтра і на стадії його виготовлення [1]. В якості вихідних матеріалів були використані: окалина сталі 18Х2Н4МА, порошок оксиду алюмінію ТУ (48-5-22-87), природний мінерал – сапоніт Ташківського родовища та 5 видів пороутворювачів. Дисперсність часток становила: окалина сталі 18Х2Н4МА – 250 - 400 мкм, сапоніт – 250 - 400 мкм, порошок Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 100 мкм, пороутворювач – 100 мкм. Шихтовий склад компонентів визначався експериментально. Щодо технології спікання – особливу увагу заслуговує метод СВС-синтезу. Використання СВС-спікання обумовлена, перш за все, можливістю отримання матеріалів у складних композиціях, що не дозволяє отримувати цільові продукти іншими технологічними процесами, оперативністю проведення експериментів щодо створення матеріалів, забезпечення модифікування структури і фазового складу продукту, а також комплексу структурних і структурно залежних властивостей [2]. З метою практичної реалізації отриманих результатів була виготовлена дослідна партія фільтрувальних елементів для очистки відпрацьованих вод автомийки на ТзОВ «ВГБ». Слід відмітити, що дослідний фільтрувальний елемент був включений у схему очистки відпрацьованих вод автомийки.

Регенерацію фільтрувального елемента проводили в ультразвуковій ванні моделі DECON FS-100 В в діапазоні частот 20 – 40 кГц. Інтенсивність ультразвукових коливань становила 0,5 – 5 Вт/см<sup>2</sup>. Вибір оптимальної інтенсивності має суттєве значення для ультразвукового очищення. Важливим фактором, що сприяє ультразвуковому очищенню є значна інтенсифікація фізико-хімічних процесів в рідині під дією ультразвукових коливань, зокрема, процесу розчинення, що безпосередньо пов'язано з вибором складу миючої рідини. Миюча рідина повинна мати більшу хімічну активність по відношенню до забруднень, але в той же час бути нейтральною по відношенню до матеріалу. Для очищення застосовують водні розчини лугів, кислот, солей з додаванням поверхнево-активних речовин. Фільтрувальні елементи поміщались в корзину з дротяної сітки, а також опускались в наповнену ванну з розчином (вода, 4% сірчана кислота, ПАВ). Після закриття кришки і при ввімкненні установки ультразвукові хвилі відокремлюють частинки забруднення від сітки. При цьому бруд випадає з фільтрувального елемента вниз. Існує можливість вибору частоти ультразвуку: 25 кГц – для грубої очистки і 45 кГц – для делікатного тонкого очищення [3].



Рис. 1 – Зовнішній вигляд ультразвукової ванни моделі DECON FS-100 В та фільтрувального елемента

Визначення параметрів і тривалості стадії регенерації фільтра є ключовим з точки зору підтримання високої продуктивності і ефективності зневоднення. Головною метою регенерації ультразвуком є видалення твердих частинок з поверхні фільтра для запобігання закупорювання поверхневих пор фільтрувального елемента. Відповідно до цього, для ефективного очищення було мінімальне проникнення фільтрату з внутрішньої структури фільтра. Проведений порівняльний аналіз роботи фільтра без регенерації і з регенерацією представлено на рисунку 2. Слід зазначити, що рахунок ультразвуку свідчить про 25% зниження проникності фільтрувального елемента на початковому періоді фільтрації в порівнянні з аналогічним процесом. На підставі проведених лабораторних досліджень отримані наступні технічні характеристики: продуктивність фільтра – 1 м<sup>3</sup>/год; зважені речовини – з 500 до 10 мг/л; нафтопродукти – з 300 до 10 мг/л, час – 8 год, частота – 18 - 40 кГц, робочий тиск 0,4 - 0,6 МПа.

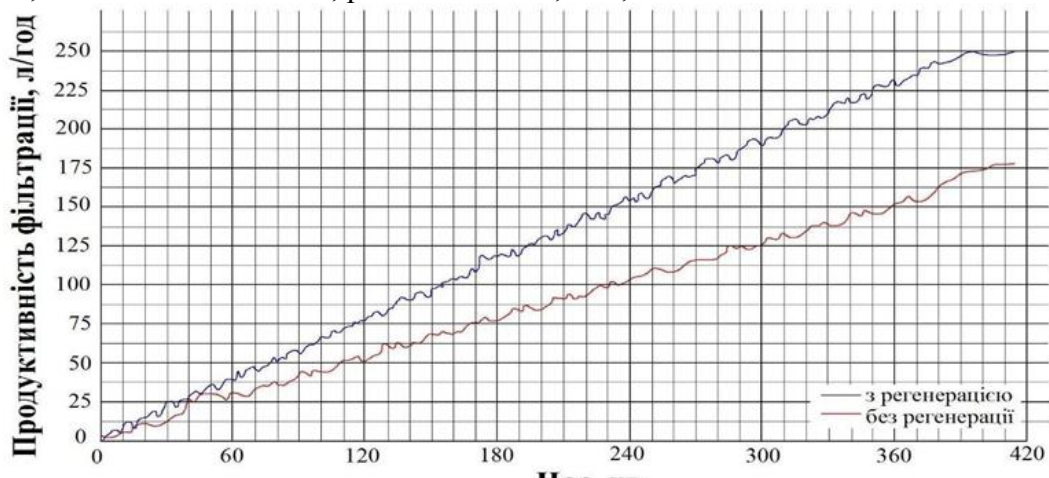


Рис. 2 – Вплив регенерації на фільтрувальний елемент

Проведено порівняльний аналіз роботи фільтра без регенерації і з регенерацією. Розрахунок ультразвуку свідчить про 25% зниження проникності фільтрувального елемента на початковому періоді фільтрації в порівнянні з аналогічним процесом. Термічна і хімічна стійкість забезпечує багатофункціональність і можливість регенерації металокерамічних фільтрів, що надає можливість їх багаторазового використання в ресурсо- та енергоощадній технології їх виробництва. Такі фільтрувальні елементи є конкурентоспроможними у порівнянні з існуючими аналогами.

#### Список посилань

1. Шибряев Б. Ф. Металлокерамические фильтры / Б. Ф. Шибряев, Е. И. Павловская. – М.: Машиностроение, 1972. – 120 с.
2. Гетманец Н.И. Исследования процесса обработки поверхностных сточных вод с применением синтетических материалов / Н.И. Гетманец // Сучасні екологічно безпечні та енергозберігаючі технології в природокористуванні / Зб. тез доповідей міжнар. наук.-практ. конф.

молодих вчених і студентів, 26-28 квітня 2011 року, м. Київ: в 2-ох частинах – К.: КНУБА, 2011. – ч. 2 – С. 78–81.

3. Келлер О.К. Ультразвуковая очистка/ О.К. Келлер, Г.С. Кратыш, Г.Д. Лубяницкий – Л.:Машиностроение. Ленинградское отд. 1977. – 184 с.

УДК 621.9

Дядя С.І., канд. техн. наук, доцент  
Козлова О.Б., канд. техн. наук,  
Зубарев А.Є., аспірант

Запорізький національний технічний університет, [kozlova@zntu.edu.ua](mailto:kozlova@zntu.edu.ua)

## САМООРГАНІЗАЦІЯ РУХУ ТОНКОСТІННОЇ ДЕТАЛІ ТА ЯКІСТЬ ОБРОБЛЕНОЇ ПОВЕРХНІ ПРИ КІНЦЕВОМУ ЦІЛІНДРИЧНОМУ ФРЕЗЕРУВАННІ

Швидкість різання деталей визначається залежно від оброблюваності матеріалу. При цьому добре, якщо властивості матеріалу дозволяють вести обробку поза межами швидкісної зони дії автоколивань [1]. Але при обробці важкооброблюваних матеріалів, такої можливості немає. Тому, актуальним є знання характеру зміни коливань деталі та якості обробленої поверхні при обробці в межах швидкісної зони дії автоколивань.

Характерною ознакою обробленої в цій зоні поверхні є хвилястість, що визначає її якість. Дослідження впливу частоти обертання шпинделя на крок та висоту хвилястості проводили на спеціальному стенді [2], що дозволяє в цифрованому вигляді записувати закони руху інструменту і деталі. Попередніми дослідженнями [3, 4] встановлено, що на якість обробленої поверхні при кінцевому фрезеруванні впливає розмах автоколивань на початку різання – при зустрічній подачі, і на виході інструменту – при попутній. При зустрічному фрезеруванні вже при найменшій частоті обертання шпинделя розмах автоколивань більше в 3 рази, ніж при попутному і висота хвилястості на обробленій поверхні після зустрічного фрезерування в 5 разів більша, ніж при попутному.

З підвищенням частоти обертання шпинделя розмах автоколивань при зустрічному та попутному фрезеруванні зростає, але з різною інтенсивністю. Так, при зустрічному фрезеруванні він змінюється в 2,7 рази, а при попутному в 11,8 рази. При цьому, висота хвилястості обробленої поверхні при попутному фрезеруванні збільшується у 3,6 разів, а при зустрічному фрезеруванні, навпаки, зменшується і дорівнює всього 0,035 мм. Це пов'язано зі зменшенням довжини поверхні різання, на якій при попередніх колюваннях деталі зрізаються виступи, що створює умови для зрізання однакових западин, що залишаються на обробленій поверхні.

На підставі аналізу експериментальних даних для забезпечення сталого різання в умовах дії автоколивань рекомендовано при малих частотах обертання шпинделя фрезерувати за попутною подачею, обробку зі зустрічним фрезеруванням починати з

частот обертання шпинделя близьких до виконання умови  $\frac{t_{piz}}{T_{BK}} \approx 1$ .

### Список посилань

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

2. Внуков, Ю.Н. Стенд для изучения механических колебаний при фрезеровании маложестких деталей при концевом фрезеровании / Ю.Н. Внуков // Вісник НТУ «ХПІ». Харків. НТУ «ХПІ». – № 80. – 2011. – С. 32 – 37.

3. Дядя, С.І. Исследование формирования обработанной поверхности тонкостенного элемента детали при концевом цилиндрическом фрезеровании с автоколебаниями / С.И. Дядя // Вісник НТУ «ХПІ». Харків. НТУ «ХПІ». – № 12. – 2017. – С. 5–18.

4. Дядя, С.И. Исследование механизма возбуждения автоколебаний при концевом фрезеровании тонкостенного элемента детали / С.И. Дядя // Новые материалы и технологии в металлургии и машиностроении. – №1. – 2017. – С. 92–100.

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](mailto:wladimir.tulupov@gmail.com)

### ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ДЕТАЛЕЙ ПІСЛЯ ФРИКЦІЙНОГО ЕЛЕКТРОІМПУЛЬСНОГО ВИГЛАДЖУВАННЯ З МОДИФІКУВАННЯМ ДИСУЛЬФІДОМ МОЛІБДЕНУ

Забезпечення експлуатаційних властивостей деталей машин досягається в машинобудуванні використанням різних методів зміцнення поверхні. Особливістю комбінованих методів зміцнення є поєднання механічних, електричних та інших методів впливу на оброблювану поверхню. Одним з комбінованих методів зміцнення є механічна обробка вигладжуванням поверхонь при одночасному пропусканні електричного імпульсного струму через зону контакту інструмента з деталлю. Саме така технологія зміцнення дозволяє отримати дискретну структуру у вигляді зміцнених фрагментів [1].

Авторами виконані дослідження процесу фрикційного електроімпульсного вигладжування з нанесенням модифікатора на поверхню виробу з наступною механічною обробкою згладжуванням при пропусканні імпульсного електричного струму прямокутної форми через зону контакту інструмента з деталлю [2].

В роботі досліджувалися зразки що мали форму диска зі сталі 40Х які вигладжувались вигладжувачем з індентором, виконаним з твердого сплаву Т15К6 з одночасним пропусканням імпульсного струму частотою 20 Гц при застосуванні модифікатора дисульфід молібдену.

В результаті виконаного електроімпульсного вигладжування на поверхні було отримано зміцнений шар товщиною до 0,15 мм та максимальною мікротвердістю в межах 6,0...7,7 ГПа. Металографічний аналіз засвідчив наявність в поверхневому шарі дисульфід молібдену, а також дрібнозернисту структуру, яка є наслідком термічної та силової дії процесу фрикційної електроімпульсної обробки.

Для дослідження зносостійкості запропоновано використати метод штучних баз [3], що дозволяє визначити лінійне зношення поверхні деталей. Сутність методу полягає в тому, що на поверхні деталі виконується поглиблення правильної форми по осі, розташованій по нормалі до поверхні тертя. На машині тертя по схемі «диск-колодка» виконується дослідження зносостійкості поверхні вимірюванням величини поглиблення з наступним визначенням зношення поверхні за розрахунковими залежностями з побудовою відповідних графічних залежностей.

#### Список посилань

1. Багмутов В.П. Импульсное электромеханическое упрочнение стальных изделий с образованием регулярной дискретной структуры поверхностного слоя / В.П. Багмутов, С.Н. Паршев // Вестник машиностроения. 1996. – №2. – С. 38.

2. Тулупов В.І. Інженерія поверхні деталей після фрикційного електроімпульсного вигладжування з модифікуванням дисульфідом молібдену/ В.І. Тулупов, С.Г. Онищук // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем // Матеріали VIII міжнародної науково-практичної конференції – Чернігів: Вид-во ЧДТУ, 2018. – Т.1. – С.74-75.

3. 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 621.372.822:621.923.9

Тришин П.Р., аспирант

Запорожский национальный технический университет, [trishin87@gmail.com](mailto:trishin87@gmail.com)

## ПРОБЛЕМЫ ОТДЕЛОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ВНУТРЕННЕГО КАНАЛА АЛЮМИНИЕВЫХ ВОЛНОВОДОВ В МЕСТАХ СВАРКИ (ПАЙКИ)

К радиолокационным станциям постоянно возрастает уровень требований, предъявляемых к частотным характеристикам, применяемым материалам, габаритным размерам и себестоимости изготовления. Для того, чтобы вместить в корпус антенны делитель передающего канала, конструктивно применяются волноводы с многочисленными изгибами и поворотами, ответвлениями. В настоящее время из-за сложности конструкции и высоких требований к качеству внутреннего канала волноводы имеют большую трудоемкость в изготовлении.

Волновод дециметрового диапазона (рис. 1а) представляет собой неразъемную конструкцию (сварную, паяную) тонкостенной трубы прямоугольного сечения и двух фланцев, имеющую произвольное пространственное расположение.



Рис. 1 – Внешний вид а) конструкция волноводов б) фрагмент секции волновода

Существуют два вида изгибов волновода: плавные, уголковые [1]. Уголковые изгибы компактны, однако имеют много сварных (паянных) швов (рис. 1б). Из-за сложной конструкции основным методом сварки, пайки волноводов является ручной способ, который осуществляется секциями, после чего они рихтуются и зачищаются поэтапно. Это связано с недоступностью мест сварки (пайки) канала на готовом изделии.

Заготовкой для волноводов служит прямоугольная труба из алюминия АД00. Данный материал легко обрабатывается давлением, резанием, хорошо сваривается, но имеет низкую твердость и прочность, из-за чего обычными методами финишной обработки тяжело добиться высокой шероховатости в канале. Основными сечениями волноводов дециметрового диапазона являются 72x34 мм и 72x10 мм с толщиной стенки 2...2,5 мм. Согласно конструкторской документации допуски на размеры внутреннего канала на глубине 40мм от фланца составляет 0,07 мм, а остальной канал имеет допуски размеров – 0,1 мм. Шероховатость канала в местах сварки (пайки) не должна быть ниже Ra3,2; данное требование занижено и связано с трудностью обработки (труба в состоянии поставки имеет шероховатость до Ra0,8). В местах сварки (пайки) сегментов возникают деформации, дефекты поверхности [2], которые устраняют дорнованием, рихтовкой и припиловкой.

Проведенный анализ серийно изготавливаемых волноводов установил, что при ручной сварке в зависимости от квалификации сварщика швы могут иметь значительную нестабильность геометрических размеров, выпуклости или вогнутости внутренней поверхности и другие дефекты (рис. 2) до 0,5 мм. Высока вероятность образования пор и



усадочных раковин, которые необходимо заглаживать и зачищать. Дорнование канала волновода и рихтовка не всегда устраняет данные дефекты, а зачастую приводит к появлению рисок и царапин глубиной до 0,05 мм. Для устранения всех перечисленных дефектов используется припиловка шлифовальной шкуркой при помощи шлифмашинки. Но данная обработка позволяет получить шероховатость Ra 2,5...4,5 мкм и шаржирует внутреннюю поверхность абразивом.

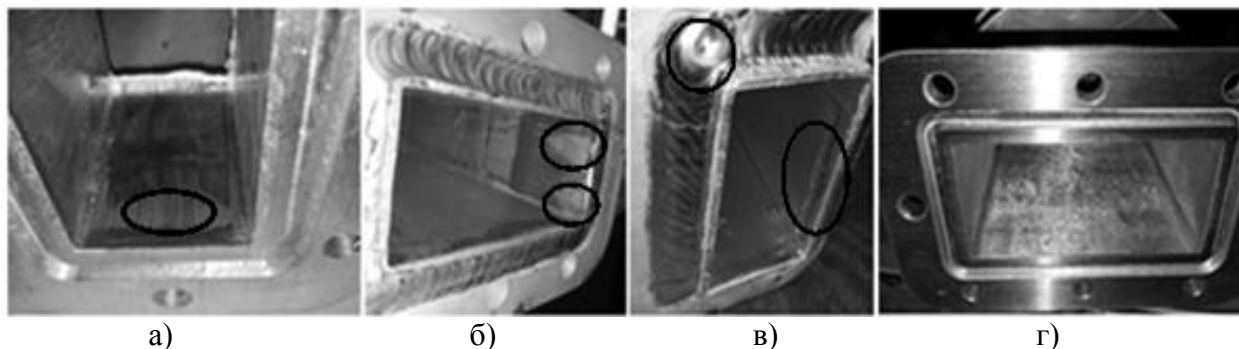


Рис. 2 – Дефекты сварки волноводов а) вогнутость поверхности б) риски после дорнования в) провар сварного шва г) неоднородная шероховатость обработанной поверхности

Величина активных потерь в волноводе существенно зависит от чистоты обработки (шероховатости) внутренней поверхности и нестабильности формы. Если высота гребешков шероховатости будет превышать глубину проникновения тока, это вызовет увеличение затухания радиоволн. А чрезмерное повышение требований к чистоте обработки поверхности ведет к увеличению себестоимости. Глубина проникновения тока составляет 1,1...1,9 мкм [3], поэтому внутренний канал необходимо обрабатывать с шероховатостью 0,4...0,8 мкм [4].

Использование современных абразивных материалов, таких как полимерно-абразивное волокно и трехмерное нетканое абразивное полотно могут решить данные задачи. Предварительные исследования обработки плоских образцов из алюминия АД00, вырезанных с волноводной трубы, с помощью этих материалов показали их высокий потенциал для использования их в финишном этапе изготовления волноводов.

Для разработки финишной технологии обработки внутреннего канала волновода, на основе использования современных материалов, необходимо спроектировать специальное механизированное устройство для зачистки вращательного действия; провести экспериментальные работы с целью уменьшения шероховатости «проблемных» конструкций волноводов в местах сварки (пайки).

#### Список ссылок

1. Бушминский И. П. Изготовление элементов конструкций СВЧ. Волноводы и волноводные устройства [Текст] : учеб. пособие для вузов / И. П. Бушминский. – М. : «Высш. Школа», 1974. – 304 с.
2. Бровко, А. В. Проблемы автоматической сварки волноводов радиолокационных станций [Текст] / А. В. Бровко // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Серия «Машиностроение». – 2013. – Т.1, – С. 55-54.
3. Зверинцева, Л. В. Инструмент для абразивного полирования внутренней поверхности волноводов космических аппаратов [Текст] / Л. В. Зверинцева // Вестник СибГАУ. – 2008, № 18. – С. 162-166.
4. Зверинцев, В. В. Анализ шероховатости и дефектов внутренних поверхностей изогнутых волноводов / В. В. Зверинцев, Г. В. Кочкина, Д. В. Чураков, М. Н. Банщикова // Вестник СибГУ. Секция «Технологические и мехатронные системы в производстве ракетно-космической техники». – 2015. – Т. 1. – С. 25-28.

УДК 621.941-229.3:531.133

Лещенко А. И., канд. техн. наук, доцент

Приазовский государственный технический университет, [aLeshenko1954@gmail.com](mailto:aLeshenko1954@gmail.com)

## **ФОРМИРОВАНИЕ В УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЕ СИСТЕМЫ ПОПРАВКИ, УЧИТЫВАЮЩИХ ИЗМЕНЯЮЩИЕСЯ УСЛОВИЯ ОБРАБОТКИ**

На начальном этапе развития станков с ЧПУ сложился стиль программирования, при котором на базе статического описания профиля детали рассчитывались координаты точек управляющей программы. Многократно возросшие возможности современных систем ЧПУ позволяют представить разработку программы, как многошаговый процесс принятия решений, целью которого является выработка управляющего воздействия с учетом изменяющегося состояния объекта управления. Данный процесс тесно связан с динамическим программированием, которое с некоторым приближением можно определить, как набор математических процедур анализа многошаговых процессов, целевым назначением которых является принятие решений. Каждый процесс, инкапсулированный в параметризованный модуль, представляет собой решение задачи определенного типа. Для механообработки – это достижение в кратчайшее время и с минимальными затратами требуемой точности, причем последнее требование – доминирующее. Современные системы управления станком могут обеспечить получение заданных размеров с требуемой точностью благодаря двум основным методам коррекции: по данным измерительных датчиков, формирующих корректирующие сигналы в процессе обработки или по априори проведенному анализу геометрии детали, параметров жесткости узлов станка и точности их позиционирования, а также стойкости режущего инструмента.

Достоинством первого метода является возможность коррекции суммарной погрешности обработки, обусловленной совокупным действием как постоянных, так и случайных факторов. По этому методу работает адаптивное управление, в основу которого положены сложные, наукоемкие и дорогостоящие телекоммуникационные системы.

Преимуществом второго метода является его универсальность, проявляющаяся в том, что корректирующее воздействие определяется для всей рабочей зоны станка до операции, а недостатком – отсутствие реакции на действие случайных факторов, сопровождающих обработку любой детали. Именно по этому принципу построено программное приложение [1] для расчета управляющих программ обработки фасонных поверхностей валков сортового проката. Чтобы добиться надежности и повторяемости размеров калибров валков, в установленном формате разработана система программных поправок («реакторов») на изменяющиеся условия обработки поверхностей заготовок различного типа. В этом случае управление точностью реализуется через значения коэффициентов (поправок) в параметрических подпрограммах, которые как объектные модули входят составной частью в основную программу, формирующую траекторию перемещения режущей пластины резца.

Например, в процессе выходного контроля ручьев валка шаблоном на «прилегание» установлено превышение величины зазора между контуром шаблона и радиусной образующей профиля валка (рис. 1, а). Следует отметить, что корректор на отдельную поверхность или введение дополнительного корректирующего кадра программы может вызвать нарушение законов сопряжения между поверхностями. Поэтому, в разработанном приложении применяется схема расчета управляющей программы, при которой введение поправки на угловые и линейные параметры образующей исходного контура вызывает пересчет не отдельных элементов траектории, а траектории формообразования для всего профиля с сохранением геометрических законов сопряжения.

В этом случае корректирующий модуль (подпрограмма) в установленной координатной системе XZ (рис. 1, б) формирует участки программной траектории  $F_h(t_1, h_1)$ ,  $F_R(t, R)$ ,  $F_h(t_2, h_2)$ , для которых коррекция на радиус пластины  $r$ , т.е. смещение относительно исходного контура  $\Delta r(t)$  зависит от уравнения образующей. При обработке конических поверхностей углы нормали к образующим  $t_1, t_2$  определяют направление траектории, а длины нормалей  $h_1, h_2$  - размеры в диаметральном сечении. Исправить возникающие погрешности обработки можно путем коррекции переменных в уравнении формообразования  $F_h(t, h)$ , т.е. коррекцией путем смещения прямолинейной образующей  $h + \delta_N$  или углового отклонения траектории  $t + \Delta t$ . Если установлено, что в погрешности обработки присутствует постоянная составляющая  $\bar{E}(\Delta EPR)$ , то она корректируется путем перехода к новой системе координат X'Z'. Таким образом, для тороидальной поверхности радиуса R центральный угол дуги образующей  $t_r = t_2 - t_1$  рассчитывается автоматически, исходя из условия сопряжения с соседними поверхностями.

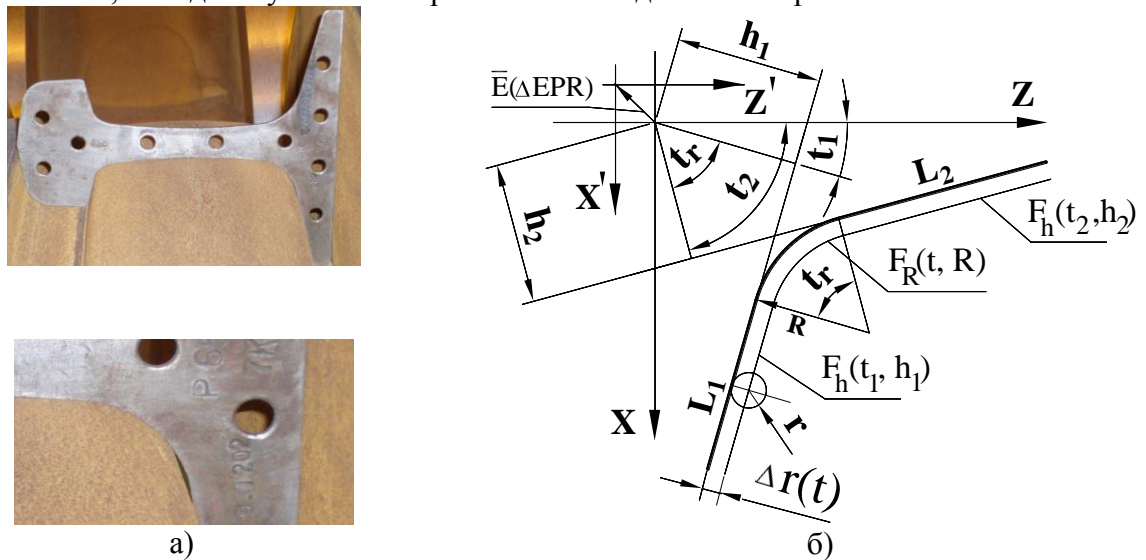


Рис. 1 – Профиль шаблона, смещенный относительно теоретического контура на величину допуска (а) и коррекция программной траектории при обработке фасонной поверхности (б).

В ходе опытно-промышленного производства составлена база данных (БД) физико-механических параметров заготовок валков из высокопрочного чугуна, которые поступают с нескольких заводов Украины и могут иметь колебания значений твердости (до 10 единиц HRC) и временного сопротивления разрыву при растяжении. В структуру БД входят реляционные таблицы материалов, режимов резания на переходах и соответствующие таблицы программных поправок на многофакторные условия обработки. Взаимосвязь с параметрами подпрограмм основной программы УЧПУ станка осуществляется через системные каталоги БД, путем создания запросов с алгоритмом выборки из одной или нескольких таблиц согласно соотношениям, установленным в процессе проведенного исследования. Коррекция на износ инструмента инициализироваться по условию длины пути резания при обработке нескольких ручьев валка.

Способ управления точность формообразования через параметры программ для УЧПУ станков, значения которых получены посредством анализа статистического материала, накопленного при обработке валков с различными свойствами позволил уменьшить на 60÷70% время на операции промежуточного контроля и сократить процент операций доводки (повторной обработки с коррекцией) элементов фасонного профиля на 30÷35%.

### Список ссылок

1. Проволоцкий А. Е. Повышение точности обработки сложно - профильных поверхностей на основе коррекций программной траектории резцов с пластинами круглой формы / А. Е. Проволоцкий, А. И. Лещенко // Наукові праці ДонНТУ. Серія «Машинобудування і машинознавство». Донецьк: 2009. - Вип. 6(154). – С. 107–117.

УДК 621.951

**Хавін Г.Л., докт. техн. наук, професор**  
Національний технічний університет «ХПІ», [gennadii.khavin@gmail.com](mailto:gennadii.khavin@gmail.com)

### ПРОГНОЗУВАННЯ ЗНОШУВАННЯ ІНСТРУМЕНТУ ПРИ СВЕРДЛІННІ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Зношування свердел в процесі обробки композитів безпосередньо визначає вартість операції свердління. Гарантована якість обробки вимагає раціонального (краще оптимального) вибору геометрії взятого типу інструменту і багато в чому визначає вибір режимних параметрів обробки. По закінченню гарантованої стійкості роботи інструмент слід переточувати. Вартість операції заточування багато в чому залежить від типу інструменту. Для багатьох спеціальних інструментів це вкрай дорога операція, яка виконується на спеціально розроблених для цього верстатах [1].

Зношування свердла в процесі обробки отворів призводить не тільки до погіршення якості отворів за рахунок появи відколів, розшарувань і розкошаченню, але і до зростання температури в осередку деформацій, що, в свою чергу, призводить до деструкції сполучного, його налипання і навіть вигорання. Зростання температури вершини інструменту призводить до посилення ефекту його затуплення, що стимулює його ще більш інтенсивний знос. Тому визначення характеру зношування і критерію затуплення є найважливішими завданнями проектування операцій свердління композитів.

Більшість проведених експериментів по визначенню закономірностей зношування під час свердління полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) засноване на визначенні втрати ваги інструментом до і після роботи. При цьому зміна форми інструменту не визначається [2]. Незважаючи на численні дані про те, що в більшості випадків найбільш інтенсивний знос спостерігається по задній поверхні інструменту, значні зміни форми спостерігаються по передній грані, в тому числі і закруглення ріжучої кромки. Створення математичної моделі розподілу втрати ваги по різальних гранях інструменту і передбачення інтенсивності процесів, що протікають є актуальним завданням і метою цього дослідження.

Однією з складових дослідження є створення алгоритмів і математичного забезпечення штучних нейронних мереж для оцінки силових факторів і якісного стану оброблених отворів під час свердління полімерних і «сандвічевих» композитів свердлами різної конструкції і заточування. В якості головного критерію розглядається контроль зносу інструменту, при якому порівнюються фактичні і прогнозовані значення зносу, що сигналізує про початок появи критичних погіршень якості отворів, що, в свою чергу, запобігає пошкодженню інструменту. В якості вихідних експериментальних даних використовувалися експериментальні результати різних авторів, опубліковані у відкритому доступі.

### Список послань

1. Хавін, Г.Л. Эффективность сверления полимерных композиционных материалов сверлами, отличными по конструкции от спирального [Текст] / Г.Л. Хавин, Хоу Чживень // Интегрированные технологии та энергосбережения – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – №.3. – С. 47 – 54.

2. Хавін Г.Л. Сверление полимерных композиционных материалов [Текст] / Г.Л. Хавин // Х.: Вид-во «Діса плюс». – 2017. – 352 с.

УДК 621.9

Симонюк В.П., канд. техн. наук, доцент  
Лапченко Ю.С., канд. техн. наук, доцент  
Денисюк В.Ю., канд. техн. наук, доцент

Луцький національний технічний університет, pb@lntu.edu.ua

## ДО ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ У ВІЛЬНОМУ АБРАЗИВНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

При силових методах абразивної обробки деталей машин, приладів, підшипників та інших, часто виникають такі негативні явища, як пригари, підпали. У цих місцях відбуваються температурні та термохімічні негативні явища. Це, як правило, пов'язано із застосуванням силових дій в зоні контакту деталей та абразивного інструменту, що призводить до значного підвищення температури до критичної і вище.

Альтернативними методами є відомі методи обробки вільними абразивами. До цих методів відноситься і обробка деталей у бункері із приводом, що спроможний створювати вібрації. Великої уваги заслуговують вібраційні установки спроможні створювати циркуляційний рух, за рахунок якого відбуваються покращені якісні характеристики обробки деталей.

Вібраційні навантаження, що діють на вібробункер при увімкненні зовнішньої рушійної сили, як відомо, призводять до виникнення руху робочого середовища. Даний рух є хаотичним і, як правило, більша його інтенсивність спостерігається у зонах, наближених до дна та стінок бункера. Як показують проведені дослідження, за таких умов, відбувається неоднакова оброблюваність деталей. Із збільшенням перемішування робочої суміші, а саме, частотою, а то і постійною зміни режимів циркуляції, цей показник значно покращується.

Циркуляційний рух робочого середовища, як одного цілого в'язкотекучого, полягає у переміщенні елементів згідно певних направлених траєкторій. Елементи робочого середовища мають розміри, які є порівняними із розмірами вібробункера та об'ємом всього робочого середовища. Тому осереднені траєкторії руху робочого середовища не є плавними лініями. Як правило, вони є ламаними, тому що, при переміщенні деталей і гранул абразиву, вони контактують у різних точках і розташування точок контакту змінюється.

На елемент робочого середовища (деталь або гранулу), який знаходиться у вібробункері, діють постійні вібраційні навантаження з частотою, рівною частоті зміни сили віброприводу. Вібраційні навантаження передаються з боку гранул абразиву на деталь і навпаки. Одночасно на деталь діють ударні навантаження. Під дією всього комплексу навантажень деталі і гранули абразиву рухаються в робочому середовищі.

Для визначення характеру циркуляційного руху варто застосовувати закони зміни кількості руху для виділеного контрольного об'єму робочого середовища. Середня швидкість циркуляційного руху залежить від амплітудно-частотних характеристик приводу і, як наслідок, робочої суміші, та її маси.

Обробка деталі, в основному, здійснюється при відносному переміщенні деталі відносно гранул абразиву при вібрації бункера та робочої суміші в цілому. Швидкість переміщення деталі відносно гранул залежить від випадкового положення деталі відносно напрямку вектора швидкості деталі при вібрації.

Отже, в загальному напрямі руху робочої суміші відбувається хаотичний рух, який проявляється у вигляді відхилень траєкторії руху окремої складової частинки, тобто, оброблюваної деталі або гранули абразиву, від середньої траєкторії циркуляційного руху. Відхилення траєкторії близьке до гармонічного (синусоїдального) закону. Як показують проведені дослідження, в багатьох випадках, часті зміни циркуляційного руху призводять до покращення якості обробки деталей.

УДК 621.9.048.7:621.9.048.6

Лесик Д.А., канд. техн. наук, асистент  
Джемелінський В.В., канд. техн. наук, професор  
Данилейко О.О., аспірант

Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», lesyk\_d@ukr.net

Мордюк Б.М., докт. техн. наук, зав. відділу фізичних основ інженерії поверхні

Прокопенко Г.І., докт. техн. наук, пров. наук. співробітник

Інститут металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАНУ

## ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ СТАЛІ 45 КОМБІНОВАНОЮ ЛАЗЕРНО-УЛЬТРАЗВУКОВОЮ ОБРОБКОЮ

Збільшення тривалості експлуатації поверхневого шару металевих деталей шляхом формування регулярного мікрорельєфу з низькою шорсткістю та дисперсної мікроструктури із залишковими макронапруженнями стиску є важливим критерієм підвищення конкурентоспроможності виготовлених виробів в сучасних умовах.

Великими потенційними можливостями підвищення експлуатаційних властивостей поверхневого шару сталевих деталей без зміни хімічного складу володіють комбіновані (гібридні) методи лазерної термообробки (ЛТО) в поєднанні з ультразвуковою обробкою (УЗО) [1, 2], гідроабразивною або гідроструменевою обробкою.

Для проведення досліджень використано плоскі зразки розмірами 100x60x20 мм із конструкційної сталі 45. Лазерне термозміцнення проводили за допомогою волоконного лазера Rofin Sinar FL010 потужністю 1 кВт [1]. Ультразвукове поверхнєве зміцнення здійснювали з використанням технологічної установки, яка складалася з ультразвукового (УЗ) генератора УЗГ250, ультразвукової коливальної системи та електродвигуна.

В даній роботі експериментальні дослідження впливу вхідних факторів (технологічних режимів) на вихідні фактори (характеристики зміцненого шару) проводили при постановці багатфакторного експерименту окремо як для ЛТО (табл. 1), так і для УЗО (табл. 2) [2].

Таблиця 1 – Рівні та інтервали варіювання факторів при ЛТО сталі 45

Фактори	Інтервал варіювання і рівні факторів			
	$x_{\min} (-1)$	$x_{\max} (+1)$	$x_0 (0)$	$\Delta x$
$A(x_1)$ – температура нагрівання $T$ (°C)	1050	1300	1200	125
$B(x_2)$ – швидкість переміщення зразка $S$ (мм/хв)	40	140	90	50

Таблиця 2 – Рівні та інтервали варіювання факторів при УЗО сталі 45

Фактори	Інтервал варіювання і рівні факторів			
	$x_{\min} (-1)$	$x_{\max} (+1)$	$x_0 (0)$	$\Delta x$
$A(x_1)$ – амплітуда ультразвукових коливань $A_{\text{УЗК}}$ (мкм)	15	18	16.5	1.5
$B(x_2)$ – тривалість УЗО $t_{\text{УЗК}}$ (с)	60	240	150	90

Результати показали, що оптимальними режимами ЛТО сталі 45 є температура нагрівання 1200...1300 °C та швидкість обробки 70...90 мм/хв. Визначені режими ЛТО дозволяють підвищити твердість приповерхневого шару приблизно в 3 рази в порівнянні з необробленою поверхнею, забезпечуючи глибину зміцнення 350...450 мкм. Оптимальними режимами УЗО сталі 45 є амплітуда УЗ коливань концентратора 16...18 мкм та тривалість обробки 60 с. Дані режими УЗО дозволяють підвищити твердість поверхні на 50% та зменшити параметр шорсткості  $Ra$  приблизно в 2 рази у порівнянні із вихідним станом.

### Список посилань

1. Lesyk D.A. Surface microrelief and hardness of laser hardened and ultrasonically peened AISI D2 tool steel / D.A. Lesyk, S. Martinez, V.V. Dzhemelinskyi, A. Lamikiz, B.N. Mordyuk, G.I. Prokopenko // Surface and Coating Technology. – 2015. – Vol. 278. – P. 108–120.
2. Lesyk D.A. Effects of laser heat treatment combined with ultrasonic impact treatment on the surface topography and hardness of carbon steel AISI 1045 / D.A. Lesyk, S. Martinez, B.N. Mordyuk, V.V. Dzhemelinskyi, A. Lamikiz, G.I. Prokopenko // Optics and Laser Technology. – 2019. – Vol. 111 – P. 424–438.

УДК 621.9.01

**Клименко С.А.,** докт. техн. наук, професор  
**Манохін А.С.,** канд. техн. наук  
**Копейкіна М.Ю.,** канд. техн. наук., ст. наук. співр.  
**Клименко С. Ан.,** канд. техн. наук  
**Мельнійчук Ю. О.,** канд. техн. наук, ст. наук. співр.  
**Чумак А. О.,** мол. наук. співр.

Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, [atmu@meta.ua](mailto:atmu@meta.ua)

## ВИСОКОПРОДУКТИВНА ЧИСТОВА ЛЕЗОВА ОБРОБКА ДЕТАЛЕЙ ЗІ СТАЛЕЙ ВИСОКОЇ ТВЕРДОСТІ

Технічний прогрес в машинобудуванні в значній мірі пов'язаний зі створенням і широким використанням сучасних конструкційних сталей високої твердості. Їх механічна обробка характеризується низькою продуктивністю, великими витратами енергії, і, як наслідок, підвищеною витратою інструменту, труднощами в забезпеченні необхідних параметрів стану поверхневого шару виробів.

Для обробки таких матеріалів особливий інтерес представляють інструменти, оснащені полікристалічними надтвердими матеріалами – композитами на основі кубічного нітриду бору (ПКНБ) [1, 2].

Вдосконалення технологій фінішної механічної обробки, перш за все, пов'язана зі створенням ПКНБ з підвищеними механічними, теплофізичними і хімічними властивостями, розробкою підходів до управління процесами механіки і фізико-хімії контактної взаємодії інструменту з оброблюваним виробом і елементами навколишнього середовища, розробкою інструменту, конструкції яких базуються на сучасних уявленнях про закономірності процесу різання, створенням ефективних складів і технологій нанесення покриттів і модифікування поверхневого шару інструменту.

В результаті виконання широкого комплексу експериментальних робіт показано, що перспективним напрямком підвищення ефективності обробки деталей із загартованих сталей є створення і застосування різальних інструментів, оснащених ПКНБ, що працюють за схемою косокутного різання – інструментів з однією різальною кромкою або опуклою передньою поверхнею (рис. 1, а). Обробка виконується з поверхневою продуктивністю 30–60 тис. мм<sup>2</sup>/хв., що в 4–7 разів більше, ніж при традиційному чистовому точінні інструментами з ПКНБ, при забезпеченні шорсткості обробленої поверхні  $Ra$  0,32–1,25.

Виконані дослідження дозволили науково обґрунтувати можливість управління механізмом зношування інструменту, оснащеного ПКНБ, за рахунок врахування фізико-хімічних особливостей контактної взаємодії в зоні різання, що забезпечує підвищення працездатності інструменту при високошвидкісному точінні зміцнених сталей (рис. 1, б). Запропоновано концепцію підвищення стійкості лезового інструменту з ПКНБ за рахунок мінімізації хімічної взаємодії в зоні різання шляхом введення азотовмісних речовин до складу композиту і/або захисного покриття на робочих поверхнях різального інструменту, а

також за рахунок зниження температури на плямах спалаху на контактних ділянках інструменту.

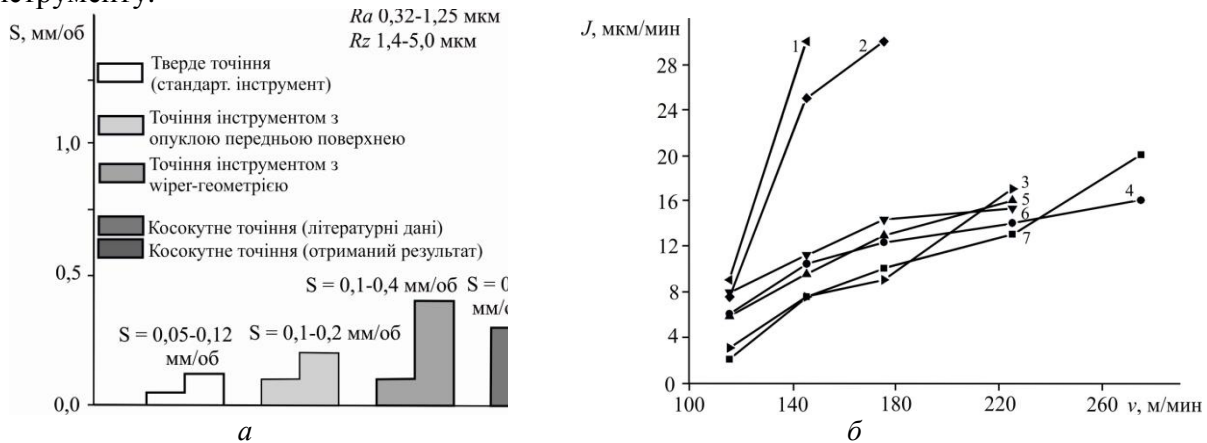


Рис. 1 – Продуктивність фінішної обробки різцями з ПКНБ (а), залежність швидкості зношування різців з ПКНБ (1 – томал-10; 2 – борсинит; 3 – WBN565; 4 – cBN+TiC 45–55%; 5 – cBN+ TiC 45–55%; 6 – cBN+TiN 45–55%; 7 – CBN100) від швидкості різання при точінні сталі ШХ15, 62–64 HRC ( $S = 0,1$  мм/об;  $t = 0,2$  мм) (б)

Перспективи подальшого підвищення працездатності інструментів з ПКНБ обумовлені удосконаленням їх конструкцій, створенням новітніх інструментальних композитів на основі КНБ і захисних покриттів, ефективність яких пов'язана із забезпеченням «активного» впливу на контактну зону.

#### Список посилань

1. Инструменты из сверхтвердых материалов / [Под ред. Н. В. Новикова, С. А. Клименко.] – М.: Машиностроение, 2014. – 608 с.
2. Высокопроизводительная чистовая лезвийная обработка деталей из сталей высокой твердости / [Под ред. С. А. Клименко.] – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН України, 2018. – 304 с.

УДК 621.01

Кошель С.О., канд. техн. наук, доцент  
Кошель Г.В., канд. техн. наук, доцент

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

### СТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ СКЛАДНИХ ПЛОСКИХ ШЕСТИЛАНКОВИХ МЕХАНІЗМІВ ЧЕТВЕРТОГО КЛАСУ

Механізми, до складу яких надходять структурні групи вищих класів все частіше використовуються в сучасних технологічних машинах легкої промисловості.

Для проведення кінематичних та подальших динамічних досліджень складних механізмів попередньо виконуються їх структурні аналізи.

На відмінність від механізмів другого класу, до складу яких надходять групи Ассура такого ж класу п'яти різних видів, механізми четвертого класу на основі груп Ассура четвертого класу другого порядку не мають певної класифікації їх модифікацій. Така «невизначеність» призводить до складнощів, які пов'язані з наступними кінематичними та подальшими динамічними дослідженнями механізмів. Якщо урахувати, що кінематичне дослідження структурних груп четвертого та вище класів вимагає використання спеціальних методів дослідження, на відмінність від способів аналізу груп третього класу [1, 2], стає зрозумілим прагнення дослідників спростити такі дослідження за допомогою структурної заміни механізмів вищих класів кінематично-еквівалентними механізмами нижчих класів. В формулах будов зазначених механізмів присутні структурні групи



меншого класу ніж клас механізму, що досліджується, степінь вільності механізму та кінематичні параметри точок його ланок залишаються незмінними. Таке стає можливим, якщо в механізмі вищого класу зі степенем вільності одиниця умовно обрати іншу можливу ведучу ланку механізму [3].

Розглянемо структурний аналіз механізмів четвертого класу з однією ведучою ланкою на основі можливих варіантів структурних груп четвертого класу другого порядку за допомогою умовної зміни ведучої ланки механізмів на рухомих ланках можливих варіантів початкових механізмів, що можуть бути виявлені в структурі механізмів, що досліджуються.

Наведемо різні модифікації структурних груп четвертого класу другого порядку, що складаються з чотирьох ланок (2- 5) та з шести кінематичних пар A2 – A7 (рис. 1- 7).

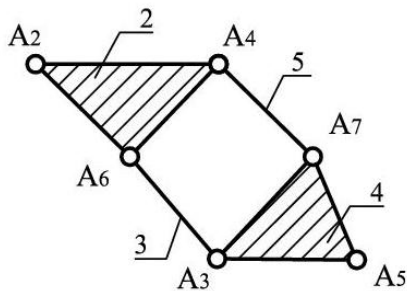


Рис 1. – Структурна група четвертого класу з шістьма обертальними кінематичними парами

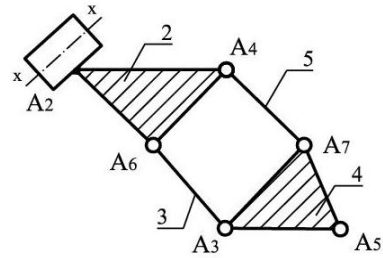


Рис 2. – Структурна група четвертого класу з п'ятьма обертальними та однією поступальною кінематичними парами

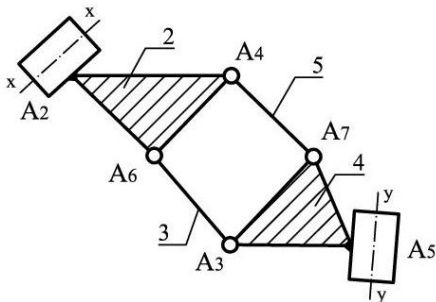


Рис 3. – Структурна група четвертого класу з чотирма обертальними та двома поступальними кінематичними парами

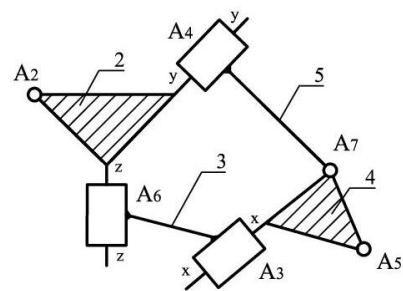


Рис 4. – Структурна група четвертого класу з трьома обертальними та трьома поступальними кінематичними парами

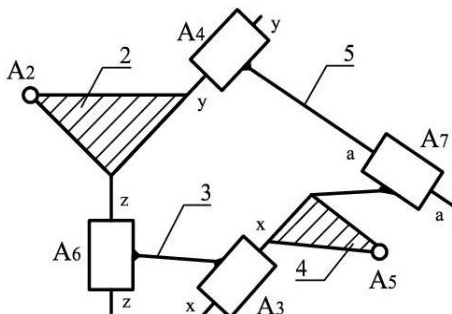


Рис 5. – Структурна група четвертого класу з чотирма поступальними та двома обертальними кінематичними парами

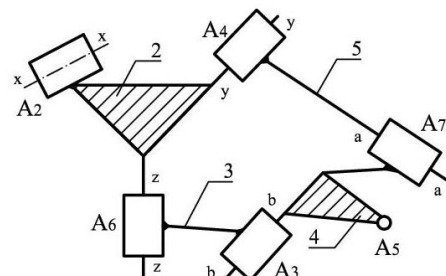


Рис 6. – Структурна група четвертого класу з п'ятьма поступальними та однією обертальною кінематичними парами

Для визначення послідовності кінематичного дослідження на основі наведених варіантів структурних груп четвертого класу згідно з умовною заміною ведучої ланки

будемо вважати, що дійсна ведуча ланка 1 механізму утворює з ланкою 2 кінематичну пару  $A_2$ , а інша зовнішня кінематична пара  $A_5$  утворена ланкою 4 та стояком 0.

Аналіз отриманих результатів дозволяє стверджувати, що механізм четвертого класу з замкненим контуром утвореним трьома шатунами та коромислом на основі структурних груп четвертого класу другого порядку можна кінематично дослідити в послідовності, яка обумовлена формулою будови умовного структурно-еквівалентного механізму третього класу.

#### Список посилань

1. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин / И.И. Артоболевский – М.: Наука, 1988 – 640 с.
2. Сборник научно-методических статей по теории механизмов и машин. Выпуск 9. – М.: Высш. шк., 1982. – 160 с.
3. Кошель С. О. Аналіз плоских механізмів з структурними групами 3-го класу / Кошель С. О., Кошель Г. В. – // К.: Вісник КНУТД. – 2012 – № 4. – с. 22-26.

УДК 621.01

Кошель С.О., канд. техн. наук, доцент  
Кошель Г.В., канд. техн. наук, доцент

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

### СТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ СКЛАДНОГО ПЛОСКОГО ШЕСТИЛАНКОВОГО МЕХАНІЗМУ

Удосконалення існуючого технологічного обладнання легкої промисловості та проектування нових надійних та продуктивних машин базується на проведенні структурно-кінематичного аналізу механізмів, що надходять до їх складу. Розглянемо шестиланковий механізм, що складається з шести рухомих ланок ( $n=6$ ) та восьми обертальних кінематичних пар ( $P_5=8$ ), тому ступінь рухомість його ланок по відношенню до корпуса дорівнює:  $W=3n-2P_5-P_4=3\cdot 6-2\cdot 8-0=2$ .

1 клас  
(ланки 0, 1)      ↘  
1 клас  
(ланки 0, 2)      ↗  
3 клас 3 порядок  
(ланки 3÷6)

Ведучими ланками є два кривошипи, тому формула будови механізму за загально прийнятою структурною класифікацією [1] має вигляд наведений на рис. 1, а сам механізм відноситься до двокривошипного складного механізму третього класу.

Рис. 1 – Формула будови

Кінематичні параметри механізму з декількома ведучими ланками визначаються з використанням методу умовної зупинки однієї з ведучих ланок, що дозволяє з'ясувати вплив іншої ведучої ланки, що залишилась рухомою, на кінематичні параметри всіх ведених ланок. Після того, як з'ясований вплив кожної з ведучих ланок на кінематичні параметри ведених ланок, розраховують абсолютні величини кінематичних параметрів ведених ланок. В нашому випадку дослідження необхідно спочатку умовно зупинити ланку 2 та дослідити вплив руху кривошипу 1 на рух веденої ланки 6, а потім повторити аналіз при умові зупиненої ланки 1 для того, щоб розрахувати кінематичні параметри веденої ланки, які викликані рухом кривошипу 2.

Використання аналітичного методу кінематичного дослідження такого механізму пов'язано з значною кількістю замкнених контурів і, як наслідок, складністю систем алгебраїчних рівнянь, які для структурних груп третього класу розв'язуються лише наближеними математичними методами [2].

Визначаємося з послідовністю кінематичного дослідження механізму, для чого використовуємо властивість механізмів вищого класу змінювати клас при умовній зміні початкового механізму. Щоб встановити вплив руху ведучої ланки 1 на кінематичні

параметри ведених ланок механізму вважаємо іншу ланку 2 нерухомою. Формула будови механізму наведена на рис. 2.

$$\begin{array}{ccc} 1 \text{ клас} & \longrightarrow & 3 \text{ клас 3 порядок} \\ (\text{ланки } 0, 1) & & (\text{ланки } 3 \div 6) \end{array}$$

Рис 2. – Формула будови

Досліджуємо механізм в послідовності, яка обумовлена іншою можливою ведучою ланкою, що надходить до складу групи третього класу. Якщо за початковий механізм обрати сукупність ланок 2, 5 – формула будови всього механізму наведена на рис. 3.

$$\begin{array}{ccccc} 1 \text{ клас} & & 2 \text{ клас 2 порядок} & & 2 \text{ клас 2 порядок} \\ (\text{ланки } 2, 5) & \longrightarrow & (\text{ланки } 4, 6) & \longrightarrow & (\text{ланки } 1, 3) \end{array}$$

Рис 3. – Формула будови

Якщо ведучою ланкою умовно обрати ланку 6 зміни в формулі будови спостерігаються серед тих ланок, що утворюють структурну групу, яка безпосередньо приєднана до іншого умовного початкового механізму (рис.4).

$$\begin{array}{ccccc} 1 \text{ клас} & & 2 \text{ клас 2 порядок} & & 2 \text{ клас 2 порядок} \\ (\text{ланки } 0, 6) & \longrightarrow & (\text{ланки } 4, 5) & \longrightarrow & (\text{ланки } 1, 3) \end{array}$$

Рис 4. – Формула будови

Для обох випадків умовно інших ведучих ланок механізм стає механізмом з послідовним приєднанням структурних груп Ассура другого класу, тобто набуває вигляду механізму другого класу, в якому рух умовно ведучої ланки 5 (рис.3) або ланки 6 (рис. 4) є невизначеними, а веденої ланки 1 – задається. Розв'язати задачу визначення кінематичних параметрів всіх ланок механізму зі ступенем вільності  $W=1$  можна за умов заданих параметрів руху однієї його ланки (необов'язково ведучої), якщо урахувати те, що рух ланок в будь-якому механізмі є взаємопов'язаним [3, 4].

Для визначення впливу руху ланки 2 на кінематичні параметри веденої ланки 6 вважаємо ланку 1 умовно нерухомою. Для випадку інших можливих початкових механізмів маємо формули будов, що наведені на рис. 5 та рис. 6.

$$\begin{array}{ccccc} 1 \text{ клас} & & 2 \text{ клас 2 порядок} & & 2 \text{ клас 2 порядок} \\ (\text{ланки } 1, 3) & \longrightarrow & (\text{ланки } 4, 6) & \longrightarrow & (\text{ланки } 2, 5) \end{array}$$

Рис 5. – Формула будови

$$\begin{array}{ccccc} 1 \text{ клас} & & 2 \text{ клас 2 порядок} & & 2 \text{ клас 2 порядок} \\ (\text{ланки } 0, 6) & \longrightarrow & (\text{ланки } 3, 4) & \longrightarrow & (\text{ланки } 2, 5) \end{array}$$

Рис 6. – Формула будови

З аналізу отриманих формул будов робимо висновок про те, що незалежно від того, яку іншу умовно ведучу ланку обираємо, при подальшому дослідженні механізму у такій послідовності маємо справу з механізмом другого класу, для якого задача кінематичного аналізу є статично визначеною.

#### Список посилань

1. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин / И.И. Артоболевский – М.: Наука., 1988 – 640 с.
2. Зиновьев В.А. Курс теории механизмов и машин / В.А. Зиновьев – М.: Наука., 1972 – 384 с.
3. Кошель С.О. Визначення швидкостей точок плоского механізму зі структурними групами третього класу графічним способом / С.О. Кошель, Г.В.Кошель // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2013 – №3.
4. Кошель С.О. Визначення прискорення точок плоского механізму з структурними групами третього класу графоаналітичним способом / С. О. Кошель, Г. В. Кошель // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. - 2013 – № 3 (тематичний випуск) – С. 280-284.

УДК 539.595

**Лимарченко О.С., докт. техн. наук, професор**

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, olelim2010@yahoo.com

**Губська В.В., канд. фіз.-мат. наук**

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

viktoriagubskaia@gmail.com

## **ДОСЛІДЖЕННЯ УЗАГАЛЬНЕНОГО ПАРАМЕТРИЧНОГО РЕЗОНАНСУ ДЛЯ РЕЗЕРВУАРА ГІПЕРБОЛОЇДАЛЬНОЇ ФОРМИ**

При великій відносній масі рідини її хвильові рухи можуть суттєво впливати на динаміку транспортного засобу. Це висуває додаткові вимоги до системи управління і може бути причиною небажаних режимів руху і навіть аварійних ситуацій [2]. Тому необхідно володіти високодостовірною моделлю процесів у системах резервуар–рідина, зручною для теоретичного аналізу та чисельної реалізації. Важливим класом задач є узагальнення класичної задачі Фарадея для резервуара з рідиною, що здійснює заданий рух в вертикальному напрямку [3,4]. Таке узагальнення проводиться в трьох напрямках [1]: рух системи «резервуар – рідина» здійснюється з наданням додаткових ступенів вільності, наприклад, дозволяється поступальний рух системи в горизонтальному напрямку, або кутовий рух резервуара; на відміну від класичної задачі Фарадея задача розглядається в сумісній постановці; розглядаються випадки не лише циліндричної форми резервуара, а й інші форми. Такі узагальнення відповідають задачам про повздовжній рух літальних апаратів, суден, коли закріплення конструкції резервуару з рідиною немає, а рух відбувається в зв'язаному режимі. З іншого боку задачі динаміки резервуарів нециліндричної форми являють собою мало досліджену область, де до теперішнього часу одержано мало практичних результатів.

В роботі розглядається задача про розвиток параметричних коливань рідини з вільною поверхнею в резервуарі у формі двопорожнинного гіперboloїда у випадку, коли резервуар рухається вертикально під дією сили, що змінюється за заданим гармонічним законом з можливістю горизонтального поступального руху. Поведінка системи розглядається в рамках нелінійної багатомодової моделі сумісного руху резервуара і рідини. Результати чисельного моделювання свідчать, що саме на власній частоті сумісних коливань помітний суттєвий прояв параметричного резонансу. Коливання швидко зростають до рівня 0,3 радіуса вільної поверхні. Для парціальної або зменшеної частоти прояв параметричного резонансу практично непомітний і коливання розвиваються в часі з амплітудами порядку початкового збурення. Аналогічно змінюється і параметр поступального руху резервуару в горизонтальному напрямку. Прояв параметричного резонансу призводить до суттєвого відхилення системи від початкового стану.

Показано, що підхід в моделюванні, при якому динаміка системи розглядається в рамках моделі сумісного руху, значно більше відповідає реальним інженерним системам.

### **Список посилань**

1. Константинов А.В. Задача о параметрических колебаниях резервуара нецилиндрической формы с жидкостью со свободной поверхностью / Константинов А.В., Лимарченко О.С., Мельник В.Н., Семенова И.Ю. // Прикладная механика. – Том 52, №6. – 2016. – С. 49 – 57
2. Лимарченко О.С. Нелинейная динамика конструкций с жидкостью. / Лимарченко О.С., Ясинский В.В. — Киев: НТТУ КПИ. – 1997. – 338 с.
3. Ikeda T. Autoparametric Resonances in Elastic Structures Carrying Two Rectangular Tanks Partially Filled with Liquid // J. Sound and Vibr. // 2007. – 302, N 4 – 5. – P. 657 – 682.
4. Ibrahim R. Recent advances in physics of fluid parametric sloshing and related problems // J. of Fluid Engineering. – September 2015. – 135. – P. 1 – 52.

УДК 338.2

Дзюбик А.Р., канд. техн. наук, доцент

Національний університет «Львівська політехніка», [dar.lviv@gmail.com](mailto:dar.lviv@gmail.com)

Назар І.Б., канд. техн. наук, доцент

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

Дзюбик Л.В., канд. техн. наук

Національний університет «Львівська політехніка», [liudmyla.v.dziubyk@lpnu.ua](mailto:liudmyla.v.dziubyk@lpnu.ua)

## КЛЮЧОВІ ЕТАПИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ІНЖЕНЕРНИХ ПРОЕКТІВ

Зважаючи на сучасні тенденції розвитку ринкової економіки та заснування нових підприємств у сфері промислової та цивільної інженерії, питання забезпечення якості безумовно, є одним з ключових компонентів успіху проектів.

Існує багато підходів до управління якістю на виробництві. Зокрема відомими є принципи запропоновані у роботі Джеффри Лайкера [1], де автор звертає увагу на такі особливості забезпечення якості продукції як: управління якістю; підготовку кадрів; інспектування діяльності з управління якістю; використання статистичних методів контролю якості; участь у програмах з оцінки якості. Команда з Project Management Institute у своїй роботі [2] пропонує методологію, котра передбачає планування якості, забезпечення якості та контроль якості на відповідних етапах реалізації проектів. У міжнародному стандарті ISO 10006:2003 система управління якістю базується на двох аспектах, зокрема, стосовно процесів проекту, і продукції проекту. При цьому ігнорування будь-якого з цих аспектів впливає на якість очікуваних результатів.

Однак, реалізація проектів у сфері промислової та цивільної інженерії вимагає більш динамічного підходу щодо забезпечення якості виробничого процесу та готової продукції. Зважаючи на це, авторами пропонується базувати систему управління якістю на таких ключових етапах: планування якості, забезпечення якості, контроль якості та покращення якості. На *початковому етапі* розробляється план управління якістю, планується робота з клієнтами, визначаються вимоги до готового продукту і процесів, визначаються основні стандарти. Етап *забезпечення якості* передбачає реалізацію розробленого плану із застосуванням різних інструментів (чек-листи, контроль показників та критеріїв, фокус-групи, тощо) та аудит системи якості. Іншими словами цей етап - це застосування запланованих, систематичних заходів контролю якості для забезпечення того, щоб проект передбачав всі процеси, необхідні для задоволення вимог, визначених під час планування. Під час *здійснення контролю якості* спеціально сформована команда аудиторів здійснює контроль якості процесу виробництва та кінцевого продукту (*фізичні властивості, геометричні параметри, оцінка працездатності, тощо*). Завершальний етап *покращення якості* передбачає застосування відомої і дієвої моделі Демінга, яку ще називають цикл PDCA — це плануй (Plan), роби (Do), перевіряй (Check), впливай (Act). При його застосуванні в інженерних проектах можна ефективно керувати діяльністю на системній основі. Методологія PDCA це найпростіший алгоритм дій керівника по управлінню процесом реалізації проекту і досягнення його цілей.

Ми переконані, що така методологія забезпечення якості інженерних проектів дозволить знизити ймовірність помилок під час планування і реалізації проектів, забезпечить задоволеність клієнтів та підвищить якість функціонування продукту.

### Список посилань

1. Джеффри К.Лайкер. Філософія TOYOTA. 14 принципів роботи злагодженої команди / Джеффри К.Лайкер. – К.: Наш формат, 2017. – 424 с.
2. Project Management Institute, A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) — Sixth Edition (ENGLISH), Project Management Institute Inc., 2017.

УДК 666.940.41; 539.3

Дзюбик Л. В., канд. техн. наук, доцент  
Національний університет «Львівська політехніка», [Liudmyla.V.Dziubik@lpnu.ua](mailto:Liudmyla.V.Dziubik@lpnu.ua)  
Зінко Я. А., канд. техн. наук, доцент  
Національний університет «Львівська політехніка», [Yaroslav.A.Zinko@lpnu.ua](mailto:Yaroslav.A.Zinko@lpnu.ua)

## ОСОБЛИВОСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ КРУПНОГАБАРИТНИХ ОБОЛОНКОВИХ КОНСТРУКЦІЙ

В промисловості крупногабаритні оболонкові конструкції широко застосовуються для забезпечення різноманітних технологічних процесів: збереження, транспортування, оброблення та переміщення речовин. Обумовлено це можливістю утримувати значні об'єми робочих речовин у заданому положенні. Однак, значні конструктивні розміри та висока вартість виготовлення потребують застосування якісних методик встановлення міцнісних характеристик. Типовим прикладом таких конструкцій є обертові агрегати неперервної дії, які використовують в хімічній, гірничозбагачувальній та будівельній промисловостях. Тут поєднуються статичні навантаження від ваги конструкції та транспортованого продукту з динамічними зусиллями від обертання навколо власної осі.

Для оцінки напруженого та деформованого стану пропонується розрахункова методика, що дає змогу більш точно врахувати зосереджену дію транспортованого продукту на стінки корпусу. На даний час такий вплив розглядається як розподілене навантаження в нижній частині оболонки корпусу. Розподіл виконується за законом косинуса з врахуванням парних гармонік (другої та четвертої). Однак, аналіз таких крупногабаритних конструкцій показує, що непарні гармоніки також мають суттєвий вплив, а зміщення транспортованого продукту внаслідок обертання корпусу, лише його посилює. Застосовувався математичний апарат, який ґрунтується на відомій балково-оболонковій теорії [1], що дає змогу оцінити напруження та деформації в корпусі обертового агрегату від сумісної дії зазначених вагових навантажень. Зокрема, вплив транспортованого продукту оцінювався за напівбезмоментною теорією оболонок В. З. Власова у викладі В. Л. Бідермана [2].

Розрахунок виконувався для багатоопорної цементної печі, що в процесі експлуатації зазнає локального впливу від переміщення випалювального матеріалу. Вивчався рівень заповнення внутрішнього перерізу корпусу печі матеріалом, в діапазоні від  $15^{\circ}$  до  $60^{\circ}$ , припускаючи, що загальна маса залишається незмінною. Встановлено, що найбільший вплив на переміщення мають перші три гармоніки, а починаючи з четвертої, він зменшується. Також показано, що при зменшенні кута заповнення транспортованого продукту, зростає величина повздовжніх і кільцевих напружень. Причому для останніх, ця зміна є значно суттєвіша. При зміщенні продукту відносно центрального перерізу (внаслідок обертання корпусу) спостерігається перерозподіл напружень. Тут відбувається розвантаження однієї частини оболонки корпусу та навантаження іншої, відповідно.

Отже, при оцінюванні міцності крупногабаритних оболонкових конструкцій, необхідно враховувати особливості їх експлуатації. При цьому важливо зважати не лише на значні масові характеристики, а також на локальну дію транспортованих продуктів. Останні в результаті локального перевантаження можуть призводити до утворення тріщин, особливо при наявності різноманітних дефектів поверхні та з'єднань.

### Список посилань

1. Дзюбик Л. В. Взаємодія оброблюваного матеріалу та футерівки з корпусом обертового агрегату / Л. В. Дзюбик // Науковий вісник НЛТУ України: збірник науково-технічних праць. Львів: РВВ НЛТУ України. – 2014. – Вип. 24.3. – С. 151 – 156.
2. Бидерман В. Л. Теория механических колебаний: [учеб. для вузов по специальности «Динамика и прочность машин»] / В. Л. Бидерман. – М.: Высш. шк., 1980. – 408 с.

УДК 621.979

Веселовська Н.Р., докт.тех.наук, професор

Гнатюк О.Ф., аспірант

Вінницький національний аграрний університет, [wnatalia@ukr.net](mailto:wnatalia@ukr.net)

## МЕТОДИ ЕФЕКТИВНОГО РОЗВАНТАЖЕННЯ НАСИПНИХ ВАНТАЖІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Аналіз відомих методів ефективного розвантаження насипних вантажів транспортних засобів показує, що найбільш перспективним методом є застосування вібраційного і віброударного навантаження. При дії віброударного навантаження на дисперсний матеріал, в останньому відбувається ряд фізичних перетворень, характер яких залежить від інтенсивності і виду віброударного навантаження. Віброударне навантаження, в залежності від фізико-механічних властивостей розвантажувального матеріалу, викликає в даній системі руйнування зон контактів частинок дисперсного середовища. За рахунок руйнування внутрішніх силових зв'язків і виникнення хвильових процесів дисперсне середовище переходить в стан псевдооживлення, що забезпечує йому додаткову рухомість, яке прискорює процес розвантаження.

Вантажно-розвантажувальні роботи на автомобільному транспорті є найбільш трудомісткою складовою частиною транспортного процесу. У зв'язку з цим простій автомобілів під вантажно-розвантажувальними операціями і в очікуванні їх 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 раціональної роботою складів, з яких забирається вантаж у відправника вантажу або на які здається вантаж вантажоодержувачу. 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 пакетованих, а кошти механізації перевантажувальних робіт були вільні.

Основними засобами механізації вважаються стаціонарні і 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 автовантажувачі й засоби малої механізації, що полегшують, але не замінюють ручна праця: роликові й шарнірні лопати, 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 з-за 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.

Тому впровадження нових сучасних технологій у вантажно-розвантажувальних роботах на автомобільному транспорті дає можливість прискорити розвантаження, знизити затрати і скоротити наднормативні простой транспортних засобах під розвантажувальними роботами.

УДК 621.941

Повстяной О.Ю., канд. тех. наук, доцент  
Полінкевич Р.М., канд. тех. наук, доцент  
Четвержук Т.І., канд. техн. наук, ст. викладач  
Луцький національний технічний університет, [eti\\_tar@ukr.net](mailto:eti_tar@ukr.net)

## ПРОГНОЗУВАННЯ ЧАСОВИХ ТЕНДЕНЦІЙ НА ПРИКЛАДІ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВИСОКОШВИДКІСНИХ ОПОР ШПИНДЕЛЬНИХ ВУЗЛІВ

Основною метою проведення експерименту є дослідне визначення шляхів вдосконалення конструкцій вузлів металорізальних верстатів (МРВ). Розглянемо основні задачі прогнозування часових тенденцій на прикладі експериментальних досліджень високошвидкісних опор шпиндельних вузлів (ШВ) з використанням векторного критерію оптимізації  $\vec{Y}$ , компонентами якого є часткові показники їх працездатності, такі як: статична жорсткість  $C_{ст}$ , яка визначається приростом навантаження  $\Delta P$  на шпиндель на величину зміщення  $\Delta$  шпинделя в опорі; динамічна жорсткість  $C_{д}$ , яка визначається амплітудою коливань  $\Delta e$  шпинделя в опорі під дією гармонічного навантаження з амплітудою  $\Delta P$  і частотою  $\omega$ ; втрати на тертя і прокачування мастила в опорі  $N_{mp}$ , які визначають температурний режим опори. Вони в основному визначають продуктивність зняття металу і якість обробленої поверхні на металообробному обладнанні, які лімітуються збоку ШВ. Ідеальні опори ШВ повинні мати достатньо високі  $C_{ст}$  і  $C_{д}$  при мінімальних втратах  $N_{mp}$ .

Найбільш перспективними в цьому відношенні є опори ковзання з рідинним тертям, зокрема, гідростатичні. Застосовувані мастила, в основному мінеральні, мають верхні межі робочих температур, вище яких вони піддаються інтенсивному руйнуванню. Отже, в ході проведення експерименту необхідно контролювати температуру нагріву мастила. Це тим більш актуально, що передбачити теоретично температурний баланс в опорі з достатньою точністю при роботі на граничних режимах практично неможливо.

Друга небезпека – можливість металічного контакту ковзаючих поверхонь, причиною якого можуть стати: перевищення допустимого навантаження на опори, втрата стійкості при високих швидкостях обертання або динамічних навантаженнях, зміна характеристик змащування, геометрична неточність деталей опори і інші. Такий контакт, як правило приводить до руйнування ковзаючих поверхонь і навіть до їх зварювання тертям, отже, необхідно контролювати величини зазорів в опорі.

Екстраполяція в критичну область з використанням інформації про поведінку системи в області, близької до неї, дозволяє оцінити до проведення експерименту в критичній області його наслідки. Такий експеримент може проводитися без наявності однієї з трьох ситуацій, які не завжди прогнозуються (рис. 1):

1) Показник працездатності  $Y$  (діагностичний характер) багаторазово зростає поблизу критичної області з ростом управляючого впливу (чинника)  $X$  – при цьому можлива довготривала робота на постійному рівні  $Y$  в критичній області (крива 1);

2) Показник працездатності  $Y$  різко зростає поблизу критичної області з ростом  $X$  – при цьому робота за межею критичної області приводить до виходу випробовуваного пристрою з ладу (крива 2);

3) Показник  $Y$  при рості  $X$  досягає екстремального значення поблизу критичної області (або в ній), а потім різко падає – опора переходить в інший режим роботи (крива 3).

Діагностичним параметром  $Y$  може бути при випробовуванні високошвидкісних опор, наприклад, величина температури нагріву мастила в опорі або момент тертя. Управляючим впливом в цьому випадку є частота обертання  $\omega$ . При цьому система має інерцію, а вигляд  $Y(t)$  залежить від закону зміни  $X(t)$ , тобто  $Y(t) = \varphi[X(t)]$ .



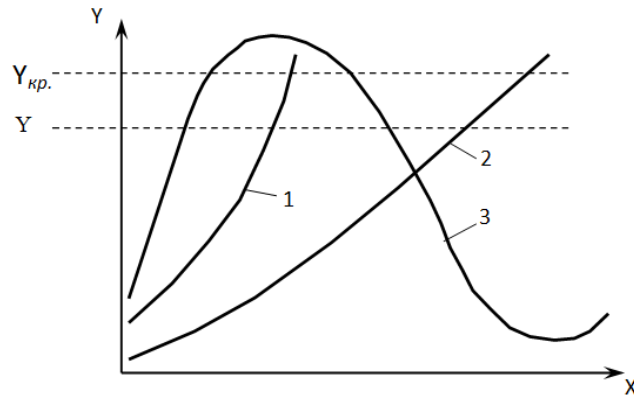


Рис. 1 – Ілюстрація можливих ситуацій зміни показника працездатності опори  $Y$  поблизу критичної області

Перша ситуація характерна при випробовуваннях нових конструкцій опор, коли більш високі частоти обертання досягаються при збереженні режиму роботи (характеру тертя) сталим. Наприклад, при більш ефективному охолодженні опори можливе підвищення граничної частоти обертання до досягнення критичного значення  $Y$ .

В такій ситуації виникає задача визначення нового положення критичної зони по значенню впливу  $X$  і, можливо, по показнику  $Y$ , якщо його зміна не приводить до зниження ресурсу роботи опори, наприклад, в результаті інтенсивного старіння використовуваного мастила. Характерна особливість, яка визначає проведення експерименту – відсутність фактора катастрофічного росту  $Y$  і, отже, шпindelної опори з ладу.

Друга ситуація характерна при випробовуванні конструкцій, показники працездатності яких принаймні не перевищують досягнутих. До цього ж випадку зводиться і попередній випадок при зміщенні критичної зони по показнику  $Y$  (вверх) до початку його катастрофічного росту. Характерна особливість експерименту – наявність ризику виходу з ладу опори.

Третя ситуація може виникнути в тому випадку, коли при підвищенні частоти обертання настає момент зміни режиму тертя (зменшення моменту тертя). Розрахунок деяких моделей показує, що настання цього режиму можливе лише в закритичній області. Якщо теоретичні передумови вірні, то задачею дослідження є вивід досліджуваної опори на потрібний режим за максимально короткий час, достатній для переходу в новий режим тертя, коли інерційні процеси, наприклад, підігрів мастила, не встигають завершитися. Так як теоретичні моделі подібних процесів, як правило, ще не підтверджені експериментом, то існує значний ризик виходу опори з ладу. Автоматизація експерименту є мабуть єдиним засобом проведення дослідження таких процесів. При цьому цикл одного експерименту повинен містити наступні операції: вибір режиму зміни  $X$  – експеримент в області, близькій до критичної – екстраполяція в критичну область – оцінка екстраполяції – експеримент в критичній області – аналіз експерименту і коректування межі критичної області. Дослідження повинно проводитись повторюваними циклами з послідовним наближенням до прогнозованого режиму.

При експериментальному дослідженні об'єктів нової техніки або нових технологічних процесів виникає задача управління в критичній області їх працездатності. При цьому часом поведінка досліджуваного об'єкта, наприклад, надшвидкого вузла, прогнозується лише на рівні гіпотези, а вихід об'єкта із ладу тягне за собою значні затрати часу і коштів на його відновлення.

Стратегія планування експериментів, таким чином, полягає в поступовому виконанні таких циклічних етапів: здійснення навчальних експериментів в докритичній зоні функціонування об'єкта з метою накопичення інформації про його поведінку; обробка цієї

інформації з метою отримання математичної моделі, яка відображає цікаві властивості об'єкта; екстраполяція поведінки об'єкта при його управлінні, яка веде у критичну зону функціонування, та оцінка цього управління і його амортизація; проведення експерименту в критичній зоні; вибір навчальної серії експериментів на новому, досягнутому в критичній зоні, рівні. Така стратегія дозволяє звести до мінімуму ризик виникнення небезпечних і аварійних ситуацій.

#### Список посилань:

1. Кузнецов Ю.М. Прогнозування розвитку технічних систем. / Ю.М. Кузнецов, Р.А. Склярів.: ТОВ «ЗМОК» – ПП «ГНОЗИС», 2004. – 323 с.
2. Полінкевич Р.М. Програмне забезпечення моделювання гідростатичних підшипників із деформованими перемичками / Полінкевич Р.М., Четвержук Т.І. // Тези доповідей VIII Міжнародної науково-технічної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» 10 - 12 травня 2018 р. м. Чернівці. С. 219-221.
3. Пуш А.В. Шпindelные узлы: Качество и надежность [Текст]/ А. В. Пуш – М.: Машиностроение, 1992. – 286 с.
4. Сидельников Ю.В. Теория и организация экспертного прогнозирования. / Ю.В.Сидельников. – М.: ИМЭМО АН, 2004. – 396 с.

УДК 621.941-229.3:531.133

Охріменко О.А., докт. техн. наук, доцент  
Станєв А.І., студент

Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», alexhobs77@gmail.com

### ВИЗНАЧЕННЯ ПРОФІЛЮ ДИСКОВОГО ІНСТРУМЕНТУ ДЛЯ ОБРОБКИ ГВИНТОВИХ КАНАВОК ЗА ДОПОМОГОЮ CAD СИСТЕМ

В даний час значне місце при обробці циліндричних гвинтових поверхонь займають інструменти дискового типу, вихідна інструментальна поверхня яких, є поверхнею обертання. Визначення профілю твірної такої поверхні є важливою задачею при проектуванні інструменту призначеного для обробки гвинтових канавок.

Основним способом для визначення параметрів дискового інструменту є аналітичний спосіб, що описаний багатьма дослідниками [1, 2] поширений графічний спосіб, який є наочним [3]. В сучасному виробництві інженер у своїй практиці зазвичай використовує одну типову CAD систему яка є домінуючою на цьому виробництві. Тому і намагається всі побудови і розрахунки за необхідності робити в ній. Коли визначають профіль твірної дискового інструменту для обробки циліндричних гвинтових поверхонь то при аналітичних способах необхідно використовувати спеціальні математичні пакети, а існуючі графічні способи громіздкі так як використовують CAD систему, як графічний кульман, що незручно.

Тому для скорочення строків підготовки до виробництва нових виробів, уніфікація і стандартизації документації при виготовленні деталей у складі яких, є гвинтові поверхні пропонується методика визначення профілю дискового інструменту для обробки гвинтових канавок довільного профілю за допомогою CAD систем, що ґрунтується на особливостях кінематики формоутворення таких поверхонь і при чому побудова не зводиться до використання її як графічного кульмана.

Для вирішення цієї задачі розглянемо кінематичну схему формоутворення [4] за якою ведеться обробка таких канавок, вона відноситься до схем 1 класу 2 типу, відносний рух інструмента відносно деталі є обертальний [4]. На реальному обладнанні круг або фреза обертається навколо своєї осі і рухається по гвинтовій траєкторії уздовж осі свердла тим самим утворюючи гвинтову канавку необхідної форми. Так як гвинтова поверхня є гвинтовою циліндричною поверхнею постійного кроку то рух по гвинтовій траєкторії

круга(фрези) відносно осі свердла при розгляді формоутворення можемо знехтувати – це рух ковзання поверхні «самої по собі». Залишається тільки обертальний рух інструменту навколо своєї осі. Згідно визначення в нас залишився тільки один рух – обертання інструмента навколо своєї осі і тепер його в зворотньому напрямку прикладемо до деталі заготовки(гвинтової поверхні) і тепер заготовка обертається навколо осі круга і займає ряд послідовних положень, огинаюча до цих послідовних положень буде шукана вихідна інструментальна поверхня (ВПІ) дискового інструменту [4]. На прикладі покажемо визначення ВПІ дискового інструменту для обробки гвинтової канавки свердла рис.1.

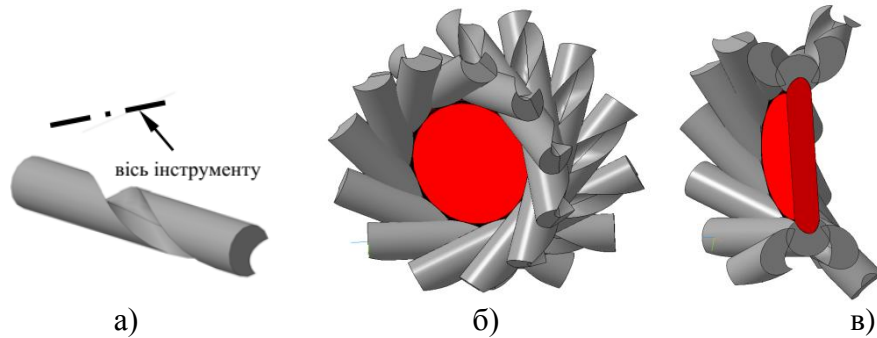


Рис. 1 – Етапи визначення ВПІ дискового інструменту для обробки гвинтової канавки свердла: а) модель свердла з віссю інструмента, б) побудова послідовних положень деталі – масив по колу, в) визначення осьового перерізу ВПІ дискового інструменту.

Побудова буде складатись з наступних етапів:

- 1) побудова 3D моделі гвинтової поверхні і побудова осі інструмента по відношенню до деталі (рис.1.а);
- 2) масивом по колу відносно осі інструмента розмножуємо поверхню деталі (рис.1.б);
- 3) зробивши переріз утвореного масиву по колу площиною, що проходить через вісь інструмента знаходимо параметри осьового перерізу ВПІ інструмента.

Для знаходження параметрів осьового перерізу ВПІ інструмента не обов'язково робити масив по повному колу, а для даного випадку досить побудови 2-х масивів, які обертаються в різні сторони на кут сектора приблизно 100 від центрального положення у кількості 20, або більше екземплярів, чим більше кількість екземплярів тим точніше буде знайдена ВПІ інструмента, однак тут є обмеження ресурсами обчислювальної техніки, яка використовується для побудови. Щоб знайти параметри ВПІ інструменту з утвореної моделі будуюмо нове креслення і додаємо в нього вид з моделі раніше створеної у прийнятному масштабі при такому розташуванні вісь інструмента знаходиться перпендикулярно до нас і її розташування в точці початку координат (рис.2.а).

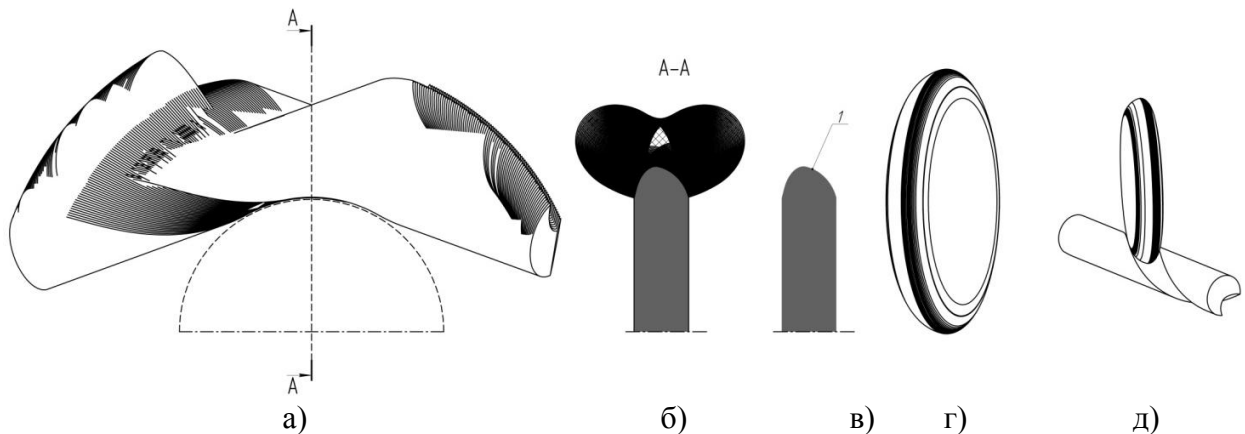


Рис. 2 – Знаходження геометричних параметрів ВПІ інструменту для обробки гвинтової поверхні свердла.

Для отримання профілю ВП ми повинні зробити переріз сімейства поверхонь площиною, яка проходить чечез вісь круга і до отриманого перерізу побудувати огинаючу (рис.2, а, рис.2, б) при чому в параметрах перерізу А-А необхідно вказати, що відображати тільки сам переріз. Далі оформляємо профіль круга, як огинаючу до послідовних положень ліній перерізу (рис.2, б) і будуємо вісь, вона проходить горизонтально через початок координат виду (рис.2, в), за отриманим профілем будуємо 3D модель круга (рис.2, г). Для перевірки правильності визначення ВП дискового інструменту можна побудувати модель зачеплення розрахованого ВП інструменту з гвинтовою канавкою і перевірити їх на контакт(прилягання) одна до одної (рис.2, д).

Таким чином за запропонованою методикою визначення ВП інструменту для обробки гвинтових канавок зводиться до стандартних геометричних побудов, які забезпечують всі сучасні САД системи при 3D моделюванні не використовуючи математичні розрахунки. До переваг такого способу слід віднести наочність із недоліків, що він не дає відповідь чи виконуються умови формоутворення поверхні [4], це є типовим недоліком для графічних способів проектування.

#### Список посилань

1. Лашнев, С.И. Профилирование инструментов для обработки винтовых поверхностей [Текст]/ С. И. Лашнев – М.: Машиностроение, 1965. – 286 с.
3. Панкратов, Ю.М. САПР Режущих инструментов [Текст]/ Ю.М Панкратов, – СПб.: Издательство «Лань», 2013. – 336 с.
4. Семенченко, И.И. проектирование металлорежущих инструментов [Текст]/ И.И. Семенченко, В.М. Матюшин, Г.Н. Сахаров – М.: Машгиз, 1963. – 953 с.
5. Равська, Н. С. Основи формоутворення поверхонь при механічній обробці[Текст]/ Н. С. Равська, П. П. Мельничук, Т. П. Ніколаєнко, О.А. Охріменко - К.: Вид. СКД-Друк, 2013. – 215 с.

УДК 621.9.047/048

**Чаругин Н.В., канд. техн. наук, доцент**  
**Хамитов Ю.А., студент**

Одесский национальный политехнический университет, yuriikhamitov@gmail.com

#### **ВОЗДЕЙСТВИЕ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОДОВ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ**

Обработка любых токопроводящих материалов и получение, с помощью профилированного электрода-инструмента, сложных по форме и размерам поверхностей, которые невозможно получить механическими методами, является одним из главных достоинств размерной электроэрозионной обработки [1].

Высокоскоростной нагрев, приводящий к взрывному расплавлению и испарению металла с последующим его выбросом, сопровождается термострикционным ударом, вносящим механическую составляющую разрушения. Распространение образовавшейся трещины зависит от длительности воздействия и других характеристик металла, теплопроводности, а также его межфазного физико-химического взаимодействия с жидкой и парообразной фазами, образования которых сопровождает развитие единичного разряда [2].

Известно, что разрушение металлов подчиняется закону, предложенному Гриффитсом, согласно которому работа, затрачиваемая на разрушение, пропорциональна свободной энергии, той поверхности, которая образуется при разделении металла. Свободная или поверхностная энергия играет существенную роль при диспергировании металла, если пластическая деформация металла, которой сопровождается диспергирование, незначительна. Если металл разрушается в среде поверхностно-активных веществ, то работа на его разрушение существенно снижается [3].

Рассматривалось влияние агентов-понижителей поверхностной энергии на

интенсификацию разрушения металла в процессе электрической эрозии и, соответственно, повышения производительности процесса обработки материала.

Изучение производительности процесса осуществлялось определением эрозии стальных электродов после воздействия серии импульсов. Применение данных электродов обусловлено тем, что при таком сочетании материала, детали и инструмента интенсивность эрозии максимальна и влияние адсорбционных явлений может быть легко выявлено.

В качестве реагентов применялись различные классы органических поверхностно-активных веществ.

#### Список ссылок

1. Попилов Л.Я. Электрофизическая и электрохимическая обработка материалов [Текст] / Л.Я. Попилов – М.: Машиностроение, 1990. – 278 с.
2. G.N. Meshcheriakov, N.V. Charugin, N.G. Meshcheriakov Phisico-chemical surface phenomena in EDM and Metal transfer [Текст] / Annals of the CIRP. – 1980. Vol 29(1) – p. 117-122.
3. Ребиндер П.А. Поверхностные явления в твердых телах в процессе их деформации и разрушения [Текст] / П.А. Ребиндер, Е.Д. Щукин // Успехи физических наук – 1972. № 1. – с. 1 – 39.

УДК 621.923.42

**Пасов Г.В., канд. техн. наук, доцент**  
**Бакалов В.Г., канд. техн. наук, доцент**

Чернігівський національний технологічний університет, [genapasov@gmail.com](mailto:genapasov@gmail.com)

### СИМУЛЯТОР РОБОТИЗОВАНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ НА БАЗІ ТОКАРНОГО ВЕРСТАТА З ЧПК

Традиційно при засвоєнні будь-якої навчальної дисципліни студент повинен вивчати її на лекціях, лабораторних та практичних заняттях. Але при цьому як методичний наочний матеріал використовуються, здебільшого, ілюстрації зовнішнього вигляду, будови та конструкції різноманітних механізмів у вигляді двовимірних статичних схем [1-2].

При вивченні навчальної дисципліни «Верстати з числовим програмним керуванням та верстатні комплекси» запропоновано використовувати навчальний симулятор роботизованого технологічного комплексу на базі токарного верстата 16K20Ф3С32 з системою керування 2P22, розроблений фірмою SunSpire Art group.

Симулятор є комп'ютерним віртуальним тренажером, який призначений для ознайомлення студентів з принципами побудови системи керування, пристроями їх структурних апаратних складових елементів, методами і засобами програмування роботи автоматизованого обладнання.

Після заставки відкривається меню вибору заготовок (рис. 1). Для вибору конкретного типорозміру потрібно натиснути лівою кнопкою миші по значку заготовки та натиснути на кнопку «ОК». Далі відкривається меню вибору різучого інструменту (рис. 2).



Рис. 1 – Меню вибору заготовок

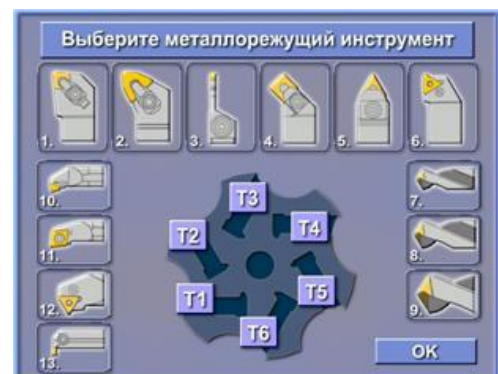


Рис. 2 – Меню вибору різального інструменту

Кути точки огляду камери є координатами положення камери 3D огляду в сферичній системі координат. Камера відцентрована на вісь верстата (рис. 3).

У вікні текстового редактора керуючої програми (КП) зверху розташована панель інструментів, а знизу панель статусу КП, в якій відображається поточний кадр КП (рис. 4).

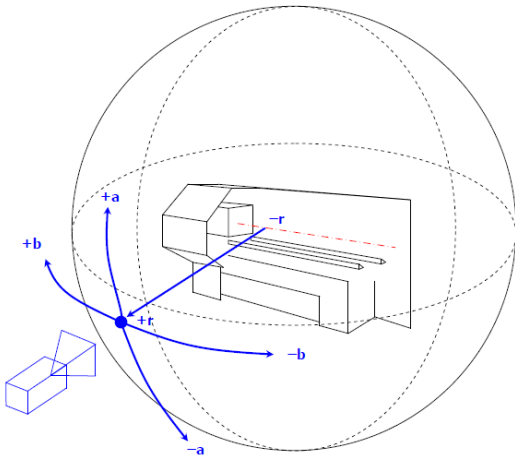


Рис. 3 – Система координат камери перегляду 3D

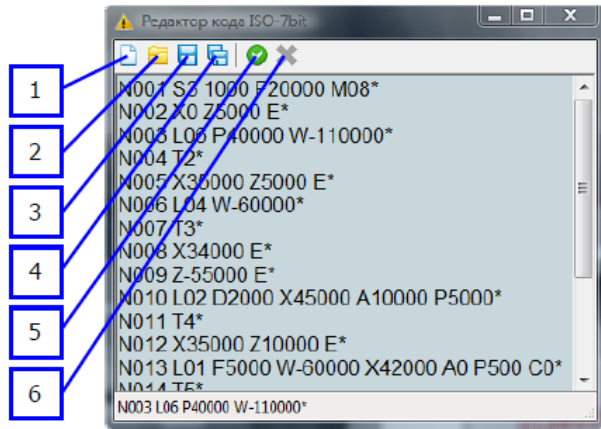


Рис. 4 – Функціональні кнопки вікна текстового редактора КП

Приклад використання навчальний симулятор роботизованого технологічного комплексу на базі токарного верстата з ЧПК представлено на рис. 5.

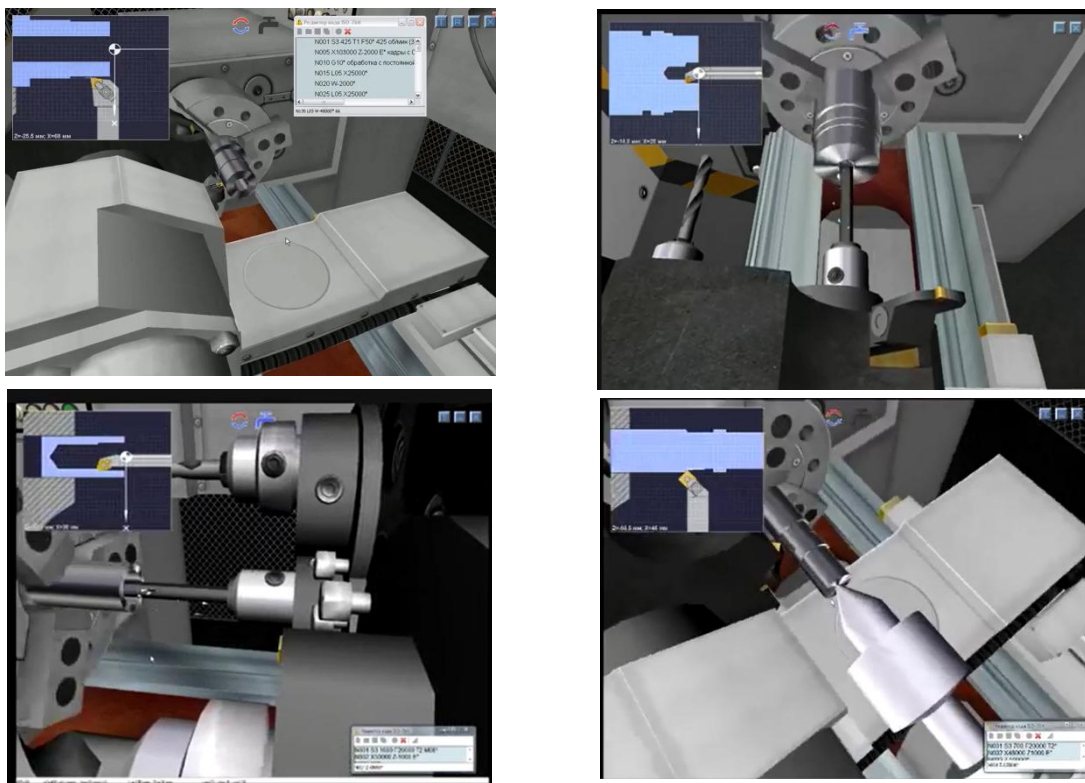


Рис. 5 – Приклади обробки різноманітних деталей різноманітними інструментами

Запропонований учбовий симулятор роботизованого технологічного комплексу на базі токарного верстата з ЧПК дозволяє зробити процес навчання більш яскравим, наочним та дешевшим.

#### Список посилань

1. Пасов Г.В. Анімаційне моделювання роботи вузлів промислового робота. / Пасов Г.В., Ратозей О.В., Лоскутов С.В. // Вісн. Черніг. держ. техноло. ун-ту, 2008. – №36. С. 82-87.

2. Пасов Г.В. Керування анімаційною 3D-моделлю промислового робота M10П. / Пасов Г.В., Чуприна В.М., Кирієнко С.Ю. // Вісн. Черніг. держ. техноло. ун-ту, 2009. – №40. С. 156-164.

УДК 621.914

**Штанкевич В.С., аспірант**

Национальный университет «Запорожская политехника», [vitavs2007@gmail.com](mailto:vitavs2007@gmail.com)

**Балушок К.Б., канд. техн. наук, зам. главного технолога**

**Клименко В.Ю., инженер-технолог**

Акционерное общество «Мотор Сич», г. Запорожье, [balushok.ugt@motorsich.com](mailto:balushok.ugt@motorsich.com)

## **К ВОПРОСУ О ПОДАВЛЕНИИ АВТОКОЛЕБАНИЙ ПРИ КОНЦЕВОМ ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ**

В современном авиа-двигателестроении используется большое количество деталей, изготовленных из труднообрабатываемых материалов, которые имеют тонкостенные элементы. Зачастую обработка данных деталей происходит в третьей скоростной зоне [1], для которой характерно активное действие автоколебаний, оказывающих негативное влияние на качество обрабатываемой поверхности, стойкость инструмента и производительность. Поэтому снижение уровня автоколебаний при концевом фрезеровании является актуальной задачей.

Основной причиной автоколебаний при фрезеровании является обработка по волнистому следу, оставляемого на поверхности резания от прохода предыдущего зуба. При этом, когда в начале резания в толщину срезаемого слоя попадает впадина, амплитуда автоколебаний наибольшая из-за малого демпфирования. При движении подачи на каждом последующем резе толщина сечения срезаемого слоя постепенно увеличивается за счет выступа на поверхности резания, что влияет на снижение интенсивности автоколебаний. Соответственно необходимо стремиться к тому, чтобы каждый последующий зуб при обработке снимал максимально возможную толщину срезаемого слоя. Этого можно добиться увеличением подачи, но при этом резко ухудшается шероховатость и точность обработки. Поэтому для подавления интенсивности регенеративных автоколебаний, без снижения качества поверхности, используются как технологические мероприятия – модуляция скорости резания; так и конструктивные – переменный угол наклона винтовой режущей кромки, неравномерный окружной шаг зубьев фрезы [2]. В основе их действия лежит разрушение установившихся колебаний за счет сдвига по фазе волн на поверхности резания последующими резами зубьев фрезы.

В работе [3] установлено что наилучший эффект подавления автоколебаний при фрезеровании в условиях стесненной регенерации, когда между врезанием зубьев отсутствует холостой ход, достигается при сдвиге фаз волн автоколебаний между соседними резами, равном половине их длины. В достаточно широких окрестностях этого значения подавление автоколебаний также происходит, но слабее.

В отличие от сказанного неисследованным является концевое фрезерование с тонкими срезами, при котором всегда режет только один зуб, поэтому до врезания следующего зуба есть время холостого хода. При этом сдвиг по фазе обеспечивается движением подачи. За счет этого на каждом резе при срезании волнистой поверхности резания меняется толщина сечения срезаемого слоя, влияющая на интенсивность автоколебаний и глубину впадины, оставляемой на обработанной поверхности. В результате этого на ней получается волнистый профиль [4]. Использование фрез с переменным шагом при концевом фрезеровании с малыми срезами направлено на обеспечение одинаковой глубины остающихся впадин. При этом зубья инструмента должны располагаться таким образом, чтобы каждое врезание начиналось с приблизительно одинаковой толщины срезаемого слоя.

Изучение возможностей управления этим процессом проводилось при концевом встречном фрезеровании с помощью фрезы с двумя регулируемым зубьями [5] на экспериментальном стенде [6]. Конструкция фрезы позволяет менять угловое положение зубьев от равномерных  $180^\circ$  до  $270^\circ$  и  $90^\circ$  между ними. При экспериментах исследовался сдвиг по фазе волн автоколебаний между соседними резами после поворота зуба от  $0^\circ$  до  $20^\circ$  с шагом  $2,5^\circ$ . На рис. 1 показано характерное расположение сдвига по фазе волн автоколебаний двух последовательных резов. При меньшем угле между зубьями сдвиг имеет отрицательное значение (последующая волна находится левее предыдущей, рис. 1, а). При большем угле между зубьями сдвиг имеет положительное значение (последующая волна находится правее предыдущей, рис. 1, б).

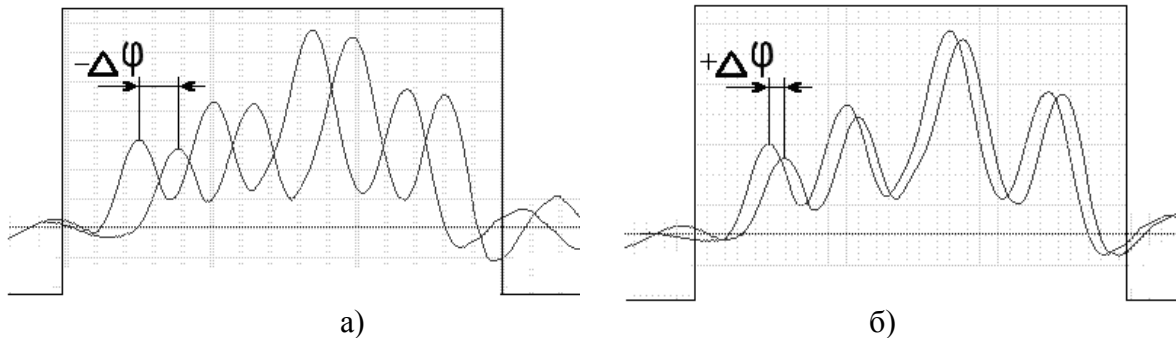


Рис.1 – Сдвиг по фазе волн автоколебаний а) последующая волна находится левее предыдущей б) последующая волна находится правее предыдущей

Такое движение волн позволяет несколько снизить интенсивность автоколебаний при срезании первого выступа на поверхности резания. Но при попадании в толщину среза впадины между волнами на поверхности резания амплитуда опять увеличивается, и профиль обработанной поверхности получается аналогично фрезерованию равношаговой фрезой – волнистый. Лучший результат при фрезеровании был получен при угле поворота подвижного зуба на  $12,5^\circ$ . При этом высота волнистости обработанной поверхности уменьшилась на 36%.

В целом результаты исследований показали, что применение фрез с переменным шагом при фрезеровании тонких срезов в условиях действия автоколебаний влияет на изменение глубины остающейся на обработанной поверхности впадины, но для получения лучших результатов требуются дополнительные исследования.

#### Список ссылок

1. Дядя, С.И. Систематизация колебаний при концевом фрезеровании тонкостенных элементов деталей/ С.И.Дядя, Е.Б.Козлова, Э.В.Кондратюк, А.Е.Зубарев, В.А.Кришталь // Вестник двигателестроения, №1. – 2016. – С.68 – 71.
2. Chatter suppression techniques in metal cutting. J. Munoa, X. Beudaert, Z. Dombovari, Y. Altintas, E. Budak, C. Brecher. CIRP Annals - Manufacturing Technology (2016).
3. Свинин В. М. Фрезерование с модулированной скоростью резания: монография / В.М. Свинин // В.М Под ред. А.И. Промптова. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2007 – 302 с.
4. Дядя, С.И. Исследование формирования обработанной поверхности тонкостенного элемента детали при концевом цилиндрическом фрезеровании с автоколебаниями / С.И. Дядя. // Сучасні технології в машинобудуванні: зб.наук. праць.– Харків: НТУ «ХПИ», 2017.– Вип.12. – С.5 – 18.
5. Пат. UA 122231 Україна, МПК(2016.01) B23C 5/00; Фреза з регульованими параметрами / Дядя С. І., Козлова О. Б., Штанкевич В. С., Комочкін М.С., заявник та власник патенту ЗНТУ – №u201707599; заявл 18.07.2017; опубл 26.12.2017, Бюл. № 24.
6. Внуков, Ю.Н. Стенд для изучения механических колебаний при фрезеровании маложестких деталей при концевом фрезеровании [Текст] / Ю.Н. Внуков, В.А. Логоминов, П.А. Каморкин // Резание и инструмент в технологических системах. Харьков: НТУ «ХПИ», 2011. – Вып.180. – С.32 – 37.



УДК 621.923.42

Рудик А.В., канд. техн. наук, доцент  
Венжега В.І., канд. техн. наук, доцент

Чернігівський національний технологічний університет, vivenzhega@gmail.com

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ШЛІФУВАННЯ ПОВЕРХОНЬ ОБЕРТАННЯ ЗА РАХУНОК КЕРУВАННЯ КОНТАКТОМ

Підвищення продуктивності для покращення якості та енергозбереження є актуальною проблемою машинобудування, яка може бути вирішена за допомогою верстатів із числовим програмним керуванням (далі – ЧПК) у разі використання торцевого шліфування заправленим чашковим кругом. Це дає змогу керувати геометрією контакту за рахунок зміни відстані  $H$  між осями обертання деталі й інструмента. Як відомо [1], підвищення продуктивності шліфування  $Q \propto V_n d S = \cdot \int \int$  визначається збільшенням розмірів контакту  $S$  між інструментом та деталлю і швидкості  $V_n$  підведення припуску за рахунок відносного руху в напрямку нормалі (нормальної швидкості) на кожній елементарній ділянці у його межах. Для нового способу розміри контакту в Ейлеревих перетинах за наближення їхніх радіусів кривизни є значно більшими, а підведення припуску є більш раціональним

Покращення якості забезпечують розподіленням функцій вздовж профілю інструмента з виділенням чорнової, захищеної чистової та фінішної ділянок стосовно наближення до місця очікуваного контакту номінальних поверхонь – базової точки. За рахунок наближення радіусів кривизни у напрямі осьової подачі можливо збільшити кількість проходів. Вектор швидкості різання вздовж контакту лежить під різними кутами до осі виробу, зумовлює шорсткість обробленої поверхні у вигляді сітки. Існують зустрічна та попутна схеми обробки інструментом, що обертається. Для попутної схеми характерна менша теплова напруженість, тому спостерігається краща стійкість, особливо в разі зменшення ширини контакту біля базової точки. Динаміка процесу покращується за рахунок раціонального вектора коливань, що лежить під кутом до оброблюваної поверхні, а зменшення маси інструмента та зростання розмірів контакту приводить до збільшення частоти власних коливань і величини демпфування. Енергозбереження можливо пояснити меншими розмірами інструмента і верстата, спрощенням приводу, зменшенням витрат машинного часу, викликаного збільшенням кількості проходів за скорочення холостого ходу. Крім того, впливає раціональне завантаження інструмента на рівень різальної здатності, що викликано характером залежності  $V_n$ .

Отримано систему рівнянь та робочих програм, що дають змогу з урахуванням усіх кінематичних складників визначити режимні параметри та товщину зрізів для навантаження інструмента до рівня, який визначається різальною здатністю.

### Список посилань

1. Решетов, Д.Н. Точность металлорежущих станков / Д.Н. Решетов, В.Т. Портман. – М.: Машиностроение, 1986. – 336 с.
2. Кальченко В.И. Научные основы шлифования криволинейных поверхностей с управляемой ориентацией абразивного инструмента: дис. ... докт. техн. наук: 05.03.01. Харьков, 1994. – 329 с.
3. Рудик А.В. Ефективне шліфування ступінчатих поверхонь на верстаті з ЧПК моделі В3208Ф3 / Рудик А.В., Пасов Г.В., Венжега В.І., Рудик В.А. // Матеріали VI міжнародної науково-практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» (24-26 квітня, 2017, м. Чернігів) – Чернігів: ЧНТУ, 2017.– С.60-62.
4. Рудик А. В. Продуктивність високоефективного поздовжнього глибинного шліфування поверхонь обертання периферією та торцем орієнтованого абразивного інструменту / А. В. Рудик, В. І. Венжега, В. А. Рудик // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. – 2015. – № 1. – С. 59-64.

УДК 621.9.048

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

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

### ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ АЕРОДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОАКСІАЛЬНОГО СОПЛА

Вплив системи, яка формує газопорошковий струмінь в зоні впливу сфокусованого лазерного випромінювання на якість та продуктивність лазерного сплавлення порошкового матеріалу при реалізації технології «Rapid Prototyping», відмічена багатьма спеціалістами в даній області наукових досліджень [1-3]. Для розрахунку коаксіальних сопел зазвичай використовують прості інженерні залежності, які не можуть визначити розподіл поперечної концентрації порошкової композиції в зоні лазерної обробки. Саме тому, використання чисельного моделювання процесу поведінки газопорошкового струменя в зоні впливу сфокусованого лазерного випромінювання в якості інструмента для проектування оптимальних конструкцій сопел, є актуальною задачею.

В даній роботі представлені результати математичного моделювання форми газопорошкового струменя для різних кутів твірних коаксіального сопла. Чисельне моделювання процесу поведінки газопорошкового струменя, який подається в зону дії сфокусованого лазерного випромінювання через коаксіальні сопла, які мають різні конструкції, було проведено за допомогою спеціалізованого програмного комплексу Ansys CFX за наступним алгоритмом:

- створення тривимірної (параметричної) моделі коаксіального сопла;
- створення трьохвимірної моделі внутрішньої порожнини коаксіальних сопел та позначення регіонів, які описують граничні умови розрахунку;
- створення розрахункової сітки кінцевих елементів внутрішньої порожнини коаксіальних сопел з позначенням граничних умов на заданих регіонах;
- безпосередній розрахунок траєкторії руху потоку порошку та аналіз отриманих результатів.

Для створення тривимірної параметричної моделі коаксіального сопла (рис. 1) була використана CAD система автоматичного проектування.

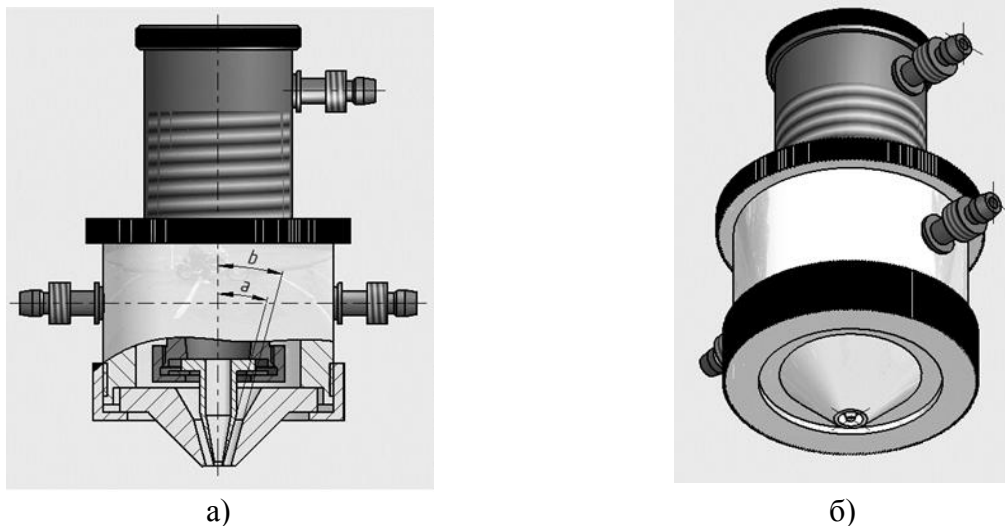


Рис. 1 – Тривимірна модель коаксіального сопла: а) внутрішня частина порожнини; б) загальний вигляд; *a*-параметр кута твірних внутрішнього сопла; *b*-параметр кута твірних зовнішнього сопла.

На підставі чисельного моделювання процесу поведінки газопорошкового струменя в просторі, проведеного за допомогою програмного комплексу Ansys CFX, слід відзначити,

що розподіл концентрації потоку порошку в порожнині, перпендикулярній осі траєкторії руху газопорошкового струменю залежать від кутів твірних зовнішнього та внутрішнього сопел а саме:

- при збільшенні кута геометрії твірних сопел спостерігається збільшення поперечної концентрації порошкового матеріалу в загальному випадку;

- при збільшенні кута геометрії твірних сопел спостерігається ріст площі поперечної концентрації порошкової композиції в зоні впливу сфокусованого лазерного випромінювання (рис. 2, в), це пояснюється дуже низькою відстанню «фокусу» газопорошкового струменя від зрізу сопла, завдяки великому значенню кутів твірних зовнішнього та внутрішнього сопел  $50^\circ$ .

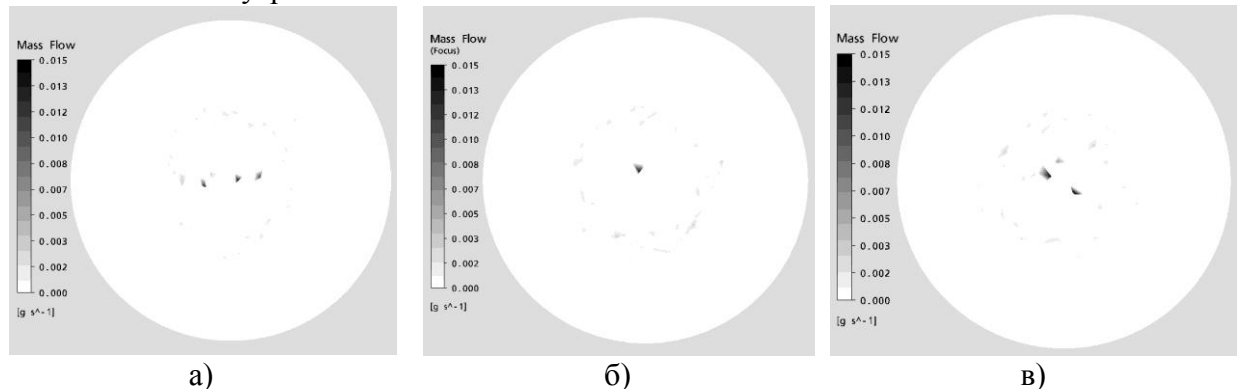


Рис. 2 – Концентрація дисперсної фази газопорошкового струменя в площі перпендикулярній осі лазерного випромінювання:

- а) геометрія кутів твірних сопел  $30^\circ$ ;
- б) геометрія кутів твірних сопел  $40^\circ$ ;
- в) геометрія кутів твірних сопел  $50^\circ$ .

#### Список посилань:

1. Kruth J.P. (1997). Curtain Coating for Depositing Layers in Stereolithography. Proc. 7 Int. Conf. on Rapid Prototyping, 218-228.
2. T. Syvanen. (1999). New Innovations in Direct Metal Laser Sintering-A Step Forward in Rapid Prototyping and Manufacturing. Proceedings of International Congress "ICALEO'1999", 68-76.
3. Powell J. Laser Casting and Laser Clad-Casting: New processes for rapid prototyping and production / J.Powell, H.Gedda, A.Kaplan.-Proceedings of International Congress "ICALEO'2002", Scottsdale, USA, Oct. 2002.-[Електронний ресурс]: LIA; 1 електрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см.-Систем. требования: Pentium; 32 Mb RAM; Windows 95, 98, 2000, XP.-Загл. с контейнера.
4. Пуш, А.В. Шпиндельные узлы: Качество и надежность [Текст]/ А. В. Пуш – М.: Машиностроение, 1992. – 286 с.

UDC 681.7.068

**Grechana O., Postgraduate**  
**Kovalenko Yu., Senior Lecturer**  
**Bondarenko M., Ph. D., Assis. Prof.**  
Cherkasy State Technological University, maxxium23@gmail.com

### GRADIENT MICROSTRUCTURES FORMED BY ELECTRON FLOW ON THE OPTICAL GLASS

When solving the problem of energy saving and environmental safety, one of the ways leads to microminiaturization of existing ones, as well as to the creation of electromechanical devices and machines. Thanks to the development of semiconductor laser technology, integrated optics, micro-optics, where the light wave is the carrier of information, in recent years micro-opto-

electromechanical and opto-electromechanical devices and systems based on optical «crown» or «flint» glass have been actively created. They are widely used in scientific research, medicine, navigation systems, marine and aerospace technology [1].

Thus, the issue of improving their quality and reliability is relevant for optical surfaces.

The aim of this work is to improve the physicochemical properties of optical surfaces for the elemental base of micro-optical and micro-optomechanical systems by reducing the microrelief, changing the structure and chemical composition of the surface layer.

Improving the quality of optical surfaces of alkali-silicate glasses after industrial polishing allows their processing by a tape electron flow, the purpose of which is to completely eliminate the defective layer in the surface melted to a depth of 20 microns [2].

The process of low-energy electronic processing of optical materials refers to high-temperature (temperature in the flux range  $T = 1150...1300$  °C) and provides for a strong local thermal effect of the electronic tape on the surface of the workpiece (temperature gradient in surface layer reaches values  $10^2...10^3$  °C/mm). For optical glass, controlling the power and time of exposure to the material, the electron flow can affect the surface layer of the material to a depth of 120 microns [3].

At the same time, the upper part of the modified surface is a thin (100...200 Å) layer of quartz glass, which is formed by vapor-phase deposition as a result of the thermal contact of the treatment object with a moving electron flow. This layer is resistant to the action of fresh and salt water, mists. The next component, buried to 60 μm from the surface, has an ordered segregation (with crystallization centers) structure, which is formed from silicon oxides and is chemically resistant and poorly soluble in mixtures HF. Between the modified structures and the main material there is a transition layer, the thickness of which is determined by diffusion processes with a common cooled modified electron glass.

At the same time, the formation of a new two-dimensional surface on glass is due to thermal and electrical mechanisms, which are manifested in the accumulation of negative charge on the surface and its draining in the direction of minimum electrical resistance, change in viscosity from solid to liquid-fluid state, partial evaporation of the melt material, polarization of the material, exodiffusion (stimulated by temperature and electron fields) weakly connected with surface layers elements, in particular, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, B<sup>+</sup>.

At the same time, the electric component of the electron flow will act on the material. In this case, the electric field significantly affects the silicon-oxygen network of silicate glass, which is in the molten state. It was found that the silicon-oxygen grid is drawn out and oriented along the field lines of force, forming a lamellar structure.

Thus, the presence of rounded protrusions and depressions is characteristic for optical glass of the «flint» sort, while the micro-relief of the optical glass of the «crown» variety has a directional strip structure. This difference in surface layers structure can be explained only by using different technologies at the stage of manufacturing these types of optical glass.

Thus, we can draw the following conclusions.

Ecological purity, ensuring high-quality shaping of optical microelements using microelectronics technology, as well as obtaining a surface layer with improved optical and mechanical properties are advantages of the electronic processing method using a tape electron flow.

The low-energy electron flow, acting on optical and technical glass in vacuum, reduces their original microrelief, changes the microstructure and chemical composition of the surface layer, forms a multi-layer microstructure, individual components of which can be effectively used as functional layers in micro-optics and integrated optics technologies.

Gradient microstructures on glass, obtained by an electronic method can be effectively used in the technologies of integrated optics and micro-optics, as well as to build energy-saving micro-electro-electromechanical, micro-optical devices and systems.

**References:**

1. Bondarenko M. Power supply method of micro- and nanosystem engineering devices [Text] / M.Bondarenko, I.Bondarenko // Energy Challenges & Mechanics: 6<sup>th</sup> International Symposium, 14-18 August 2016. – Inverness, Scotland, UK, 2016. – P.245-246.
2. Skoryna E. The investigation of the nanoreliefs of optical elements of measuring instruments, which modified by electron-beam microprocessing [Text] / E.Skoryna, V.Medyanyk, M.Bondarenko, I.Bondarenko [etc.] // “Machines. Technologies. Materials 2018”: in Proc. XV Intern. Scien. Congress, 14-17 March 2018. – Borovets, Bulgaria, 2018. – Year II. – Iss. 1 (8), Vol. 1. – pp.90-93.
3. Bondarenko M. Peculiarities of metalized surfaces modification of silicon elements of microelectromechanical systems with low-power electronic flow [Text] / M.Bondarenko, I.Bondarenko, V.Antoniuk [etc.] // “Theoretical problems in innovations”, “Innovation policy and innovation management”: in Proc. III Intern. Scien. Congress Innovations, 19-22 June 2017. – Varna, Bulgaria, 2017. - Year I. – Vol. 1/1. – pp.53-55.

УДК 621.9

**Пермяков А.А., докт. техн. наук, профессор**  
**Клочко А.А., докт. техн. наук, профессор**  
**Старченко Е.П., аспирант**  
**Камчатная-Степанова Е.В., ассистент**

Национальный технический университет «ХПИ», ukrstanko21@ukr.net

**Сапон С.П., канд. техн. наук, доцент**

Черниговский национальный технологический университет, s.sapon@gmail.com

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЗУБОФРЕЗЕРОВАНИЯ ШЕВРОННЫХ  
ЗАКАЛЕННЫХ КОЛЕС С РАЗДЕЛЬНОЙ СХЕМОЙ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ**

Современные технологические направления зубофрезерования крупномодульных шевронных закаленных колес развиваются по различным направлениям: Одним из таких направлений предложена технология с раздельной схемой формообразования червячными твердосплавными фрезами с уменьшенным углом профиля зубьев.

Для различных чисел зубьев нарезаемых шевронных колес, червячные твердосплавные фрезы с раздельной схемой формообразования имеют различное конструктивное оформление, но могут производить как черновое, так и чистовое фрезерование.

Крупномодульные шевронные закаленные колеса с числом зубьев  $z < 56$  рекомендуется нарезать червячными твердосплавными фрезами с возможным нанесением коррекции высот зубьев. Для колес с  $z = 56-65$  применяются червячные твердосплавные фрезы составные с разным направлением стружечных канавок в обеих частях. Колеса с числом зубьев свыше  $z > 65$  нарезаются червячными твердосплавными фрезами разъемной конструкции, состоящей из двух корпусов, с промежуточным дистанционным кольцом. Если первые два вида червячных твердосплавных фрез являются специальными, предназначенными для нарезания определенного числа зубьев, то последний вид червячной твердосплавной фрезы универсальный, что достигается за счет изменения ширины дистанционного кольца.

Несмотря на прогрессивность рассмотренных конструкций червячных твердосплавных фрез с раздельной схемой формообразования, зарекомендовавших себя в производственных условиях, по отдельным технологическим признакам такие схемы целесообразно применять для условий нарезания мелко- и среднемодульных зубчатых колес. Для нарезания зубьев крупного модуля ( $m = 12-65$  мм) при относительно больших периметрах и сечениях среза, задние углы  $\alpha_{\sigma} = 1.5^{\circ} - 2^{\circ}$  не являются оптимальными с точки зрения процесса резания и качества обработанной поверхности.

Технологическая схема резания с раздельной схемой формообразования (рис. 1)

определяет последовательность установки каждой из двух корпусов червячной твердосплавной фрезы для окончательной обработки только одной боковой поверхности зубьев колеса, не затрагивая дно впадин.

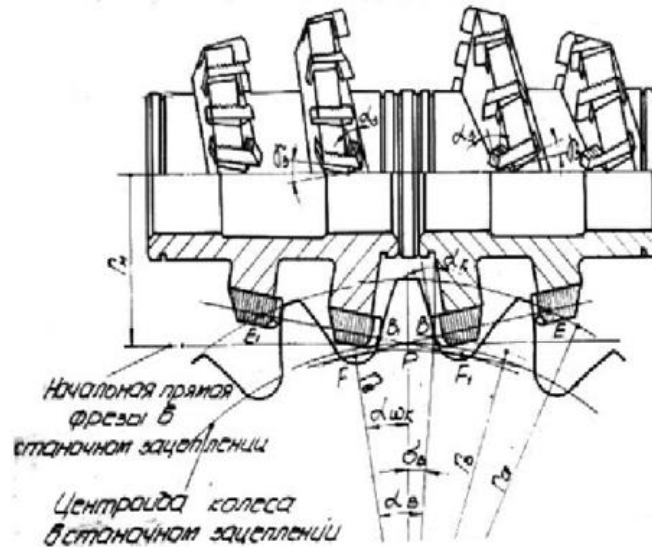


Рис. 1 – Технологическая схема резания фрезы с раздельной схемой формообразования шевронных зубчатых колес

Черновое нарезание зубьев колеса с обработкой дна впадин в размер производится червячными, дисковыми или пальцевыми фрезами с "протуберанцем", а также специальными дисковыми прорезными фрезами.

Технология формообразования крупномодульных шевронных закаленных колес наиболее полно соответствует условиям их обработки. Фрезы с раздельной схемой формообразования расширяют область применения метода обкатки в обработке шевронных зубчатых колес до модуля 65 мм.

Технология лезвийной обработки крупномодульных шевронных закаленных колес и валов-шестерен используется для обработки с раздельной схемой формообразования закаленных колес с параметрами:  $3m = 16...36$  мм;  $z_k = 12...86$ ;  $b = 200...700$  мм;  $\beta_d = 0^\circ...28^\circ$ ;  $D_a = 400...1800$  мм; материал: сталь 20ХН3А;  $HRC \geq 55$ , используемых в прокатных станах «2500», «3600» и «5000» и валов-шестерен (рис. 2 и рис. 3).

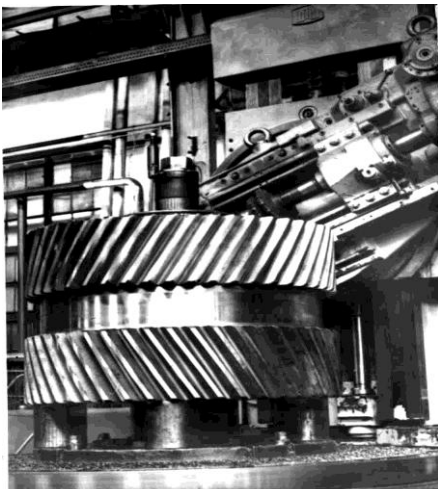


Рис. 2 – Лезвийная обработка закаленного шевронного зубчатого колеса  $m=28$  мм;  $z = 48$ ;  $\beta = 27^\circ 26'$ ;  $b = 390$  мм; сталь 20ХН3А,  $HRC \geq 55$

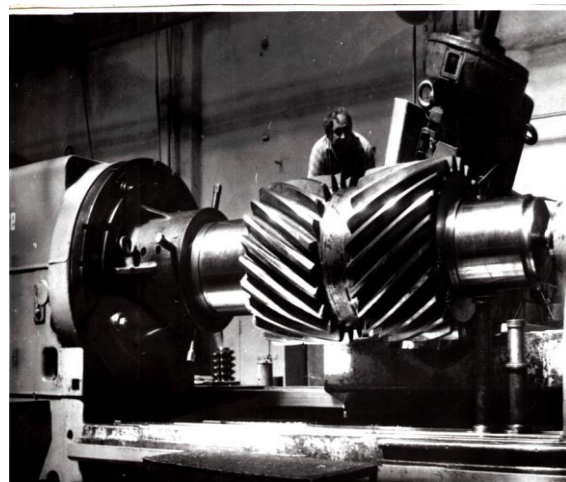


Рис. 3 – Лезвийная обработка закаленной вал-шестерни  $m = 32$  мм;  $z = 22$ ;  $\beta = 28^\circ 21'$ ;  $b = 575$  мм; сталь 20ХН3А,  $HRC \geq 55$

Зубофрезерование осуществляется червячными твердосплавными фрезами на тяжелых зубофрезерных станках мод. 5B375, 5353, ZFWZ – 3150/30 ABHVS фирмы «Modul», PowerTec 7500 без применения смазывающе-охлаждающих жидкостей. Направление фрезерования используется встречное. Режимы резания при обработке закаленных зубьев следующие: глубина резания  $t=0,5...0,8$  мм за один проход; подача фрезы  $S = 1.5...3$  мм/об; частота вращения фрезы:  $n = 10...20$  мин<sup>-1</sup>; скорость резания  $V = 10...20$  м/мин.

#### Список ссылок

1. Ключко А. А. Технологическое основы обеспечения процесса зубообработки закаленных крупномодульных зубчатых колес [Текст] / А. А. Ключко, А. Н. Кравцов; Донбасская государственная машиностроительная академия; Закрытое акционерное об-во "ОНИКС" - Краматорск: ДГМА; Ирбит: ОНИКС, 2014 – 299 с.
2. Optimizing the technology of reconditioning large high precision gear rims. / [Shapovalov V., Klochko A., Gasanov M., Antsyferova O., Belovol A.] // The current state of scientific research and technology in the industry. – Kharkiv. 2018. – № 3 (3). – P. 59–70.
3. Трибологический метод выбора технологического регламента при скоростном лезвийном зубофрезеровании / Н.С. Равская, А.А. Охрименко, А.А. Ключко, М.И. Гасанов // Труды Двадцать седьмой международной конференции «Новые технологии и в машиностроении» (3-8 сентября 2017 г., Коблево). – Харьков: НАКУ «ХАИ». – 2017. – С.19-20.

УДК 629.735.45

**Шаповалов О. Л., начальник відділу**

**Колесник Д. М., начальник відділення**

НДІ випробувань та сертифікації військової техніки та озброєнь ЗСУ, [ak1149cv@ukr.net](mailto:ak1149cv@ukr.net)

**Пилипенко О. І., докт. техн. наук, професор**

Чернігівський національний технологічний університет, [opilip@ukr.net](mailto:opilip@ukr.net)

### КОНСТРУКЦІЇ, КІНЕМАТИЧНІ СХЕМИ ТА ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕРТОЛЬОТНИХ РЕДУКТОРІВ

Сучасний стан найбільш застосовуваних вертольотів Ми-8 різних модифікацій пасажирського, транспортного та військового призначення характеризується тим, що в них є агрегати з обмеженим ресурсом, відмови яких безпосередньо впливають на безпеку польотів.

До таких агрегатів, поза іншими, відносяться такі найбільш навантажені агрегати трансмісії вертольота (АТВ) як головний, проміжний та хвостовий редуктори. Редуктору вертольота встановлюється час гарантованої роботи – ресурс – на основі великого обсягу конструкторських, технологічних і доводочних робіт по усуненню дефектів, а також великої кількості різномірних випробувань.

Оскільки найближчим часом заміни даному типу вертольотів не очікується, необхідно забезпечити підтримку стану льотної придатності наявного парку вертольотів цього типу. Крім того, виробництво агрегатів для даного типу вертольотів стає все менш доцільним або здійснюється за межами країни і тоді їх вартість досягає нерентабельного рівня.

Таким чином, єдиним виходом з ситуації, яка склалася, є поетапне встановлення і збільшення ресурсів вказаних агрегатів. А для цього необхідні певні дослідження і обсяги випробувань з метою наукового підтвердження можливості встановлення нових і збільшення раніше встановлених ресурсів.

Для обґрунтованого збільшення ресурсів головного, проміжного і хвостового редукторів необхідно мати об'єктивні дані по параметрах та навантаженнях елементів трансмісії на основних режимах польоту, результати стендових випробувань, розрахунки

на міцність тощо. Наявний обсяг таких даних дуже обмежений, тому виникає необхідність проведення досліджень і спеціальних випробувань для визначення ресурсоздатності АТВ.

Про ефективність встановлення і збільшення ресурсів агрегатам трансмісії вертольотів свідчать: оцінка і обґрунтування продовження ресурсу елементів конструкцій в двох томах під редакцією академіка В.Т. Троценка Інституту проблем міцності НАН України, розроблене відповідне положення РФ (2004) та захист дисертації на подібну тему (2014) стосовно вертольотів Ми-2.

Розглянуті конструкції, кінематичні схеми та основні технічні характеристики головних редукторів ВР-8, ВР-8А, ВР-14, проміжного ПР-8 та хвостового ХР-8 редукторів.

Представлені наявні початкові дані по таких АТВ Ми-8 як головний, проміжний і хвостовий редуктори та їх зубчасті передачі. Таким чином починається цикл робіт, скерованих на виявлення статичних і динамічних навантажень деталей редукторів, їх дефектів та руйнувань, можливостей встановлення та збільшення ресурсів агрегатам трансмісії вертольотів Ми-8 різних модифікацій.

Одногвинтові вертольоти типу найбільш широко застосовуваних Ми-8 різних модифікацій оснащені головним, проміжним та хвостовим редукторами, які застосовуються для збільшення крутного моменту за рахунок зниження частоти обертання відповідних валів.

До агрегатів трансмісії вертольота відносяться: головний редуктор; редуктори, що передають потужність від двигунів до головного редуктора і не входять до складу двигунів; редуктори, що передають потужність до рульового гвинта (інших пристроїв, що зрівноважують реактивний момент і забезпечують керування вертольотом); коробки приводів, що не входять до складу двигунів і редукторів; вали, що з'єднують агрегати трансмісії з двигуном(ами) і між собою, з опорами і муфтами; гальмо несучого гвинта; вентилятори системи охолодження АТВ.

Головний редуктор призначений для підсумовування потужності двох газотурбінних двигунів, передаючи її на вали несучого та рульового гвинтів через трансмісійні вали і забезпечуючи приводи допоміжних агрегатів. Головний редуктор складається з вхідного і центрального редукторів, лівої і правої коробок приводів, передніх і задніх конічних редукторів, муфт вільного ходу, маслоагрегата, блоку фільтрів, підкосів і шпильок кріплення. Центральний редуктор являє собою шестеренний агрегат, що здійснює два ступеня редукції і забезпечує привод вала несучого гвинта. До № 0832 в якості головного редуктора на вертольотах Ми-8 встановлювався редуктор ВР-8. Починаючи з № 0832, на вертольотах Ми-8 почали встановлювати головні редуктори ВР-8А.

Зниження частоти обертання в головному редукторі досягається застосуванням трьох ступеней редукції. Перша ступінь являє собою два ведучих циліндричних косозубих колеса, які приводяться в обертання від двигунів і знаходяться в зачепленні з третім, загальним для них веденим зубчастим колесом. Друга ступінь редукції складається з двох конічних зубчастих коліс зі спіральними зубцями.

Третя ступінь редукції виконана за схемою замкнутого диференціального механізму, що складається з диференціала і його замикаючого ланцюга.

Від головного редуктора забезпечується привод ряду агрегатів, робота яких можлива і у випадку відмови силової установки.

На модифіковані транспортні вертольоти Ми-8МТ, Ми-8МТВ і т.п. встановлюються редуктори ВР-14, які були спроектовані спочатку з метою їх застосування на вертольоті Ми-14 для більш впевненого відриву від водної поверхні.

Передача обертання до вала несучого гвинта, приводу хвостового гвинта і приводів агрегатів забезпечується системою циліндричних і конічних шестерень, розташованих в корпусі редуктора.



Для забезпечення польоту вертольота при одному працюючому двигуні, а також для можливості використання авторотації несучого гвинта в редукторі передбачено дві муфти вільного ходу, які автоматично відключають редуктор від одного або обох двигунів.

У витрати технічного ресурсу редуктора зараховується 100% роботи редуктора в повітрі і 20% роботи його на землі: Ресурс редуктора вказується у формулярі.

Проміжний редуктор призначений для зміни напрямку осі хвостового вала трансмісії на кут  $45^{\circ}$  у відповідності до напрямку кінцевої балки. Зміна напрямку осі хвостового вала досягається застосуванням в редукторі пари конічних зубчастих коліс з однаковою кількістю зубців без зміни частоти обертання ведучого і веденого валів редуктора.

Хвостовий редуктор призначений для привода рульового гвинта з необхідною частотою обертання. Передача потужності на рульовий гвинт здійснюється парою конічних коліс зі спіральними зубцями, кут між осями обертання яких дорівнює  $90^{\circ}$ . Крім того, на хвостовий редуктор встановлюється механізм керування рульовим гвинтом у вигляді роликів ланцюга, перекинутого через зірочку, з метою здійснення зміни кроку гвинтів для забезпечення шляхового керування вертольотом.

Представлений розгляд конструкцій, кінематичних схем та основних технічних характеристик головних редукторів ВР-8, ВР-8А, ВР-14, проміжного ПР-8 та хвостового ХР-8 редукторів буде використано для подальшого застосування з метою забезпечення підтримки стану льотної придатності наявного парку вертольотів типу Ми-8.

УДК 629.735.45

**Шаповалов О. Л., начальник відділу**

**Колесник Д. М., начальник відділення**

НДІ випробувань та сертифікації військової техніки та озброєнь ЗСУ, [ak1149cv@ukr.net](mailto:ak1149cv@ukr.net)

**Пилипенко О. І., докт. техн. наук, професор**

Чернігівський національний технологічний університет, [opilip@ukr.net](mailto:opilip@ukr.net)

## **НАВАНТАЖЕНІСТЬ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ ВЕРТОЛЬОТНИХ РЕДУКТОРІВ**

На корпусі головного редуктора замикаються прикладені до вертольота зовнішні навантаження, тобто сили і моменти. Навантаженість можна виразити через безрозмірний параметр, який враховує питому жорсткість зубців в точці контакту, найбільшу ймовірну різницю основних кроків і нормальне до профілю навантаження без врахування динамічного підсилення.

Найменша навантаженість типова для високошвидкісних зубчастих передач редукторів турбовентиляторних двигунів та перших ступенів головних редукторів вертольотів, що відпрацьовують за ресурс  $10^9 - 10^{10}$  циклів навантажень при колових швидкостях  $V = 40 - 90$  м/с. Найбільша навантаженість характерна для зубчастих передач останніх ступенів редукторів вертольотів.

Авіаційні зубчасті передачі здебільшого є «точними під навантаженням». Розглянуто передачу, коли в зачепленні одночасно знаходяться три пари зубців, тобто коли коефіцієнт торцевого перекриття лежить в межах  $2,0 < \varepsilon_{\alpha} < 3,0$ . З розв'язку сумісних рівнянь, що описують умови сумісності деформацій зубців, знаходяться статичні навантаження з врахуванням відповідних жорсткостей.

Найбільш небезпечним для роботи зубчастого вінця є крайковий контакт на вході в зачеплення і виході з нього. Досвід свідчить, що в цих точках мають місце максимальні контактні напруження.

Динамічні навантаження під час входу в зачеплення і виходу з нього обчислюються окремо для точних і неточних під навантаженням зубчастих передач, причому передачі з

$2,0 < \varepsilon_\alpha < 3,0$  розглядаються тільки як точні під навантаженням, тому що в іншому випадку їх застосування недоцільно.

Динамічний процес в зачепленні описується диференціальними рівняннями руху зубчастих коліс для загального випадку багатопарного контакту. Характер динамічних навантажень залежить від співвідношення між періодом власних коливань  $T$ , періодом переспряження зубців  $T_z$  і часом  $T^*$  реалізації початкового періоду їх переспряження.

Під час контакту на вході в зачеплення (крайковий контакт) точність передачі характеризується параметром, що враховує деформації зубців, що йдуть попереду, для передач з  $\varepsilon_\alpha < 2,0$ , а для передач, коли  $2,0 < \varepsilon_\alpha < 3,0$ , – з врахуванням знаку похибки.

Під час контакту на виході з зачеплення (серединний контакт) на динамічне навантаження більший вплив справляє від'ємна величина похибки основних кроків, і тоді точність передачі визначається дещо іншим параметром.

В авіаційних високонапружених точних передачах похибки основних кроків в декілька разів менше деформації зубців, яка відіграє головну роль в динаміці передачі. Збільшення числа зубців, що знаходяться в зачепленні, підвищує жорсткість зачеплення, знижує його похибку і зменшує динамічні навантаження. Для зменшення величини динамічних навантажень на вході в зачеплення профілі зубців піддають модифікації, параметри якої залежать від умов навантаження, точності виготовлення і параметрів зубчастої передачі.

Порівняння граничних коефіцієнтів динамічного навантаження свідчить про те, що в зубчастих передачах з  $2,05 < \varepsilon_\alpha < 3,0$  вони під час крайкового контакту вдвічі менші. Після виходу з зачеплення чергової пари зубців навантаження сприймають: в передачах з  $\varepsilon_\alpha < 2,0$  одна пара, а в передачах з  $2,0 < \varepsilon_\alpha < 3,0$  – дві пари зубців.

На контактну міцність матеріалів зубчастих коліс впливають зміни умов експлуатації, колової швидкості, в'язкості мастила, теплової напруженості в зоні контакту, тому неможна результати, отримані в одних умовах, розповсюджувати на інші. Рівень допустимих контактних напружень значно зростає зі збільшенням колової швидкості і зменшенням шорсткості поверхні та питомої швидкості ковзання. Якщо поверхні зубців коліс мають незначну шорсткість, то при інших рівних умовах допустимі контактні напруження у зубчастій передачі першої ступені редуктора будуть більше в  $1,1 \dots 1,2$  рази напружень передач останньої ступені. В окремих випадках припустиме збільшення допустимих напружень, границею рівня цих напружень завжди є надійність проти заїдання.

Згідно ГОСТ 21354-75 границя контактної витривалості поверхні зубців для прямозубих цементованих коліс при базовому числі циклів  $N_{HO} = 1,2 \cdot 10^8$  складає  $\sigma_{Hlimb} = 23HRC$ , де  $HRC$  – в межах 58-63. Під час короточасної дії максимального навантаження допустимі навантаження в  $1,75$  рази більше, ніж  $\sigma_{Hlimb}$ .

Основними факторами, що визначають границю витривалості під час деформації згину зубців, є механічні властивості матеріалу – твердість зміцненого шару і серцевини зуба, структура і величина зерна після термообробки, величина і характер розподілу залишкових напружень в основі зуба, вид і величина пластичного зміцнення поверхні, а також форма перехідної поверхні і її чистота, характеристика циклів навантаження. При цьому прийнято вважати, що напруження змінюються за пульсуючим (коефіцієнт асиметрії циклу  $r = 0$ ) або симетричним циклом ( $r = -1$ ). Насправді ж, по мірі переміщення контакту до основи зубців змінюється співвідношення між стискаючими і згинаючими напруженнями, в результаті чого зуб колеса працює при змінному коефіцієнті асиметрії циклу.

Для авіаційних зубчастих коліс зі сталі типу 12X2H4A-Ш з середніми найбільш типовими параметрами і нешлифованою перехідною кривою границя витривалості під час згину при

$r = 0$   $\sigma_{F_{limb}}^0 = \beta \sigma_c^0$ , де  $\beta = 1,9 \dots 2,0$  – коефіцієнт зміцнення, а  $\sigma_c^0$  – границя витривалості згину серцевини зуба. Проте, між границею витривалості згину зуба і твердістю його поверхні існує більш тісний кореляційний зв'язок. Цим даним відповідає ГОСТ 21354-75, згідно якого при базовому числі циклів  $N_{FO} = 4 \cdot 10^6$  границя згинальної витривалості  $\sigma_{F_{limb}}^0 = 950$  МПа.

УДК 004.94:531.22

**Stepanov D., senior lecturer**  
**Semeryuk T., assistant professor**  
**Churilov O., student**

Zaporizhzhia National Technical University, [stepanovzntu@gmail.com](mailto:stepanovzntu@gmail.com)

### USING NUMERICAL METHOD FOR DETERMINATION OF THE MINIMUM THICKNESS OF THE SAMPLE TREATING BY PA BRUSHES

Polymer-abrasive (PA) brushes are an alternative tool for finishing treatment of thin-walled parts made of various materials. They ensure high quality and productivity of polishing flat and cylindrical surfaces as well as complex profile elements and hard-to-reach places [1,2].

An important advantage of PA tools (in terms of processing thin-walled elements) is the low level of force impact 30...70 Н. The action force at 'hard' modes did not exceed 100 Н, at emergency modes – 140 Н. These data were calculated by numerical method using LS DYNE strength module of ANSYS package [3], and then confirmed experimentally [4].

The purpose of this study is to define the minimum thickness of the samples of various materials at the specified action force of PA disk brushes by numerical method.

The criterion for limiting is the value of stress in the most loaded part of the sample, which should not exceed half of the value of the tensile strength of the sample material  $\sigma_\sigma$ .

Strength calculation of a flat plate was conducted in ANSYS computer package for the following groups of sample materials: steel (St. 3), nickel alloy (HN73MBTYu-VD), titanium alloy (VT 8), aluminum alloy (Ak 12). The initial value of the plate thickness  $h$  was 2 mm. The plate thickness was being reduced gradually to 0.5 mm. Thus, the analysis was single-factor: variable value – sample thickness  $h$ .

The action force was being applied to the contact patch of the certain plot of sample or to the first impact line from the PA fibers. The geometrical dimensions of the patches or lines depended on the parameters of PA brush tool and its tension.

The level of total stress for all calculated variants was significantly less than the restrictive stress value  $\sigma_\sigma / 2$ . As a result, the samples of 0.5 mm thickness (the equivalent of aircraft engine small-sized blade edge thickness) showed stress safety margin  $n_\sigma = 2 \dots 8$ .

### References

1. Abrashkevich Yu.D. Pelevin L.E., Machishin G.M. Polymer-abrasive brushes for cleaning metal-roll / Industrial construction and engineering structures. – 2014. – №2. – P. 44-47.
2. Ustinovich D.F. Experimental study of flat surfaces quality during processing with disc abrasive brushes / Bulletin of Polotsk State University. – Polotsk. – 2009. – Vol. B. – P. 130-134.
3. Honchar N.V., Stepanov D.N., Kuchugurov M.V., Kondratyuk E.V. Determination of the force effect of a polymer-abrasive tool on a part using virtual modeling / Progressive technologies of the life cycle of aircraft engines and power plants. Abstracts of the IX International Technical Conference. – 24-29 September 2012. – Alushta. – P. 68-70.
4. Honchar N. Measurement of Non-Rigid Tools Action Force During Finishing [Text] / N. Honchar, O. Kachan, D. Stepanov, M. Kuchuhurov, O. Khavkina // Lecture Notes in Mechanical Engineering (eBook) / V. Ivanov et al. (Eds.): Springer International Publishing AG, part of Springer Nature. – 2019. – DSMIE 2018, LNME. – P. 23–32.

УДК 664.002.5

Бондарчук А.В., студент  
Бойко Ю.І., канд. техн. наук, доцент  
Національний університет харчових технологій, [boykoyi@ukr.net](mailto:boykoyi@ukr.net)

## ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ КІНЦЕВИХ ФРЕЗ

Обробка металів різанням є переважною складовою процесу виробництва більшості деталей галузевого машинобудування. Одним із шляхів досягнення ефективності процесу обробки є раціональне використання сучасних засобів виготовлення деталей на базі комп'ютерних технологій, верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК), що суттєво скорочує час на виготовлення, підвищує продуктивність виробництва та якість деталей. При застосуванні відповідного спеціалізованого програмного забезпечення (у даному випадку – системи Siemens NX) досягається низка переваг: більш повна візуалізація технологічного процесу та широкий функціональні можливості, що дозволяє оперативнo корегувати режими різання.

В даній роботі розглядався вибір раціональних режимів різання, швидкості різання, величин подачі та вплив кута при вершині фрези на її стійкість. Кут при вершині фрези суттєво впливає на режими різання та стійкість інструменту. Визначення кута при вершині виконувалось за допомогою оптичного пристрою Haimer microset UNO 20140. При його збільшенні, яке відбувається в процесі зношування, зростає крутний момент на привідному двигуні інструменту.

На першому етапі моделювання в середовище програми послідовно завантажувалась готовий CAD файл, тобто каркасна модель 3D з середовища Компас 3D V16, задавались параметри розміщення деталі відносно системи координат та обирався тип заготовки та відповідний інструмент для її оброблення. Потім для деталі задавалась початкова точка, розміщена на певній відстані від заготовки (для уникнення зіткнення інструменту з самою заготовкою). Після створення зазначених елементів, було безпосередньо задано траєкторію руху ріжучого інструменту з призначенням режимів різання. Після того як було задано всі параметри, необхідні для процесу обробки, програма розпочала розрахунок траєкторії інструменту. По закінченню розрахунку був проведений аналіз траєкторії руху інструменту, а також проаналізовано можливість перенавантажень інструменту та умови виходу його з ладу. Після розрахунку у вікні перегляду візуалізації в мультимедійній формі відображено процес оброблення на верстаті, включаючи операції підведення і відведення інструменту, а також контролю зіткнень інструменту з деталями верстату або його врізання в деталь.

Однією з основних характеристик ріжучого інструменту, що визначають його працездатність, є період стійкості. В процесі проведення даної роботи було здійснено випробування чотирьохзубих твердосплавних фрез діаметром 6 мм і радіусом 0,5 мм різних фірм виробників «PRAMET» 06E3S75-31A06 SUMA та «HGT» EB0606 6,0·4T (Тайвань) у порівнянні з аналогом – кінцевою фрезою фірми «Seco».

Фрези, що досліджувалися призначені для можливості заміни дорогих фрез фірми «Seco» серії 654080Z4.06-SIRON-A. Для визначення різальних властивостей інструменту був проведений комплекс випробувань: визначення кута різання  $\beta$ , часу стійкості інструменту при обробленні деталі «Упор корпуса» при забезпеченні максимально однакових умов.

Процес фрезерування виконувався при наступних режимах: оберти шпинделя  $4500 \text{ хв}^{-1}$ ; подача –  $S_m = 250 \text{ мм/хв}$ ; глибина фрезерування –  $t = 3 \text{ мм}$ ; ширина фрезерування –  $B = 5 \text{ мм}$ .

Характер зношення фрез аналізували за допомогою оптичного пристрою попереднього налаштування інструменту Haimer microset UNO 20140. Критерієм порівняння обрано

показник стійкості фрези при збільшенні осьового навантаження на інструмент (X1) та на привід верстата (C1), що видно із рис. 1.



Рис. 1 – Візуалізація навантаження на інструмент та привід верстата.

За критичне навантаження бралось значення  $X1=20\%$ , що дозволяє автоматично зупиняти верстат при перевищенні критичного навантаження на інструмент.

Аналіз результатів показав, що період стійкості кінцевої фрези фірми «Seco» з покриттям MEGA 64 склав 440 хв, а аналогічні фрези «HGT» EB0606 6,0·4T – 380 хв, тобто на 86,36% менше стійкості базової фрези «Seco». Це є задовільним результатом, враховуючи істотно меншу вартість інших фрези (рис. 2).

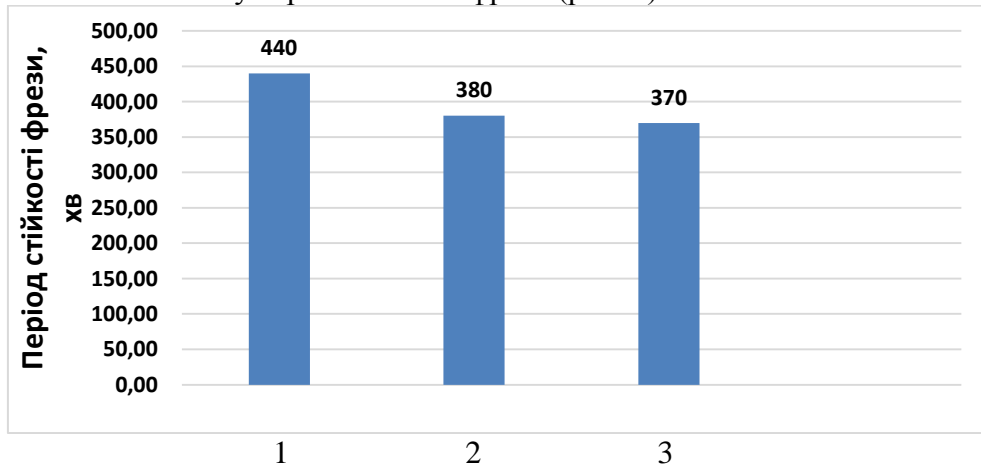


Рис. 2 – Діаграма порівняння стійкості фрез : 1 – «Seco» серії 654080Z4.06-SIRON-A; 2 – «HGT» EB0606 6,0·4T; 3 – «PRAMET» 06E3S75-31A06 SUMA.

Дослідження кінцевої фрези «PRAMET», показало, що величина періоду стійкості склала 370 хв, що практично не відрізняється від періоду стійкості кінцевої фрези «HGT». В умовах серійного виробництва це може бути суттєвим засобом заощадження фінансових ресурсів та, відповідно, зниження собівартості готових виробів та амортизаційних витрат. Показано, що використання сучасного програмного забезпечення на базі пакету програм Siemens NX для виготовлення деталей є перспективним напрямком в машинобудівному виробництві. Досліджений та визначений вплив кута при вершині зуба фрези на її зносостійкість. Встановлено, що заміна кінцевих твердосплавних фрез фірми «Seco» на менш вартісні «HGT» дозволяє без суттєвих втрат забезпечити реалізацію технологічного процесу та необхідну якість виробів.

#### Список посилань

1. Siemens NX – <https://www.plm.automation.siemens.com/global/ru/products/nx/>.
2. Prediction of regenerative chatter by modelling and analysis of high-speed milling. / R.Faassen, N. van de Wouw, J. Oosterling, H. Nijmeijer. // International Journal of Machine Tools & Manufacture. – 2003. – №14. – С. 1437–1446.
3. Maslov A. R. Analysis of experimental data on microcutting forces / A. R. Maslov. // Russian Engineering Research. – 2015. – №7. – С. 561-563.

УДК 621.93

Майданюк С.В., асистент

Національний технічний університет України "КПІ ім. І.Сікорського", [maysv3@gmail.com](mailto:maysv3@gmail.com)

## ОПТИМІЗАЦІЯ ОБРОБЛЕННЯ ДИСКОВИМИ ВІДРІЗНИМИ ФРЕЗАМИ З РІЗНОНАПРАВЛЕНИМИ ЗУБЦЯМИ

Дискові відрізнi фрези широко використовуються при відрізанні деталей та заготовок різних матеріалів та профілів. Дискові відрізнi фрези працюють в замкненому просторі, який негативно впливає на процес оброблення та супутні йому процеси, що впливає на продуктивність та якість оброблення. Таким чином, до конструкції, геометрії та параметрів оброблення дисковими відрізними фрезами висуваються особливі вимоги, особливо в сучасному прогресивному виробництві, де висуваються підвищені вимоги до продуктивності та якості оброблення.

Оскільки умови та критерії оброблення при відрізанні різних оброблюваних матеріалів різняться між собою, то, відповідно, існує велика кількість конструкцій та конструкційних рішень інструменту з різними геометричними параметрами та, відповідно, різними режимами оброблення. Залишається тільки підібрати конструкцію інструменту з відповідними геометричними параметрами та режимами оброблення.

Одним з прогресивних напрямків підвищення продуктивності та якості оброблення дисковими відрізними фрезами є використання в конструкції інструменту прогресивних схем зрізання припуску, а саме, розділення зрізуваного шару по ширині, що відображено в конструкції дискової відрізної фрези з різнонаправленими зубцями [1].

Дослідження параметрів зрізуваного шару [2] доводить доцільність такої конструкції інструменту. Одночасно з цим, така конструкція дозволяє регулювати напрямок відведення стружки, що особливо важливо при відрізанні суцільних заготовок великого перерізу.

Результаті досліджень зусиль різання та шорсткості оброблюваної поверхні дисковими відрізними фрезами з різнонаправленими зубцями, при обробленні заготовок з алюмінієвого сплаву, показали зменшення навантажень на зубці інструменту, зменшення шорсткості оброблених поверхонь та задирок на деталях, в результаті чого методом математичного моделювання, методом групового урахування аргументів, отримані залежності досліджуваних параметрів [3, 4].

В роботі, на основі залежностей процесу різання [3, 4], вирішується задача оптимізації геометричних параметрів та режимів оброблення дискової відрізної фрези з різнонаправленими зубцями при відрізанні алюмінієвих заготовок. В якості критеріїв оптимізації виступають шорсткість оброблених поверхонь та величина задирок, які повинні бути мінімальними.

### Список посилань

1. Равская Н.С. Геометрические параметры режущей части дисковых отрезных фрез / Равская Н.С., Панчук В.Г., Майданюк С.В. // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць – Краматорськ, вип. 18. – 2005.

2. Равська Н.С. Визначення параметрів зрізу зрізуваного шару дисковим інструментом з різнонаправленими зубцями / Равська Н.С., Охріменко О.А., Майданюк С.В. // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць - Краматорськ, вип. 40. – 2017.

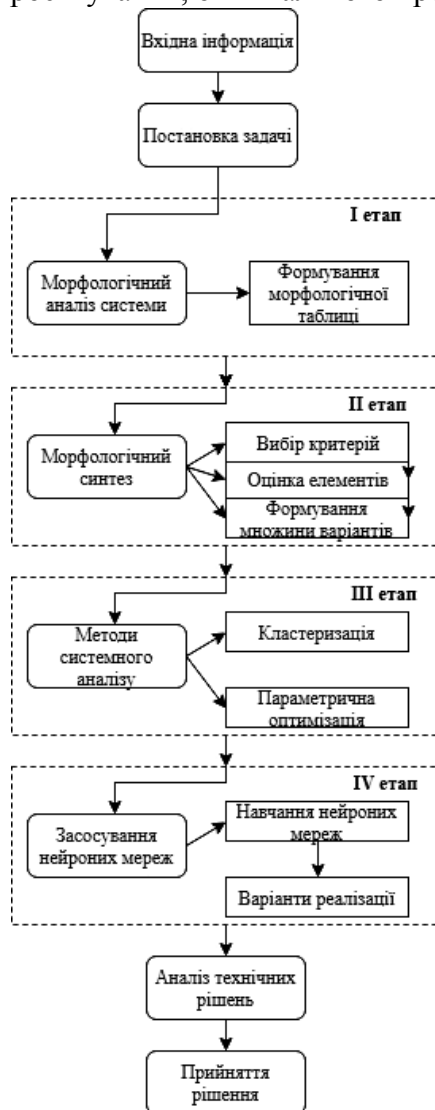
3. Ковальова Л.І. Моделювання зусиль різання круглими пилками з різнонаправленими зубцями / Л.І. Ковальова, С.В. Майданюк // Технічні науки та технології : науковий журнал / Черніг. нац. технол. ун-т. – Чернігів : Черніг. нац. технол. ун-т, 2016.

4. Майданюк С.В. Визначення та моделювання параметрів якості оброблення дисковими відрізними фрезами з різнонаправленими зубцями / С.В. Майданюк // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. – Краматорськ, вип. 42. – 2018.

### УДОСКОНАЛЕНА МОДЕЛЬ ПОШУКУ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ

Зі швидкими темпами розвитку технологій, фахівцям та науковцям у сфері машинобудування виникає потреба та необхідність в проектуванні нових, більш адаптованих і більш універсальних вузлів виробництва. Похідною цього процесу є породження нових викликів по оптимізації методології пошуку технічних рішень (ТР) синтезу нових, більш ефективних і гнучких функціональних вузлів конструктивного оснащення.

Проектування нових об'єктів, як правило здійснюються на основі евристичних (морфологічного аналізу, конструювання, мозкової атаки, контрольних питань, теорії рішень винахідницьких задач і т.д.), експериментальних (планування, машинний, уявний і т.д.) і формалізованих методів (пошуку варіантів рішень, автоматизації процедур проектування, оптимального проектування і т.п.).



Як показує практика для синтезу оптимальних структур функціональних вузлів найбільш адаптовані та застосовні є морфологічні методи дослідження (методи морфологічного синтезу та аналізу).

Побудова ієрархії починається з визначення мети (головної корисної функції), проміжних рівнів (аспекти мети, критерії і т.д.), а також альтернатив (найнижчий рівень ієрархії). У процесі синтезу генерується безліч можливих варіантів виконання елементів структури вдосконалення системи, тобто генерується безліч альтернатив для кожного ієрархічного рівня. Кожен синтезований варіант реалізації ТР відрізняється від іншого хоча б однією альтернативою.

При проектуванні нових ТР, використовуючи лише евристичні методи, інженер може зіткнутись з деякими важкими у вирішеннях задачами, як приклад, однією з такої може слугувати рішення чи моделювання задачі високої розмірності без використання машинної підтримки, оскільки використання морфологічного підходу дозволить згенерувати матрицю з великою кількістю варіантів реалізації, що розрізняються кількістю елементів, типами елементів та способами їх взаємозв'язку [1].

Тому, для оптимізації роботи по зменшенню вибірки альтернатив і вибору найбільш підходящих варіантів (визначаються по наперед зазначеним критеріям) конструкцій функціональних одиниць обладнання, пропонується алгоритм (рис.2) на основі морфологічного підходу з використанням системного аналізу і елементів машинного навчання.

Рис.1 – Запропонований алгоритм пошуку технічних рішень

Список посилань

1. Яшук И. Р. Синтез компоновок зажимных патронов эвристическими методами с использованием нейронных сетей. / И. Р. Яшук, С. Б. Паньков, А. В. Литвин. // Современные проблемы машиноведения : материалы XII Междунар. науч.- техн. конф., Гомель, 22 – 23 нояб. 2018 г. – с. 40-42.

УДК 621.91.01

Шихалєєв М.М., аспірант

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

Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», 2texter18@i.ua

**ДОСЛІДЖЕННЯ АКУСТИЧНОГО СИГНАЛУ ВІД ДВОХ ДАТЧИКІВ ПРИ ФРЕЗЕРУВАННІ НА ВЕРСТАТІ З ЧПУ**

У роботі вимірюється акустичний сигнал від двох датчиків, що встановлені на столі верстата, з метою встановити залежність сигналу від параметрів оброблення.

Кореляція між методом обробки та акустичним сигналом, що отриманий від електретних датчиків, встановлюється через аналіз спектрограми в спеціалізованому програмному забезпеченні SpectraPlus [1, 2]. В обробленій деталі містяться фрезерна операція оброблення площини, оброблення циліндричних виступів по контуру, а також два свердління отворів різного діаметра. Матеріал заготовки – дюралюміній Д16 ГОСТ 4784-97. Оброблення виконується за одну операцію.

Приклад спектрограми наведений на рис. 1

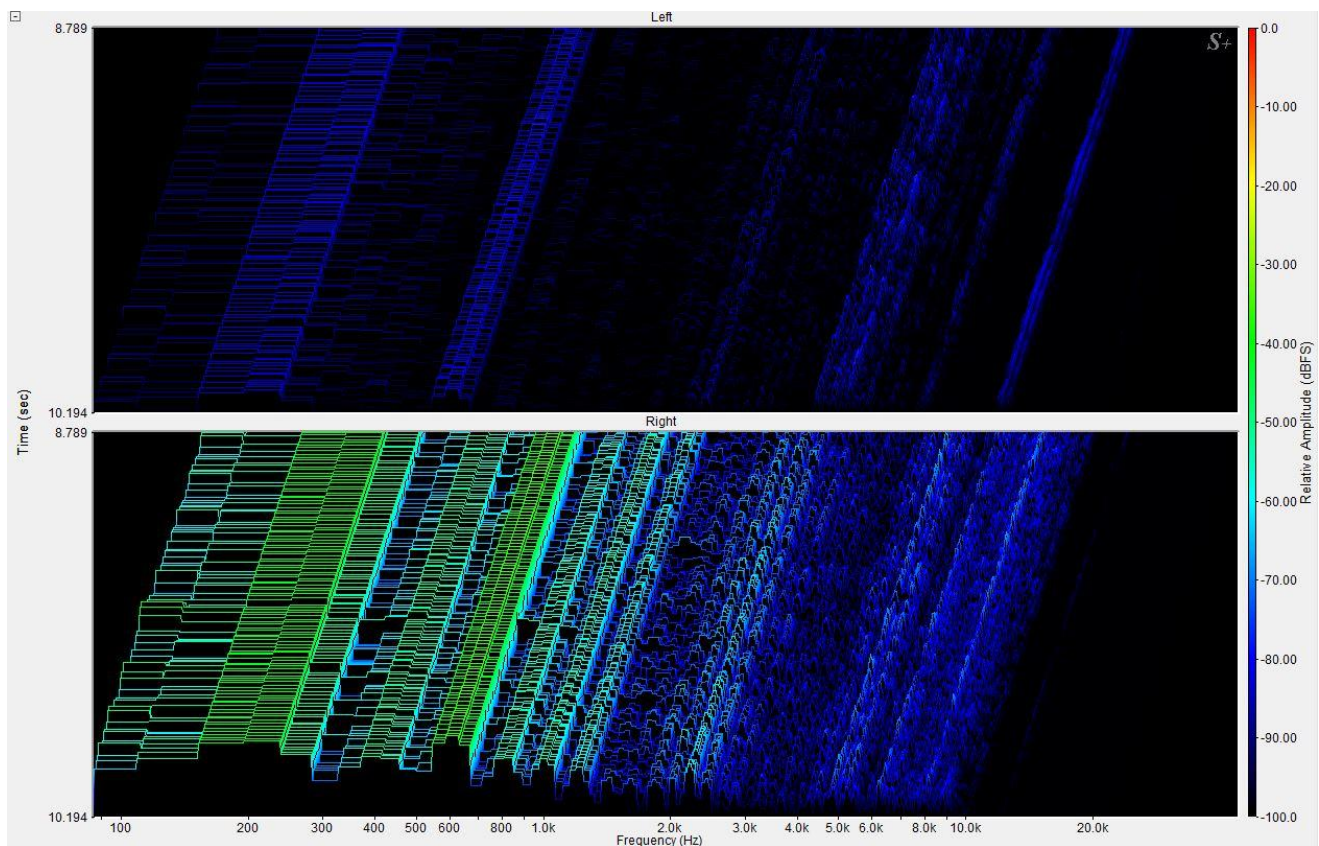


Рис. 1 – Характерний сигнал від електретних датчиків при фрезеруванні площини.

При записі оброблення початок різання на  $t = 7$  с. Відповідно, на операції фрезерування площини графік коливань  $A(t)$  має вигляд як на рис.1. Як видно з рис. 1, в області 200 Гц і 600 Гц є на частоті приблизно 38 – 39 дБ за повною шкалою аналогово-цифрового



перетворювача. Найвища частота досягає позначки в 9 кГц за шкалою коливань і амплітуда склала до 95 дБ. Відповідно аналіз серії спектрограм дозволяє охарактеризувати кореляцію сигналу і шорсткості поверхні Ra. Також кожній операції оброблення має відповідати свій G-код для порівняння сигналу з переходами на верстаті, і режими різання. Цій операції відповідає код управляючої програми, що представлений в таблиці 1.

Таблиця 1 – Співставлення операції, режимів різання та G-коду при фрезеруванні

Назва операції	Режим різання	G-код	Коливання A(t), гЦ	Потужність сигналу, дБ
Фрезерування площини	S= 6000 об/хв F = 800 мм/хв	N10 G03 X-130. Y80.06 I4.57 J3.888 F800. M08 N11 G01 X0.0 N12 X.064 Y80.064 N13 X.06 Y80. N14 Y75.347 N15 X-130.06 N16 Y70.634 N17 X.06 N18 Y65.921 N19 X-11.439	600	38-39



Рис.2 – Оброблена деталь

Оброблена деталь представлена на рис. 2. Поверхня має характерне оброблення. Оскільки при накладанні сигналів від двох акустичних датчиків, має місце інтерференція сигналів. А також до загального сигналу додаються шуми, тому ще однією задачею оброблення результатів дослідження є виокремлення та усунення впливів таких шумів.

#### Список посилань

1. Khasawneh F. Stability Analysis of Machining Processes Using Spectral Element Approach / Firas Khasawneh. // IFAC-PapersOnline. – 2015. – №48. – С. 340–345.
2. Noise-sensitivity in machine tool vibrations / E. Buckwar, R. Kuske, B. L'Esperance, T. Soo. // International Journal of Bifurcation and Chaos. – 2006. – №16. – С. 2407–2416.
3. Dongfeng S. evelopment of an online machining process monitoring system: Application in hard turning. / S. Dongfeng, N. Gindy. // Sensors and Actuators. – 2007. – №135. – С. 405–414.

УДК 621.923

Погребняк Р.П., канд. техн. наук., доцент  
Коптілий О.В., ст.викладач

Національна металургійна академія України, м. Дніпро, pogrebnyakk@ukr.net

## НАВАНТАЖЕНІСТЬ ВЕРСТАТА ЗА РІЗНИМИ СХЕМАМИ ОБРОБКИ ДІЛЯНКИ ГРЕБЕНЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО КОЛЕСА РІЗЦЕМ З КРУГЛОЮ ПОВОРОТНОЮ ВСТАВКОЮ

Формоутворення заготовки гарячекатаного залізничного колеса зняттям шарів металу різанням супроводжується впливом сили різання на повзуни, супорти й планшайбу колесообробного верстата. Застосування фасонних чашкових (з круглою поворотною вставкою) різців при обробці залізничних коліс головним чином обумовлено необхідністю "вписати" у жолобник колеса в місці сполучення поверхні катання й гребеня, тому радіус жолобника обмежує діаметр інструмента. Крім цієї необхідної якості інструмента, чашкові різці володіють і іншими перевагами в порівнянні із різцями з прямою крайкою: середня товщина стружки й відповідно її усадка менше; довжина контакту різця з деталлю більше, що поліпшує тепловідвід; висота мікронерівностей і, отже, шорсткість поверхні нижче.

При обробці окремих ділянок колеса нерідко спостерігаються значні відхилення геометрії отриманої поверхні від заданої. Гребінь колеса – найбільш вразлива ділянка профілю де зустрічаються «врізання» в його поверхню, що приводить до відбраковування коліс і повторному переточуванню. Такого роду помилки копіювання обумовлені низькою динамічною точністю переміщення та позиціонування супорта і повзуна верстата. Нераціональність схеми обробки ще проявляється у тому, що складові сили різання спрямовані на відрив колеса від планшайби й супортів від напрямних. Ця обставина істотно впливає на утворення підвищених зазорів і знижує стійкість напрямних і ходових гвинтів. Однією з головних причин невисокої точності обробки є недостатній облік специфічних особливостей динамічних процесів при формоутворенні профілю гребеня за обраною схемою обробки. При обробці загартованих залізничних коліс із колісної сталі профілю за ДСТУ ГОСТ 10761:2016 справедливий залежності для визначення складових сили різання, кН [1]:

$$P_z(y) = 4,24 t_n(y)^{1,04} S_k(y)^{0,9} V(y)^{-0,1} \quad (1)$$

$$P_x(y) = \frac{1,78 t_n(y)^{1,12} S_k(y)^{-0,07} V(y)^{-0,18}}{\sin \Delta_0(y)} \sin \left( \angle_0(y) + \alpha(y) \right) \quad (2)$$

$$P_y(y) = \frac{1,78 t_n(y)^{1,12} S_k(y)^{-0,07} V(y)^{-0,18}}{\sin \Delta_0(y)} \cos \left( \angle_0(y) + \alpha(y) \right) \quad (3)$$

$$t_n(y) = \frac{t(y) \left[ \sqrt{R^2 - y^2} + t(y) \right]}{2R}; \quad S_k(y) = \frac{R - r + 0,5t(y)}{R} S; \quad (4)$$

$$V(y) = 0,001 \pi [D + 2Y(y)]n; \quad \operatorname{tg} \alpha(y) = \frac{y_0 - y}{\sqrt{R^2 - \left( \angle_0 - y \right)^2}} \quad (5)$$

де:  $t_n$  – приведена глибина різання, мм;  $S_k$  – подача на криволінійній опуклій радіусній ділянці профілю, об/хв;  $V$  – швидкість різання, м/хв;  $\Delta_0$  – кут напрямку сходу стружки [2];  $t$  – глибина різання, мм;  $r$  – радіус інструмента, мм;  $D$  – діаметр колеса, м;  $n$  – частота обертання планшайби, об/хв;  $R$  – радіус кола еквідистанти, що описує профіль;  $Y$  – ріст висоти гребеня по середній величині припуску, м;  $n$  – частота обертання планшайби, хв<sup>-1</sup>;  $y_0$  – координата центра кола еквідистанти, що описує профіль;  $\alpha$  – кут нахилу дотичній до профілю (еквідистанти).

Фасонна ділянка гребеня може бути оброблена з обходом профілю одним різцем зверху вниз чи знизу уверх, можлива комбінована обробка одночасно двома різцями на двох супортах в одному чи різних напрямках обходу [3]. Аналіз рівнянь та моделювання навантаження (рис. 1) показав, що при обробці гальтельної ділянки сполучення поверхні катання й гребеня колеса з подачею зверху вниз (рис. 1, а) спостерігається значне зростання сили різання, особливо її головної складової  $P_z$ . Для чашкових різців вирішальне значення у визначенні сил різання має не глибина різання, а довжина контакту різця з деталлю, або кут контакту різця з деталлю. Як видно з рисунка у жолобнику цей кут максимальний і значно перевершує величину  $\pi/2$ , всі складові сили різання ростуть, максимальна величина головної складової  $P_z$  досягає руйнуючої величини.

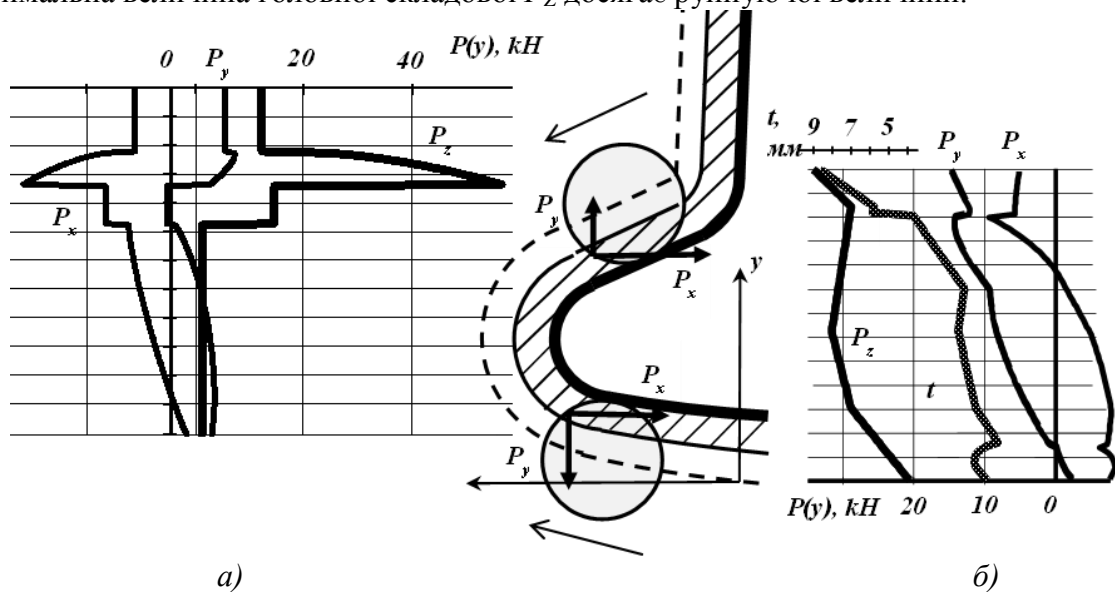


Рис. 1 – Аналіз рівнянь та моделювання навантаження

Тому на верстатах, що здійснюють обробку за схемою "зверху вниз" бічні супорти обточують одну й ту ж поверхню колеса з розбивкою припуску на два проходи, що знижує кількість оброблених ділянок колеса й продуктивність. А знакозмінний характер складових  $P_x$  і, особливо  $P_y$ , де значення складової на значній частині ділянки гребеня знаходиться поблизу нуля, свідчить про потенційну можливість вибирання зазорів у ходових гвинтах приводу відповідних подач.

При обробці профілю за схемою знизу уверх (рис. 1, б) складові сили різання поступово зростають при наближенні до жолобника, однак не приймають значних значень. У районі жолобника закінчується обробка профілю двома бічними супортами, що рухаються назустріч один одному, при цьому кут контакту різців з деталлю не більший за  $\pi/4$ . Зберігаються нетривалі ділянки обробки профілю де складові  $P_x$  і  $P_y$  мають знакозмінний характер з небезпекою вибирання зазорів у ходових гвинтах приводів подач.

Застосування схеми де різці різних супортів здійснюють обхід профілю назустріч один одному і зустрічаються на вершині гребеня, що забезпечує нереверсивність подачі, потребує зменшення параметрів різання у жолобнику профілю. Обробка гребеня одним різцем за схемою на (рис. 1, б) передбачає реверсивний рух подачі і мінімальне значення сили різання.

У зв'язку із цим технологічна схема із завершенням обробки на вершині гребеня представляється менш вдалою.

#### Список посилань

1. Pogrebnyak R. Load and shaping precision of a complex railroad-wheel surface. Russian engineering research. Allerton Press, Inc., New York, 2012. T. 32. №4. pp.407-411. doi: 10.3103/S1068798X12040211.

2. Погребняк Р.П. Технологическая нагрузка и точность формообразования фасонной поверхности железнодорожного колеса фасонным резцом. / Р.П. Погребняк // СТІН (Станки інструмент). – 2012. – № 1. – с.29 – 34.

3. Івашенко В.П., Погребняк Р.П. Технологічні процеси механічної обробки залізничних коліс. / В. П. Івашенко, Р.П.Погребняк // Теория и практика металлургии, Дніпропетровськ, 2011. – № 3-4 (82-83). – С.6 –11.

УДК 629.42

**Рубан В.М. ст. викладач**

Національна металургійна академія України, м. Дніпро, [vladislavruban@ua.fm](mailto:vladislavruban@ua.fm)

## СИСТЕМИ ІНЖЕНЕРНОГО АНАЛІЗУ

Інженерний аналіз являє собою комплекс випробувань, призначених для визначення здатності геометричних об'єктів витримувати проектні навантаження і безперерійно функціонувати при розрахункових умовах експлуатації.

Системи комп'ютерного інженерного аналізу не тільки дозволяють оцінити принципіву працездатність майбутньої конструкції за умовами міцності.

У сучасному проектуванні широко використовуються різні програмні пакети (Computer-aided engineering-CAE), що дозволяють проводити інженерний аналіз міцності і надійності комп'ютерних моделей не вдаючись до реальних експериментів [1].

CAE – системи застосовуються у таких галузях: автомобільна промисловість, аерокосмічна промисловість, енергетика, машинобудування і верстатобудування, суднобудування, оборонна промисловість, напівпровідникова промисловість, цивільне та промислове будівництво, хімічна промисловість, виробництво товарів масового споживання, медична промисловість, телекомунікаційна галузь.

Функції CAE – систем досить різноманітні, основні з них: розрахунок сталих і перехідних процесів, моделювання полів фізичних величин, аналіз міцності, розрахунок власних частот і форм коливань, аналіз стійкості, рішення завдань теплопередачі, дослідження акустичних явищ, аналіз нелінійних статичних процесів, аналіз нелінійних динамічних процесів, розрахунок критичних частот і вібрацій роторних машин, аналіз частотних характеристик, спектральний аналіз.

У своїй роботі програмні продукти використовують різні математичні методи аналізу, засновані на чисельних методах рішення диференціальних рівнянь: метод кінцевих елементів, метод кінцевих різниць, метод кінцевих об'ємів.

Розроблена дуже велика кількість САПР систем, які відносяться до засобів класу CAE. Більшість цих систем використовують метод кінцевих елементів для розрахунку, а також загальною є наявність графічних засобів аналізу результатів і створення розрахункової моделі. Розглянемо детальніше деякі з них, що застосовуються при рішенні завдань механіки.

ANSYS. Компанія ANSYS, заснована в США в 1970 р., розробляє широку лінійку програмних продуктів CAE, будучи одним зі світових лідерів в області розрахункових технологій. Продукти компанії поширюються під однойменним брендом. Сімейство продуктів ANSYS забезпечує рішення широкого спектру завдань: міцності, теплові розрахунки, моделювання електромагнітних процесів, гідро- і газодинамічних течій [2].

ABAQUS. CAE- пакет для скінчено - елементного аналізу. Компанія Abaqus, Inc. була заснована в 1978 г. в США докторами David Hibbitt, Bengt Karlsson и Paul Sorensen. В 2005 г. компанія була поглинена Dassault Systemes [3].

APM WinMachine. MCAD/CAE система автоматизованого розрахунку і проектування деталей машин, механізмів, елементів конструкцій і вузлів, машинобудівних об'єктів і устаткування, що розробляється компанією НТЦ АПМ [4].

Autodesk Simulation пропонує комплекс засобів для інженерних розрахунків і симуляції в машинобудуванні і промислового виробництва. Підтримка різних САПР і розвинені засоби моделювання за допомогою кінцевих елементів дозволяють виробникам досліджувати проектний задум і з високою точністю прогнозувати поведінку виробів при експлуатації [5].

COMSOL Multiphysics - заснована на передових чисельних методах універсальна програмна платформа для моделювання і комп'ютерного моделювання фізичних завдань. Більше 30 додаткових продуктів дозволяють розширювати платформу моделювання, використовуючи спеціальні фізичні інтерфейси і інструменти для електричних, механічних, гідродинамічних і хімічних систем [6].

Creo Simulation. Creo Simulate - це рішення для структурного, теплового аналізу і аналізу коливань, яке включає комплексний набір функцій звичайно-елементного аналізу (FEA), що дозволяє аналізувати і перевіряти працю віртуальних 3d-прототипів до виготовлення першої деталі. Creo - новий флагманський продукт компанії PTC, що є набір масштабованих застосувань, що є, для створення інноваційних виробів [7].

MSC.NASTRAN. Головний продукт компанії MSC.Software, є ведучою на ринку скінчено-елементною програмною системою. Забезпечує розрахунки напружено-деформованого стану, аналіз стійкості, рішення завдань теплопередачі, дослідження процесів, що встановилися і несталі, акустичних явищ, нелінійних статичних процесів, нелінійних динамічних перехідних процесів, розрахунок критичних частот і вібрацій, аналіз частотних характеристик при дії випадкових навантажень [8].

SolidWorks Simulation (перш COSMOSWorks) - універсальний інструмент для аналізу міцності методом кінцевих елементів в середовищі SolidWorks. SolidWorks Simulation, заснований на методі кінцевих елементів, існує в трьох конфігураціях: власне SolidWorks Simulation; SolidWorks Simulation Professional; SolidWorks Simulation Premium. Навіть в мінімальній конфігурації модуля аналізу міцності забезпечується повноцінний статичний аналіз, як деталі, так і збірки з використанням кінцевих елементів твердого тіла, поверхонь і балок. Реалізовано різноманітні контактні умови і всілякі віртуальні з'єднувачі [9].

Великою перевагою САЕ перед іншими методами є швидкість обчислень і достатня точність, а також безліч доведених варіацій методу і програмних реалізацій [10].

#### Список посилань

1. Козлова О. С. Современные тенденции развития САПР в механике / Козлова О. С., Гоменюк С. И. // Вісник Запорізького національного університету. Фізико-математичні науки. №1. – 2014. – С. 38 – 51.
2. ANSYS Mechanical, Systems & Multiphysics Solutions [Електронний ресурс] <http://www.ansys.com/>
3. Алтухов А.В. Разработка интегрированной САПР технологических процессов интенсивного пластического деформирования на примере реверсивного сдвига. / Алтухов А.В., Тарасов А.Ф., Поднебесный Н.Н., Винников А.О. // Вісник НТУ «ХПИ». 2017. № 37. – С. 5 – 10.
4. Анализ напряженно деформированного состояния. [Електронний ресурс] <https://apm.ru/analysis-nds>
5. Autodesk Simulation. [Електронний ресурс] <https://www.autodesk.com/solutions/simulation/overview>
6. COMSOL Multiphysics [Електронний ресурс] <https://www.comsol.com/comsol-multiphysics>
7. Creo Simulation. [Електронний ресурс] <https://www.ptc.com/cad-software-blog/what-is-creo-simulation-live>
8. Шимкович Д.Г. Расчет конструкций в MSC/NASTRAN for Windows. / Д.Г. Шимкович. – М.: ДМК Пресс. 2003. – 448с.
9. SolidWorks Simulation. [Електронний ресурс] <https://www.solidworks.com/category/simulation-solutions>
10. Зенкевич О. К. Метод конечных элементов в технике / О.К. Зенкевич. – М.: Мир, 1975.– 541с.

УДК 629.42

Рубан В.М. ст. викладач

Національна металургійна академія України, м. Дніпро, [vladislavruban@ua.fm](mailto:vladislavruban@ua.fm)

### **ФРЕЗИ ДЛЯ РЕМОНТУ РОБОЧОЇ ПОВЕРХНІ КОЛІСНИХ ПАР МАШИН РЕЙКОВОГО ТРАНСПОРТУ НА ВЕРСТАТАХ КЖ20**

Проблема зношування вагонних і локомотивних коліс є актуальною проблемою для залізниць України та країн СНД. У ряді робіт різних авторів називалися причини цього явища. Значні втрати економіка несе не тільки від звичайного, але й від «технологічного» зношування коліс.

Якщо для вагонних колісних пар в усьому світі в основному використовується одна технологія – токарна обробка, а для локомотивів використовуються два способи обробки без викочування колісних пар: токарна і фрезерна. Склалося історично, що в більшості європейських країн використовується токарна обробка, наприклад, на верстатах фірми RAFAMET UGD-150N або UGE-150N [1]. ТОВ «Рязанський верстатобудівний завод» робить аналогічний верстат моделі РТ90801 [2]. Для більшості колісних пар, оброблюваних без їх викочування з-під локомотива, використовується фрезерна обробка. В СРСР був розроблений і випускався протягом багатьох років ряд моделей верстатів типу КЖ20. У даних верстатах використовуються спеціальні фасонні фрези, які є високотехнологічною продукцією, в них використовуються для різання твердосплавні різці.

Одним із способів зниження зношування колісних пар є використання перспективних профілів коліс вагонів і локомотивів.

Відзначимо, що подібні проблеми стоять не тільки для країн СНД, але існують і в ряді інших країн з розвинутою залізничною інфраструктурою. Наприклад, у статті [3] розроблено декілька нових профілів коліс і рейок для залізниць США.

Аналогічний підхід був використано у 80-х – 90-х роках минулого століття для розробки нових профілів вагонних і локомотивних коліс, які довели свою ефективність на магістральному й промислому транспорті колишнього СРСР. Зазначені профілі одержали загальну назву «профілі ДМетІ» (Дніпропетровський металургійний інститут, у цей час НМетАУ – Національна металургійна академія України). Після багаторічних випробувань вони були допущені для експлуатації й увійшли в ряд керівних документів залізничного транспорту, наприклад, в інструкцію [4].

Першим у СНД серійний випуск фрез для обробки колісних пар локомотивів з даним профілем освоїв Невьянський механічний завод [5]. Разом із групою розробників НМетАУ, було освоєне виробництво фрез з іншими профілями.

Проте, при фрезерній обробці колісних пар чистота обробки поверхні коліс і точність виконання профілю змушують бажати кращого. Фірма Simmons Machine Tool Corporation робить фрези для верстатів TN-84С, точність виконання профілю 0,25 мм [6].

Авторами статті [5] зроблена спроба автоматизувати процес розрахунків координат і кутів нахилу окремих чашок.

В умовах роботи гірничо-металургійного комплексу міжремонтний строк служби збірних фасонних фрез становить 3-6 місяців. Після чого потрібно ремонт із заміною ножів, твердосплавних різців і кропітка робота з настроювання фрези по відповідному до профілю поверхні кочення [7].

Використання сучасних систем автоматизованого проектування й конструювання виробів (САПР), може усунути ці недоліки. Серед засобів САД була обрана конструкторська система Solidworks. Вибір обумовлений з однієї сторони більшими можливостями проектування, а з іншого сторони завдяки відносно простому й зрозумілому інтерфейсу користувача. Ще однією перевагою розглянутої системи є

інтегрування в неї модулів, що дозволяє провести аналіз напружено-деформованого стану виробів за допомогою методу скінчених елементів (МСЕ).

Провести розрахунки фрези вручну достатньо важко. З урахуванням зазначених недоліків, на кафедрі «Прикладна механіка» НМетАУ, був розроблений проект, який дозволить збільшити строк служби й міжремонтний період роботи збірних фасонних фрез і поверхні кочення колісних пар локомотивів.

САПР дозволяє візуально контролювати результати конструювання шляхом побудови тривимірної моделі в процесі виконання кожного етапу в системі Solidworks.

На рис. 1 показана модель спеціальної фасонної фрези в зборі.

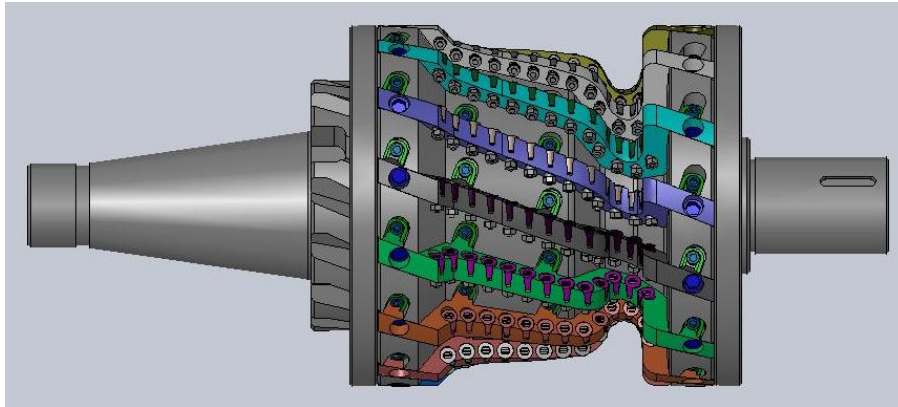


Рис. 1 – Тривимірна модель фасонної фрези в зборі

Для дослідження напружено-деформованого стану елементів моделі був використаний модуль SolidWorks Simulation, інтегрований в CAD систему SolidWorks, у якому результати аналізу проектування базуються на лінійному статичному аналізі за допомогою МСЕ [8].

Практична цінність роботи полягає, у сукупності науково-обґрунтованих технічних рішень по ефективному проектуванню й моделюванню збірних фасонних фрез для відновлювального ремонту поверхні кочення колісних пар локомотивів, що може сприяти скороченню строків проектування й зниженню трудомісткості конструкторсько-технологічної підготовки виробництва.

#### Список посилань

1. Станки компании RAFAMET для обработки колесных пар.// Железные дороги мира. – №4, 1999.
2. Данилов Б. Колесотокарные станки. Часть I. // Оборудование. – №2 (110). –2006.
3. Saurenman H., Caldwell R. Implementing Optimized Wheel and Rail Profiles on the Sacramento LRT System // [http://www.arena.org/eseries/scriptcontent/custom/e\\_arena/library/2001\\_Conference\\_Proceedings/00025.pdf](http://www.arena.org/eseries/scriptcontent/custom/e_arena/library/2001_Conference_Proceedings/00025.pdf)
4. Інструкція по формуванню, ремонту і утриманню колісних пар тягового рухомого складу залізниць України колії 1520 мм. ЦТ/0016.– К.: Транспорт, 2001.– 87с.
5. Есаулов В.П. Фасонные фрезы для профильной обработки локомотивных колес./ Есаулов В.П., Сладковский А.В., Шмурыгин Н.Д. – Машиностроение Украины. – №2. –1995.
6. TN-84C Stanray Wheel Truing Machine // [http://www.simmons-albany.com/group/index.php?option=com\\_content&view=article&id=51&Itemid=58](http://www.simmons-albany.com/group/index.php?option=com_content&view=article&id=51&Itemid=58)
7. Сладковский А.В. Выбор угла наклона ножей фасонной фрезы для колесофрезерного станка КЖ-20. / Сладковский А.В., Хмиленко В.С., Рубан В.Н. // Науковий вісник Національного гірничого університету. – №11, 2003.
8. UA 119973. Збірна фасонна фреза для ремонтного відновлення профілю поверхні кочення колеса рухомого складу машин рейкового транспорту. Національна металургійна академія України, Дніпропетровськ. (Сладковскі А. , Хміленко В.С. , Рубан В.М.) № а 2015 07376 заявл. 22.07.2015. Опубл. 25.10.2017. Бюл.№20. 5 с. : ил.

УДК 621.9.04:621.923.9

Жутенко Є.П., технік-технолог  
Каліберда І.В., інженер-технолог

ДП «Івченко-Прогрес», [zhutenkokp@gmail.com](mailto:zhutenkokp@gmail.com)

Гончар Н.В., канд. техн. наук, доцент

Запорізький національний технічний університет, [gonchar@zntu.edu.ua](mailto:gonchar@zntu.edu.ua)

## ЗАСТОСУВАННЯ ПОЛІМЕРНО-АБРАЗИВНИХ ЩІТОК НА ФІНІШНОМУ ЕТАПІ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС І ШЛІЦЕВИХ ВАЛІВ

Як відомо, при нарізанні зубів зубчастих коліс і шліцьової частини валів на вході інструменту з торця залишається гостра кромка, а на виході його з іншого торця утворюється задирка. Форма кромки з задиркою складнопрофільна і повторює профіль різного роду евольвентних, трапецеїдальних та інших зубів і шліць. Видалення задирок і скруглення гострих кромки на даний момент проводиться різними видами механічних слюсарних операцій: щітки, віброабразивна обробка тощо. Однак віброабразивній обробці піддають дрібногабаритні шестерні. Абразивним зняттям задирок спеціальними шліфувальними кругами видаляють велику задирку, але утворюють нову, меншого розміру, від якій надалі так само потрібно позбавлятися, наприклад, пневмоабразивним обдуванням, обробкою в псевдозрідженому шарі абразиву тощо. Позбутися задирок, не наводячи при цьому нових, дозволяють механічні щітки обертальної дії на основі металевих, полімерних і полімерно-абразивних волокон.

У роботах, присвячених дослідженням цих видів щіток [1,2,3 та ін.], йдеться про вдале застосування таких щіткових інструментів для зняття задирок на складнопрофільних кромках різних деталей, проте обробляли виключно тільки кромки.

В роботі [4] пропонувалося застосувати дискові полімерно-абразивні щітки (ПАЩ) для зняття задирок зубчастих коліс так само тільки з боку торців. Даний інструмент є доброю альтернативою металевим щіткам щодо відповідності вартості і якості, продуктивності і терміну служби.

Інтерес представляє не тільки обробка кромки з задирками на торцях зубчастих коліс і шліцьових валів, а так само бічних поверхонь зубів і шліць і їх западин. В роботі [5] експериментально на зразках за допомогою дискових ПАЩ (рис. 1) успішно показано обробку кромки на вході, плоскої поверхні і кромки на виході звичайним подвійним ходом на повздовжній подачі  $S=1$  м/хв. Причому якість обробки відповідала поліруванню.



Рис. 1 – Дискові ПАЩ фірми «Osborn»

Метою даної роботи було вивчити можливість застосування дискових полімерно-абразивних щіток для слюсарно-оздоблювальної обробки зубчастого вінця і шліцьових поверхонь валів повністю.

Для експериментів було використано дискові щіткові полімерно-абразивні інструменти (фірми «Osborn»)  $\varnothing 120$  і  $\varnothing 150$  мм, з вильотом волокон 22 і 32 мм і діаметром волокон 0,6; 1; 1,2 мм. Режими обробки було взято з роботи [5]: натяг 1,5...2 мм, подача 1 м/хв; швидкість різання 15...17 м/с; кількість проходів 1...5 регулюється швидкістю обертання



оброблюваного зубчастого колеса або валу навколо своєї вісі, обирається у відповідності до величини задирки (тобто виду попередньої обробки зубів або шліц) і матеріалу деталі.

Через те, що правильність форми радіуса заокруглення кромки не обумовлюється в кресленнях деталей, а є тільки вимога відсутності задирок і гострих кромки, то досить прямолінійного зворотного-поступального руху обертової ПАЩ (подвійного ходу) уздовж направляючої зубів або шліц.

В результаті проведеної роботи за 2-3 подвійних ходів повністю видаляються задирки, заокруглюється гостра кромка з обох боків і полірується основна частина зубів і шліц (рис. 2). Отримана шорсткість складала 0,4...1,2 мкм, в залежності від режимів і від вихідної шорсткості. Радіус заокруглення кромки 0,15...0,3 мм. Перевагою є автоматичний режим обробки деталі, що безперервно обертається. Також встановлено, що шестерню необхідно встановлювати таким чином, щоб торцева поверхня з задиркою оброблялася при зустрічному поліруванні дисковими полімерно-абразивними щітками, що практично в 2 рази збільшує продуктивність знімання задирок, ніж при попутному обертанні ПАЩ на зворотному русі подвійного ходу.

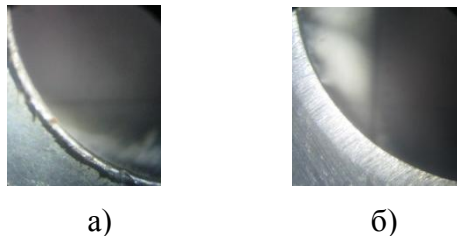


Рис. 2 – Гостра кромка із задиркою (а) та після 1 подвійного ходу дискової ПАЩ (б)

Продуктивність також можна збільшити в 2 рази, встановивши на оправці дві ПАЩ, що працюють одночасно.

В результаті проведеної роботи можна стверджувати, що обробка ПАЩ забезпечує високу якість і продуктивність полірування зубів і шліц, а також зняття задирок і скруглення гострих кромки. Однак в меті даної роботи не було поставлено завдання дослідження зносу волокон ПАЩ, який, можливо, буде інтенсивніше, ніж при обробці плоских і циліндричних деталей і їх кромки. Дані дослідження планується провести в подальшому.

#### Список посилань

1. Димов Ю.В. Исследование качества поверхности при скруглении кромок полимерно-абразивными щетками [Текст] / Ю.В. Димов, Д.Б. Подашев // Вестник Ир ГТУ. – 2016. – Том 20, №9. – С. 23-34.
2. Макаров В.Ф. Моделирование и реализация процесса скругления кромок деталей газотурбинного двигателя абразивно-полимерными щетками [Текст] / В.Ф. Макаров, А.В. Виноградов // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы. Шлифабразив-2014: сборник статей Международной научно-технической конференции / Волгоград: ВолгГАСУ. – 2014. – С.172-175.
3. Серебренникий П.П. Обработка деталей механическими щетками / П.П. Серебренникий [Текст] – Ленинград: Лениздат, 1967г. – 152с.
4. Степанов Д.Н. Применение полимерно-абразивных инструментов для слесарной обработки торцевых поверхностей зубьев конических зубчатых колес [Текст] / Д.Н. Степанов, М.В. Кучугуров, Е.А. Гончар, Е.С. Дядя // Прогрессивные технологии жизненного цикла авиационных двигателей и энергетических установок. Тезисы докладов X Международной научно-технической конференции. – 23-28 сентября 2013 г. – Алушта. – С.92-94.
5. Гончар Н.В. Формирование радиуса скругления острых кромок сложных пространственных форм при помощи полимерно-абразивного инструмента [Текст] / Н.В. Гончар, Е.В. Кондратюк, Д.Н. Степанов. // Збірник наукових праць, Серія: Галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава. – 2014. – Випуск 2 (41). – С.178-173.

УДК 658.5.338.3

Сиромятніков П.С., доцент

Іванов В.В., студент

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, [ukridu@gmail.com](mailto:ukridu@gmail.com)

## ПРОЕКТУВАННЯ ЛАНЦЮГІВ ПОСТАЧАННЯ ВИРОБНИЧОГО ПІДПРИЄМСТВА

Сучасною теорією інтегрованого логістичного керування є керування ланцюгами постачання (ЛП). Концепція SCM (Supply Chain Management – «керування ланцюгами постачання») має припущення виконання функцій планування, організації й контролю ланцюгів постачання, ланками яких є постачальники сировини й матеріалів, виготовлювачі продукції, посередники й споживачі товарів.

Найважливішу роль у системі SCM відіграє проектування ланцюгів постачання, яка складається, головним чином, у визначенні ланок ланцюгів постачання з позиції основного підприємства та установлення зв'язків між ними. Ми пропонуємо варіант методики проектування ланцюгів постачання.

При проектуванні ланцюгів постачання слід розрізняти ланцюги постачання на вході в логістичну систему основного підприємства, які забезпечують вхідні матеріальні потоки, і на виході з логістичної системи – вихідні матеріальні потоки. Від цього залежать критерії відбору ланок ланцюгів постачання. Важливо також ураховувати особливості використаних технологій у виробництві, вимоги й обмеження виробничої логістики основного підприємства [1-8].

Проектування ланцюгів постачання на вході в логістичну систему залежить від цілей закупівельної логістики й включає наступні етапи: формулювання призначення й цілей ланцюгів постачання; формулювання критеріїв ефективності при відборі ланок; визначення обмежень; пошук виробників матеріальних ресурсів; відбір варіантів виробників (основних постачальників) з урахуванням обмежень; оцінка постачальників; вибір постачальника на підставі критерію; пошук і відбір варіантів майбутніх посередників; оцінка посередників; вибір посередників на підставі критерію (критеріїв); визначення параметрів функціонування ЛП (номенклатури сировини, матеріалів і комплектуючих, обсягів і періодичності поставки, виду транспорту та ін.); установлення зв'язків з постачальником і посередниками.

Якщо відповідно до критеріїв вибір був зупинений на виробнику матеріальних ресурсів, і він може відігравати роль прямого постачальника, то процес визначення ланки ланцюга постачання на цьому може бути припинений. У підсумку буде сформований короткий ланцюг на вході в логістичну систему основного підприємства, яка буде включати одну ланку.

У якості критерію (критеріїв) вибору можуть виступати: краща якість ресурсу (товару, комплектуючих, сировини та ін.), що поставляється; мінімальна ціна ресурсу; кращі умови постачання; найбільш якісний сервіс; мінімальна територіальна віддаленість постачальника; мінімальні логістичні витрати доставки ресурсу; вища надійність постачальника; особливі («близькі») відносини з постачальником.

При виборі постачальника слід керуватися обмеженнями: політичними, такими, наприклад, як дія ембарго, введеного ООН на вивіз товарів з тієї або іншої країни; фінансовими; митними; кількісними (на величину партії постачання); іміджевими (низька репутація постачальника) та ін.

Проектування ланцюга постачання на виході з логістичної системи основного підприємства включає наступні етапи: 1) формулювання цілей ланцюга постачання; 2) сегментація ринку; 3) аналіз ринкових сегментів і вибір цільового ринку;

4) позиціонування товарів на ринку; 5) формулювання критеріїв ефективності для каналів розподілу товарів; 6) визначення обмежень для каналів розподілу товарів; 7) оцінка й вибір каналів розподілу товарів з урахуванням критерію й обмежень.

Якщо в результаті обраний прямий канал збуту, то слід подбати про використання або формування власних збутових мереж. Якщо вибір зупинився на непрямих каналах розподілу товарів, то процес відбору ланок триває: 1) пошук посередників; 2) відбір варіантів посередників з урахуванням обмежень; 3) оцінка посередників; 4) вибір посередників на підставі критерію (критеріїв); 5) визначення параметрів функціонування ЛП (номенклатури товарів, обсягів і періодичності поставки, виду транспорту й ін.); 6) установа зв'язків з посередниками.

При виборі ланок ланцюгів розподілу товарів (збутових посередників) критерії будуть трохи іншими: максимальна рентабельність продажів; кращі умови постачання; мінімальні логістичні витрати в ланцюзі розподілу товарів; вищий ступінь надійності та краща репутація посередника; особливі відносини з посередником.

Установа зв'язків з постачальниками й посередниками може не привести до досягнення домовленості про співробітництво. У такому випадку слід повернутися до пошуку й вибору нових ланок ЛП.

Найважливішим й найбільш складним завданням проектування ланцюгів постачання є інтеграція ЛП – досягнення погодженої взаємодії ланок ЛП на основі взаємної зацікавленості сторін.

Як правило, у незалежних ланок ланцюгів постачання інтереси й мета різняться, часом діаметрально протилежно. Домовляючись про співробітництво, слід прагнути досягнення консенсусу, застосовувати гнучкість, іти на компроміси. У ролі інтегратора ЛП за умов наявності сильної ринкової позиції може й повинно виступати основне підприємство.

Запропонований механізм проектування ланцюгів постачання можна рекомендувати менеджерам вищої ланки машинобудівних підприємств для використання в практичній діяльності.

#### Список посилань

1. Сумець А. М. Проблемы логистического управления производственным процессом современного предприятия / Сумець А. М., Сыромятников П. С. // Модернизация хозяйственного механизма сквозь призму экономических, правовых, социальных и инженерных подходов : сб. матер. XI Междунар. науч.-практ. конф., 23 нояб. 2017 г. – в 2 т. / Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2017. Т. 1. – С.268-269.
2. Сумець О. М. Організація логістичної діяльності на аграрних підприємствах: теоретико-методологічний аспект / Сумець О.М., Сыромятников П.С. //World Scientific Extent : Collection of Scientific Articles. – [Coventry], 2017. – С.101–104.
3. Сумець О. М. Аналогова модель системи реєстрації, аналізу й контролю логістичних витрат на виробничих підприємствах/Сумець О. М., Сыромятников П. С.//Anticrisis management:State,Region, Enterprise: Proceeding of the International Scientific Conference /Le Mans University. – Le Mans, 2017.–Part 3.– С. 88–90.
4. Sumets A. Specific Aspects of Logistics Enterprises in the Fat-and-Oil Industry / Alexander Sumets // Agricultural and Resource Economics: International Scientific E-Journal. – 2017. – Vol. 3, No 1. – P. 37–44.
5. Сумець А. М. Ключевые аспекты инноваций в производственные системы / А. М. Сумець, П. С. Сыромятников // Science and education: trends and prospects : Collection of scientific articles. – Ascona Publishing, New York, United States of America, 2018. – P. 268-271.
6. Сумець О.М. Виробнича логістика: технічні системи і прийоми раціоналізації переміщення матеріальних потоків: навчальний посібник / О.М. Сумець, П.С. Сыромятников //Для студентів вищих навчальних закладів III-IV рівнів акредитації. – Х. : ТОВ «Пром-Арт», 2018. – 100 с.
7. Сумець О. М. Логістична інформаційна система виробничого підприємства. / О.М. Сумець, П.С. Сыромятников // «Актуальні проблеми розвитку галузевої економіки та логістики»: матер. VI міжнарод. наук.-практ. конференції з міжнар. участю 25-26 жовтня 2018 р. / ред. кол.: О.В. Посилкіна, О.В. Літвінова, Я.Г. Онищенко. –Х. : Вид-во НФаУ, 2018. – С.112-113.
8. Сумець О.М. Узагальнена класифікація груп чинників розвитку логістики. / О.М. Сумець, П.С. Сыромятников // «Професійний менеджмент в сучасних умовах розвитку ринку»: Матеріали доповідей VII науково-практичної конференції з міжнародною участю (1 листопада 2018 р.): Харків Збірник. – Х. : Монограф. – 2018. – С.376-377.

УДК 629.3

Мурашківська В.П., старший викладач  
 Руновська Л.А., старший викладач  
 Сіра Н.М., канд. техн. наук  
 Подзолкіна А.П., асистент

Чернігівський національний технологічний університет, vmurashkovska@gmail.com

### СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ РОЗРАХУНКУ ФАСОННИХ ПОВЕРХОНЬ

Одним з найбільш поширених способів обробки деталей машин є обробка різанням, яка проводиться шляхом зрізання частини матеріалу заготовки у вигляді стружки і формування таким чином необхідної поверхні деталі. Сукупність відносних рухів інструмента і оброблюваної заготовки, необхідних для отримання заданої поверхні деталі, являє собою кінематичну схему формоутворення. Набули поширення схеми формоутворення, засновані на поєднанні порівняно простих рухів заготовки та інструменту: рівномірному прямолінійно-поступальний і рівномірному обертальному рухах. З точки зору процесу формоутворення поверхні деталі неважливо, при якому поєднанні рухів заготовки та інструменту отримано необхідний відносний рух.

З поверхнею деталі може бути пов'язана початкова площина, а з інструментом – початковий циліндр. В цьому випадку поверхня деталі буде здійснювати рівномірний прямолінійно-поступальний рух, перпендикулярно до осі обертання, а інструмент – рівномірне обертання. В результаті відносний рух деталі та інструмента буде зводитися до кочення без ковзання початкової площини деталі по початковому циліндру інструмента. Вихідну інструментальну поверхню, пов'язану з заданою поверхнею деталі, можна визначити графічно, графічно-аналітично і аналітично.

Розглянемо випадок аналітичного визначення інструментальної поверхні. Кут повороту системи координат  $x_2y_2z_2$  позначають через  $t$ . Тоді поступальне переміщення системи координат  $x_1y_1z_1$  (рис. 1) дорівнюватиме  $R_{H.O}$ , оскільки в процесі обробки спостерігається кочення без ковзання початкової площини по початковому циліндру радіуса  $R_{H.O}$ .

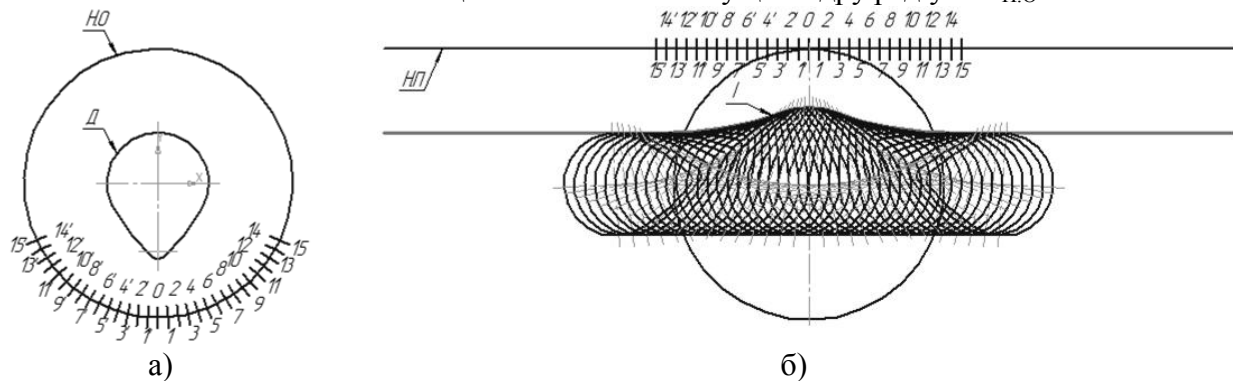


Рис. 1 – Графічне визначення профілю інструмента при коченні початкової окружності деталі по початковій прямій інструмента:

- а) – профіль деталі в перерізі, перпендикулярному до осі початкового циліндра;
- б) – обробка початкового циліндра деталі по початковій площині інструмента

Момент контакту обраної довільно точки  $M$  поверхні деталі визначають за рівнянням контакту, яке має наступний вид:

$$t = z_1 \cdot \operatorname{tg} \psi + y_1 / R_{H.O} , \quad (1)$$

де  $t$  – кут повороту в радіанах;

$z_1, y_1$  – координати обраної точки на поверхні деталі;

$\psi$  – кут між дотичною до профілю деталі і віссю  $y_1$ .

В результаті отримують послідовні положення профілю деталі, огинаюча до яких буде шуканим профілем вихідної інструментальної поверхні (І). Повторюючи побудову для різних перерізів, перпендикулярних до осі початкового циліндра, знаходять сукупність профілів, яка і буде вхідною інструментальною поверхнею.

Знайти рівняння неперервної кривої, що апроксимує весь аналізований контур із заданою точністю, важко, тому доцільно застосовувати кускову апроксимацію кривими одного виду з вирішенням питання про стики. Основні вимоги, що пред'являються до кускової апроксимації дискретного контуру, такі:

1. Забезпечення заданої точності, яка визначається з максимального відхилення від кривої в дискретних точках.
2. Збереження заданого порядку плавності на стиках кривих.
3. Мінімальна кількість ділянок апроксимації.

Перші дві вимоги є необхідними умовами, а третя – бажаною (для скорочення інформації про дискретний обвід і полегшення аналітичного розв'язання задач). З огляду на це, неважко помітити, що вимогам нашого завдання найбільш відповідають наближений і змішаний методи заміни дискретно заданих контурів безперервними кривими.

Нижче розглянуті основні питання побудови автоматичної системи аналітичного формування дискретних обведень дугами кривих другого порядку, заданих рівняннями в загальному вигляді з сполученням їх за допомогою першої похідної.

Точки, що обмежують прямолінійні ділянки, точки перегину, зламу і точки з вертикальною дотичною є особливими точками дискретного контуру. Аналіз при виділенні особливих точок дискретно заданого контуру роблять у такій послідовності: виділяють точки з вертикальною дотичною і ділянок прямих, паралельних осі Y; виділяють прямі ділянки; виділяють точки зламу, виділяють точки перегину; визначають дотичні в точках перегину. Дотичну  $y'_k$  (рис. 2) в точці перегину визначають наступним чином. В районі точки перегину вибирають ділянку, обмежену точками  $i - 2$  та  $i + 1$ , та заміняють її параболою виду:

$$y = ax^3 + bx^2 + cx + d. \quad (2)$$

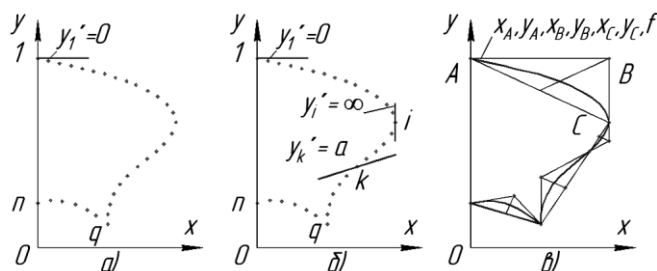


Рис. 2 – Інтерпретація послідовності аналітичного опису: а) – вихідний контур; б) – виділення особливих точок; в) – результат аналітичного опису

Для визначення її координат ділянку дискретного контуру, обмежену точками  $i + 2$  та  $i - 2$ , заміняють кривою другого порядку в загальному вигляді в системі координат, яка повернена відносно вихідної на  $90^\circ$ , де визначають координати екстремальної точки.

При виборі кількості дуг, на які розбивають ділянку між особливими точками, в програмах системи використовують ітераційний процес, який засновано на методі середніх, при

прийнятому допущенні, що максимальне відхилення точок по нормалі при апроксимації  $n - 1$  точок.

Описану систему використовують для аналітичного формування дискретно заданих обводів фасонних поверхонь сполученими дугами кривих другого порядку.

Вихідною інформацією системи є параметри дискримінантного виду задання дуг кривих другого порядку:  $x_{Ai}$ ,  $y_{Ai}$ ,  $x_{Bi}$ ,  $y_{Bi}$ ,  $x_{Ci}$ ,  $y_{Ci}$  та  $f_i$ .

#### Список посилань

1. Родин П. Р. Обработка фасонных поверхностей на станках с числовым программным управлением / П.Р. Родин, Г.А. Линкин, В. Н. Татаренко. – К.: Техніка, 1976. – 200 с.

2. Математика: учебник для учреждений нач. и сред. проф. образования / М.И.Башмаков. – 5-е изд., испр. – М. : Издательский центр «Академия», 2013. – 256 с.
3. Дубовик В.П. Вища математика: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / В.П. Дубовик., П. Юрик. – 4-те вид. – К. : Ігнатекс-Україна., 2013. – 648 с.

УДК 621.87

**Неженцев А.Б., канд. техн. наук, доцент**  
Национальный технический университет Украины «КПИ им. И.Сикорского»,  
[nezhentsev@meta.ua](mailto:nezhentsev@meta.ua)

## **СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ ПРИ ТОРМОЖЕНИИ МОСТОВЫХ КРАНОВ**

Мостовые краны являются основным средством внутрицехового транспорта, но по сравнению с другим промышленным оборудованием имеют один из самых низких КПД. Среди факторов, вызывающих повышенные потери энергии при эксплуатации кранов, являются применение устаревших систем управления крановыми электроприводами и нерациональных режимов работы механизмов (например, торможения противовключением). Несмотря на актуальность указанной проблемы, до настоящего времени количественным оценкам потерь энергии при торможении крановых механизмов уделялось мало внимания.

Для анализа потерь энергии мостовой кран был представлен в виде трехмассовой расчетной схемы, учитывающей все основные факторы электромеханической системы «электропривод – металлоконструкция – груз», описываемой системой нелинейных дифференциальных уравнений. При этом приведенная к ходовым колесам сила электропривода, определялась по нелинейным механическим характеристикам в зависимости от вида торможения электродвигателя (противовключение, динамическое торможение и др.).

Численное интегрирование системы нелинейных дифференциальных уравнений позволило с высокой точностью рассчитать значения и построить графики изменения всех компонентов потерь энергии, а также перемещений и скоростей приведенных масс, нагрузок на металлоконструкцию крана и груз при различных видах торможения.

Анализ результатов проведенных исследований позволил сделать следующие выводы:

- расчеты потерь энергии при торможении грузоподъемных кранов необходимо осуществлять с помощью математических моделей, учитывающих все основные параметры электромеханической системы «привод – металлоконструкция - груз», что дает возможность повысить точность расчетов потерь энергии на 13 – 25%;

- отличие между потерями энергии, полученными при торможении мостового крана грузоподъемностью 20/5т по разным механическим характеристикам электропривода передвижения составляет в режиме противовключения 1,6 раза, а в режиме динамического торможения с независимым возбуждением – более чем 2,5 раза;

- наиболее экономичными по энергопотреблению являются механические характеристики, обеспечивающие наибольшую среднетормозную приведенную силу привода и сопровождающиеся наибольшими динамическими нагрузками. Форсированное торможения крана позволяет уменьшить потери энергии по сравнению с плавным торможением примерно на 12%;

- задача снижения потерь энергии грузоподъемных кранов должна решаться в комплексе с задачами уменьшения уровня динамических нагрузок и повышения производительности, поскольку улучшение одних показателей переходного процесса часто сопровождается ухудшением других показателей. Следовательно, одним из наиболее перспективных направлений дальнейших исследований, связанных с

формированием оптимальных переходных процессов грузоподъемных кранов является разработка алгоритмов оптимизации характеристик крановых приводов по обобщенному критерию (включающему: потери энергии, динамические нагрузки на металлоконструкцию крана, амплитуду раскачивания груза после останова крана и время торможения) и их реализация с помощью микропроцессорной техники;

- одним из путей снижения потерь энергии и повышения плавности торможения крановых электроприводов является применение устройств для динамического торможения с оптимальными, по обобщенному критерию, механическими характеристиками.

*УДК 621.91.01*

**Сошко В.О., канд. техн. наук, доцент**

**Грубник О.В., ст. викладач**

Херсонський національний технічний університет, soshking@gmail.com

### **ОСОБЛИВОСТІ ФІЗИКО-ХІМІЧНОЇ ВЗАЄМОДІЇ МАСТИЛЬНО-ОХОЛОДЖУВАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СЕРЕДОВИЩ З МЕТАЛАМИ ПІД ЧАС МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ РІЗАННЯМ**

Процеси і явища при руйнуванні твердого тіла під час механічної обробки твердих тіл в поверхнево-активних мастильно-охолоджувальних технологічних середовищах (МОТС) виключно складні за багатоплановістю і екстремальністю умов протікання, включаючи тертя, пластичну деформацію і руйнування матеріалу при дії технологічної рідини з десятками розчинених і емульгованих в ній компонентів. За загальноприйнятою точкою зору, полегшення процесів деформації і руйнування тіл в МОТС відбувається в результаті оборотної адсорбції поверхнево-активних середовищ і пропорційне зменшенню поверхневої енергії тіла (ефект Ребіндера), а в процесі руйнування тіла початкові властивості, склад середовища залишаються незмінними. В той же час, аналіз експериментальних даних з дослідження цієї проблеми та численних результатів використання МОТС, свідчить про те, що адсорбційний ефект полегшення деформації і руйнування металів не може грати основну роль в поліпшенні їх оброблюваності [1, 2].

Результати експериментів показують наявність водню в стружці і в оброблених поверхнях армо заліза і сталі після різання у будь-якому вуглеводневому середовищі і у воді [2]. Оскільки водень може дифундувати у епіцентр руйнування тільки в протонному стані [3], це свідчить про те, що початкове водневмісне поверхнево-активне середовище перетворюється в зоні руйнування в радикально-активну газову суміш, що містить дисоційований водень, який, дифундує в матеріал і стає активним учасником процесу деформації й руйнування.

Взаємодія протонів водню з металом в області його руйнування - складний процес, який включає різні реакції, що відбуваються на зовнішніх і внутрішніх поверхнях, на межах зерен і субзерен, а також взаємодію водню з дислокаціями, атомами твердого тіла, неметалічними включеннями та ін. Наприклад, при взаємодії протонів з іонами металу можуть відбуватися реакції, які викликають або не викликають структурні зміни, що не призводять до утворення хімічних сполук на внутрішніх поверхнях, і реакції з утворенням цих сполук, а також реакції, при яких на внутрішніх поверхнях утворюються молекули хімічних сполук, які одразу ж переходять в газову фазу [3].

У роботі [2] показано, що іонізація та масоперенос часток водню в газовій фазі й під поверхнею тіла забезпечуються фізико-хімічними явищами, що мають квантову природу і які є постійним супутником процесу руйнування. Найбільш виражено усі ці процеси і явища відбуваються в просторі нанорозмірного масштабу між клином інструменту і

вершиною тріщини, де у момент руйнування також концентрується потенційна механічна енергія, що накопичується в твердому тілі в ході його деформації.

Таким чином, у процесі різання, в просторі, локалізованому в мікрооб'ємі перед поверхнею металу, що пластично деформується і доводиться до руйнування, створюються умови, достатні для завершення активації середовища, а також перенесення електрично заряджених часток водню з газової фази до поверхні, а потім і в об'єм матеріалу.

Умови, які створюються в реакційній зоні, є причиною спрямованого переміщення заряджених часток до вершини тріщини. Цей процес стає можливим у зв'язку з тим, що перед вершиною мікросілини в області пластично деформованого металу концентрується велика кількість різних дефектів. Такі дефекти утруднюють рух електронів в кристалічній решітці і є їх пастками. Внаслідок цього, в області, що пластично деформується, перед гирлом тріщини спостерігається підвищена концентрація електронів. Це означає, що область матеріалу, де відбувається перебудова і розрив зв'язків між атомами набуває гранично сконцентрованого від'ємного електричного заряду. Внаслідок цього з плазми, що утворилася, частки водню, що мають позитивний електричний заряд, переміщуються у бік від'ємного заряду, тобто в осередок руйнування, а частки Н- рухаються у бік позитивного заряду, тобто до інструменту.

Контактні взаємодії водневої газової суміші, що виникають в реакційній зоні, з електрично активною новою структурою, комплекс різноманітних фізико-хімічних явищ, що спричинюють прискорення процесів хімічної активації середовища, а також самоактивація реакцій в результаті дії позитивного зворотного зв'язку між фізико-хімічними і механічними процесами, грають головну роль в полегшенні деформації і руйнування під час механічної обробки металу в МОТС з достатнім виходом водню, яку за сутністю наявних процесів можна назвати механо-плазмовою.

Таким чином, висновки, які виходять з наведеної та підтвердженої експериментально моделі активації середовища, говорять про вирішальну роль водню в полегшенні процесів руйнування і деформації. Тому підвищення ефективності МОТС слід досягати введенням присадок, здатних в умовах зони різання дати максимальний вихід водню. Такі властивості мають високомолекулярні з'єднання, наприклад, аліфатичні гетероланцюгові граничні полімери (поліетилен, полівінілхлорид). Вказані міркування узгоджуються з результатами промислових випробувань МОТС на полімерній основі (з добавками поліетилену і полівінілхлориду), які показали їх надзвичайно високу ефективність в процесах різання. Встановлено, що сумарні енергетичні витрати при різних видах обробки різанням з їх застосуванням знижуються до 40%, зносостійкість інструменту збільшується більш ніж на порядок при збереженні точності і поліпшенні чистоти поверхні [4].

Подальші дослідження, направлені на розкриття сутності механізмів фізико-хімічної взаємодії металів та інших оброблюваних матеріалів з технологічними середовищами при руйнуванні під час механічної обробки, а також встановлення кількісної оцінки впливу різних факторів на процеси, що відбуваються при цьому, дозволять суттєво підвищити ефективність існуючих методів механічної обробки та підійти до створення нових методів, що в повній мірі використовують явища механоплазмового ефекту.

#### Список посилань

1. Сошко А.И. Смазочно-охлаждающие средства в механической обработке металла / Сошко А.И., Сошко В.А. – Херсон: Олди-плюс, 2008. – 618 с.
2. Сошко В.А. Механохимическая обработка металлов. / Сошко В.А., Сошко А.И. – ФРГ: LAMBERT Academic Publishing., 2015. – 98 с.
3. Галактионова Н.А. Водород в металлах. / Н.А. Галактионова. – М.: Металлургия, 1967. –303 с.
4. Сошко В.А. Механизм влияния смазочно-охлаждающих технологических сред на разрушение металла при резании. / В. А. Сошко, А.И. Сошко, А.В. Грубник // Технология машиностроения. 2019. – №1(199). – С. 16-27.



УДК. 621.91.01

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

Національний технічний університет України «КПІ ім. І. Сікорського», [privas@bigmir.net](mailto:privas@bigmir.net)

### ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ ВИРОБНИЦТВА ПРИ ЗАСТОСУВАННІ ВІРТУАЛЬНОГО БАЗУВАННЯ ЗАГОТОВОК

На сучасному етапі розвитку машинобудування, у зв'язку широким застосуванням систем автоматизованого проектування для створення нових конструкцій машин, з одного боку, а також вимогами ринку машин з іншого, має місце зростання темпів оновлення їх конструкцій. Швидкі темпи оновлення конструкцій об'єктів виробництва вимагають підвищення темпів технологічної підготовки виробництва. Одним із шляхів розв'язання такої проблеми є підвищення гнучкості процесів виготовлення деталей машин, тобто здатності швидко і з мінімальними витратами часу та ресурсів забезпечувати перехід до виготовлення нових деталей і машин.

Проблема гнучкості технологічних процесів оброблення включає забезпечення гнучкості верстатного обладнання та технологічного оснащення – інструментів і верстатних пристроїв.

На даний час проблеми гнучкості верстатів та інструментального забезпечення, за рахунок використання верстатів з числовим програмним управлінням, є практично вирішеними на високому рівні. У той же час, підвищення гнучкості верстатних пристроїв є актуальною проблемою, яка потребує подальшого вирішення.

Використання традиційних шляхів скорочення витрат часу та ресурсів на проектування і виготовлення пристроїв, зокрема: стандартизація і нормалізація елементів пристроїв; створення і використання переналагоджуваних пристроїв; автоматизація проектування і виготовлення пристроїв, хоч і дають певний ефект, але не приводять до суттєвого зменшення витрат часу на технологічне оснащення нових технологічних процесів, що є перешкодою для підвищення гнучкості виробництва, скорочення термінів його технологічної підготовки.

Одним із нових шляхів вирішення проблеми скорочення витрат часу і ресурсів на оснащення ТП верстатними пристроями є використання віртуального базування на основі нових технологічних можливостей 4-5-координатних верстатів з ЧПУ, у сукупності з використанням, для базування заготовок, контрольних вимірювальних систем (КВС) на основі вимірювальних головок (ВГ). Особливо це актуально для оброблення корпусних деталей, у першу чергу складної геометричної форми, наприклад, корпусів коробок швидкостей, диференціалів, блоків циліндрів, штампів, прес-форм. Оброблення таких деталей з використанням технологічних процесів на базі 3-координатних верстатів та традиційних контактних схем базування [1] потребує використання деякої кількості операцій, зміни технологічних баз та конструкцій верстатних пристроїв для їх реалізації.

Застосування віртуального базування, яке є важливою складовою адаптивного оброблення різанням, дає можливість визначити дійсне положення заготовки і, при наявності його відхилення від проектного, усунути похибку установки за рахунок внесення відповідних змін в управляючу програму оброблення заданої деталі. У такому випадку усунення похибки установки заготовки здійснюється без зміни її положення в пристрої і незалежно від точності встановлення заготовки. Таке оброблення може бути реалізовано на 3-4 -координатних верстатах з ЧПУ, але найбільш повно і успішно на верстатах, які мають 5 керованих координат.

Для реалізації віртуального базування верстат повинен бути оснащений [1] ОМВ-вимірювальною системою (On-Machine Verification-контроль 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 САІ-системою (CAI, Computer Aided Inspection), наприклад PowerINSPECT 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 та реалізацію проміжного контролю розмірів заготовки після реалізації певного етапу оброблення поверхні та дають можливість вносити необхідні корективи в наступні етапи оброблення для досягнення заданих характеристик якості.

Використання віртуального базування дозволяє суттєво спростити конструкції верстатних пристроїв внаслідок звуження їх функцій до виконання тільки закріплення заготовок та часткового базування. Наприклад, при встановленні заготовки в універсальних тисках може бути реалізована тільки установча ТБ і затиск заготовки, а направляюча і опорна ТБ – за рахунок віртуального базування, тобто з урахуванням дійсного положення заготовки, при встановленні заготовок в універсальному патроні може бути реалізована тільки подвійна направляюча ТБ і затиск заготовки, а опорна ТБ – за рахунок віртуального базування.

Таким чином, віртуальне базування дозволяє перейти у більшості випадків до використання універсальних пристроїв, за рахунок чого усунути з технологічної підготовки виробництва етапи проектування та виготовлення пристроїв, а отже суттєво скоротити витрати часу, матеріальних та фінансових ресурсів на технологічне оснащення виробництва та підвищити його гнучкість. Крім того, воно дозволяє полегшити розв'язання задачі забезпечення заданої точності оброблення, за рахунок усунення похибок установки заготовок.

#### Список посилань

1. Біланенко В.Г. Базування в технологічних процесах оброблення різанням. / В.Г. Біланенко, В.П. Приходько // Матеріали 8-ї міжнародної науково-практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів і систем» ЧНТУ, Чернігів, 8-10 травня, 2018, – с.88-89.

УДК 621.91.01

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

Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», victor\_bilanenko@ukr.net

### ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ОБРОБЛЕННЯ ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ

Вироби з титанових сплавів забезпечують довготривалу та надійну роботу в складних умовах експлуатації сучасних літальних та космічних апаратів [1, 2], а також є стійкою тенденція до зростання їх застосування в суднобудуванні, вагонобудуванні та використанні таких сплавів для відновлення життєздатності людей в медицині.

В порівнянні з традиційними вуглецевими та леггованими сталями, титанові сплави мають сприятливі фізико-механічні характеристики, які забезпечують працездатність виробів в складних умовах експлуатації, а саме: достатньо високу міцність (наприклад, сплав ВТ6Л (Ti-6Al-4V) має границю міцності  $\sigma_g = 882 \text{ МПа}$  [3], високу корозійну стійкість, малий коефіцієнт теплового розширення, який складає  $\alpha = 8,35 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  [3] та значно меншу густину в порівнянні з конструкційними сталями, яка складає  $\gamma = 4540 \text{ кг/м}^3$  [3], питому міцність, яку визначають відношенням характеристик міцності до густини для найкращих титанових сплавів складає (30-35), що майже вдвічі перевищує

питому міцність легованих сталей, а також високу роботоздатність виробів з цих матеріалів в широкому діапазоні робочих температур від (-290°C) до (+600°C) [4].

Разом з тим, титанові сплави мають і певні негативні характеристики, які обумовлюють технологічні проблеми оброблення різанням до яких відносять:

- складну оброблюваність титанових сплавів різанням, яка практично аналогічна оброблюваності нержавіючих сталей аустенітного класу;
- низьку теплопровідність титанових сплавів, наприклад, титановий сплав ВТ6Л (Ti-6Al-4V) має коефіцієнт теплопровідності  $\lambda = 8,8 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$ , [3] а конструкційна сталь 45-  $\lambda = 51,9 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$ , високий коефіцієнт тертя та адгезію, що обумовлює складну контактну взаємодію різальних інструментів з титановими сплавами та недостатню стійкість різальних інструментів;
- титанові сплави мають низький модуль пружності наприклад, титановий сплав ВТ6Л має модуль пружності  $E=103 \cdot 10^6 \text{ Па}$  [3], а конструкційна сталь 45-  $E=210 \cdot 10^6 \text{ Па}$  [3].

Проектування технологічних операцій оброблення різанням титанових сплавів передбачає послідовне вирішення типових технологічних завдань:

- визначення ефективного інструментального матеріалу різального інструменту, який може забезпечити оброблення заданого конструктивного матеріалу;
- визначення конструкції різального інструменту з урахуванням фізико-механічних характеристик оброблюваного матеріалу та умов оброблення;
- визначення ефективної форми різальної частини інструменту, яка забезпечує високу продуктивність оброблення та характеристики якості обробленої поверхні;
- визначення геометричних параметрів різальної частини інструменту;
- визначення оптимальних режимів різання для заданих умов оброблення.

У відповідності до міжнародної класифікації інструментальних матеріалів за групами оброблюваності, яка визначається стандартом ISO 513:2012 титанові сплави відносяться до групи оброблюваності S, яку додатково поділяють на 2 підгрупи S1-жароміцні сплави на основі нікелю та S2-титанові сплави. Для визначення інструментальних матеріалів, які можуть забезпечити ефективне оброблення титанових сплавів необхідно приймати до уваги особливості умов оброблення:

- титанові сплави зберігають характеристики міцності та твердості в широкому діапазоні температури різання, що обумовлює виникнення значно більшої сили різання в порівнянні з обробленням конструкційних сталей. Зростання сили різання обумовлює зростання роботи різання, теплоти різання, потужності різання та за певних характеристик верстату та різального інструменту може бути джерелом утворення вібрацій;
- зменшення довжина контакту стружки з передньою поверхнею різального інструменту обумовлює зростання навантажень на контактних поверхнях інструменту, зростання кута зсуву з незначними коефіцієнтами усадки стружки  $K_1 \cong 1$ , що може приводити до крихкого руйнування або пластичного деформування різальної частини;
- великі коефіцієнти тертя титанових сплавів з інструментальним матеріалом (0,3-0,6) та його низька теплопровідність обумовлює зменшення кількості теплоти, яка надходить в стружку та заготовку і зростання кількості теплоти в різальному інструменті;
- висока адгезійна здатність титанових сплавів приводить до налипання оброблюваного матеріалу на контактні поверхні різального інструменту, що викликає додаткове зростання коефіцієнту тертя та створює значні складнощі в забезпеченні характеристик якості обробленої поверхні за параметрами шорсткості;
- при обробленні титанових сплавів може спостерігатись зміцнення поверхневих шарів, що підвищує інтенсивність зношування робочих поверхонь різальних інструментів.

Для лезового оброблення титанових сплавів необхідно використовувати інструментальні матеріали високої міцності. Характеристики міцності швидкорізальних сталей (HSS) визначають їх придатність для оброблення титанових сплавів і такі матеріали використовуються для виготовлення токарних різців, осьових різальних інструментів (свердла, зенкери) та кінцевих монолітних фрез. Разом з тим, застосування таких інструментальних матеріалів в складних умовах оброблення титанових сплавів не може забезпечити високу продуктивність оброблення. Рекомендовані складові режиму різання змінюються в діапазоні: глибина різання  $h=(0,5-3,0)$ мм,  $S\leq 0,2$ мм/об,  $V=(20-30)$ м/хв.

Для виготовлення змінних багатогранних пластин, які використовують в різальних інструментах для оброблення титанових сплавів необхідно використовувати одно карбідні тверді сплави групи ВК (WC+Co) достатньої міцності, переважно ВК8, ВК6-М. Сучасні металокерамічні тверді сплави для оброблення титанових сплавів виготовляються за вдосконаленими технологіями і забезпечують виготовлення сплавів малої зернистості, які мають високу адгезію до покривів, які наносяться на контактні поверхні різальних інструментів, формуванням різальних кромки з малими радіусами округлення  $\rho= 5-8$  мкм, що обумовлює зменшення ступеню пластичного деформування матеріалу в зоні різання, зменшення сили різання та теплоти різання, а також підвищення стійкості різальних кромки при дії високих контактних температур.

Застосування абразивних видів оброблення титанових сплавів має суттєві застереження, враховуючи низьку теплопровідність цих матеріалів.

#### Список посилань

1. Колачѐв Б.А. Титановые сплавы в конструкциях и производстве авиадвигателей и авиационно-космической технике / [Колачѐв Б.А., Елисеєв Ю.С., Братухин А.Г., Талалаєв В.Д. под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. А.Г. Братухина.] Москва: Изд-во МАИ, 2001. – 416 с.
2. Моляр А.Г., Конструкционные материалы в самолетостроении. / Моляр А.Г., Коцюба А.А., Бычков А.С., Нечипоренко О.Ю. – Киев : КВИЦ, 2015. – 400 с.
3. Илларионов А.Г. Технологические и эксплуатационные свойства титановых сплавов: учебное пособие. / А. Г. Илларионов, А. А. Попов. – Изд-во. Урал. ун-та, 2014. – 137 с.
4. Корбут Е.В. Особенности изнашивания инструмента при обработке титановых сплавов. / Е.В. Корбут, В.Ф. Лабунец // Проблемы тертя та зношування. – 2005. – № 55. – С. 83-93.

УДК. 621.91.01

**Приходько В.П.** канд. техн. наук, доцент,  
**Біланенко В.Г.**, канд. техн. наук, доцент,

Національний технічний університет України «КПІ ім. І. Сікорського», [privas@bigmir.net](mailto:privas@bigmir.net)

### **ВИБІР ТЕХНОЛОГІЧНИХ БАЗ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ РОЗМІРНИХ ЗВ'ЯЗКІВ ДЕТАЛЕЙ**

Вибір технологічних баз (ТБ) при розробленні технологічних процесів виготовлення деталей є важливим етапом, оскільки такий вибір, виконаний технологом, та схема розмірних зв'язків поверхонь деталі, задана конструктором, в значній мірі, визначатимуть послідовність оброблення поверхонь, можливість і економічність досягнення необхідної точності розмірів та відносного розташування поверхонь.

Процедури вибору, як загальних технологічних (чистових) баз, що є обробленими поверхнями, так і технологічних баз для першої операції (необроблені поверхні) у більшості випадків ґрунтуються на якісному аналізі поверхонь деталі, зокрема в знаходженні основних і допоміжних конструкторських баз (ОКБ і ДКБ). Такий підхід базується на припущенні, що саме вони є головними поверхнями відносно яких повинні бути зорієнтовані інші поверхні.

Очевидно, що такий вибір орієнтований на дотримання принципу сталості баз і недостатньо враховує реальну схему розмірних зв'язків деталі, у той час як саме кількість розмірних зв'язків поверхні буде основним критерієм вибору технологічної бази. Вибір в якості ТБ поверхні, яка має велику кількість розмірних зв'язків, тобто зв'язана розмірами і технологічними вимогами розташування з багатьма іншими поверхнями свідчатиме про дотримання принципу суміщення технологічних і вимірювальних баз і, в певній мірі, принципу сталості, оскільки буде вибиратись поверхня із найбільшою кількістю розмірних зв'язків. Дотримання зазначеного принципу суміщення баз забезпечить усунення похибок базування при одержанні розмірів, заданих від ТБ. Уникання похибок базування, у свою чергу, забезпечить більш економічний варіант досягнення заданої точності розмірів.

У той же час необхідно зазначити, що на практиці в конструкціях деталей положення оброблюваних поверхонь може задаватись не тільки від ОКБ, але і від інших поверхонь, наприклад, допоміжних конструкторських баз, що ускладнює або навіть унеможливує дотримання принципу сталості баз при використанні традиційних способів базування.

Отже при виборі ТБ в першу чергу необхідно опиратись на визначення кількості розмірних зв'язків кожної поверхні та виявленні поверхонь з найбільшою кількістю зв'язків. Таке завдання може бути вирішено на основі побудови і наступного аналізу графів чи матриць розмірних зв'язків деталей [1, 2], спеціально для обґрунтованого вибору технологічних баз та визначення послідовності оброблення поверхонь, або як одного з етапів розмірного моделювання ТП. Орієнтовані графи, що включають конструкторські розміри деталі називаються вихідними. Їх вершинами є поверхні або осі деталей, а дугами – розміри чи технічні вимоги (відхилення від паралельності, співвісності і т.н.). Представлення розмірних зв'язків деталі за допомогою графів забезпечує візуалізацію зв'язків та полегшує вибір поверхонь з найбільшою їх кількістю для подальшого аналізу з метою вибору одного чи декількох комплектів технологічних баз. Використання матриць доцільно для забезпечення автоматизованої реалізації процедур і алгоритмів вибору технологічних баз.

Графи чи матриці будують для кожного з координатних напрямків та використовують для вибору трьох технологічних баз при обробленні тривимірних деталей (корпусів), або двох – при обробленні деталей – тіл обертання (вали, втулки).

*Алгоритм вибору технологічних баз з використанням графів може бути таким:*

1. Побудова графа розмірних зв'язків для обраного координатного напрямку.
2. Візуальний аналіз графа та визначення поверхонь з найбільшою кількістю зв'язків.
3. Послідовний аналіз кількох відібраних поверхонь, починаючи з поверхні, що має найбільшу кількість розмірних зв'язків, на їх відповідність іншим вимогам до технологічних баз зокрема:

- достатності розмірів поверхні для забезпечення надійного базування деталі з мінімальними похибками установки;

- доступності обраної поверхні для здійснення установки заготовки без надмірного ускладнення конструкції верстатного пристрою.

Якщо поверхнею, що має найбільшу кількість розмірних зв'язків виявиться ОКБ, то вона з великою ймовірністю буде відповідати також іншим критеріям, оскільки вони будуть аналогічними і щодо встановлення деталі в конструкції вузла.

4. Якщо в координатному напрямку виявиться тільки одна поверхня, від якої задані всі зв'язки то це означатиме, що її вибір в якості ТБ задовольнить одночасно вимоги сталості та єдності баз і забезпечить точність оброблення з найменшими похибками установки заготовок, а також високу ступінь уніфікації елементів верстатних пристроїв. У підсумку – найбільш економічний варіант забезпечення заданої точності розмірів.

5. Якщо в координатному напрямку виявиться декілька поверхонь із значною кількістю розмірних зв'язків то проводиться послідовний їх аналіз на відповідність іншим критеріям, починаючи з ОКБ, якщо немає – з ДКБ. При аналізі поверхні, щодо відповідності критеріям також аналізують можливість технологічної системи щодо забезпечення необхідної точності розмірів за рахунок прямого формування розмірів, заданих від інших поверхонь, наприклад інструментом, набором інструментів, програмою і усуненням, таким чином, впливу похибок установки заготовок та дотримання, при цьому, принципу сталості баз.

6. При неможливості забезпечення необхідної точності деяких розмірів вибирають наступну поверхню у тому ж координатному напрямку і повторюють аналіз, аналогічно п.5.

Таким чином вибір проводять до тих пір поки не буде забезпечена необхідна точність усіх розмірів даного координатного напрямку. В результаті буде відібрано декілька поверхонь, які послідовно будуть використані в якості ТБ при отриманні «своїх» розмірів, тобто з дотриманням принципу суміщення баз.

Висновок-запропонований алгоритм вибору ТБ на основі аналізу графів та матриць розмірних зв'язків деталі дає можливість забезпечити більш ефективний та цілеспрямований вибір технологічних баз.

#### Список посилань

1. Приходько В.П. Використання орієнтованих графів для представлення структури розмірних зв'язків технологічних процесів. / В.П. Приходько // Вестник Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт». Машиностроение. – №50. – 2007. – с.130-138.

2. Приходько В.П. Використання матриць для представлення структури технологічних процесів при розмірному моделюванні і аналізі. / В.П. Приходько // Праці міжнародної науково-технічної конференції. т II, НТУУ «КПІ», Київ. – 1998. – с.139-145.

УДК 621.941-229.3:531.133

Єрошенко А.М. канд. техн. наук, доцент

Кальченко Д.В. аспірант

Литвин О.О., асистент

Венжега В.І., канд. техн. наук, доцент

Чернігівський національний технологічний університет, [itmia@ukr.net](mailto:itmia@ukr.net)

### ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ДВОСТОРОННЬОГО ШЛІФУВАННЯ ТОРЦІВ КЛАПАНІВ ДВЗ РІЗНОГО ДІАМЕТРУ КРУГАМИ З КАЛІБРУЮЧУМИ ДІЛЯНКАМИ ТА БЕЗ НИХ

Деталі з робочими торцевими поверхнями різних діаметрів використовуються в багатьох галузях машинобудування, зокрема в автомобілебудуванні та сільсько-господарському машинобудуванні. До таких деталей відносять тарілчастий клапан двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ) (рис.1).

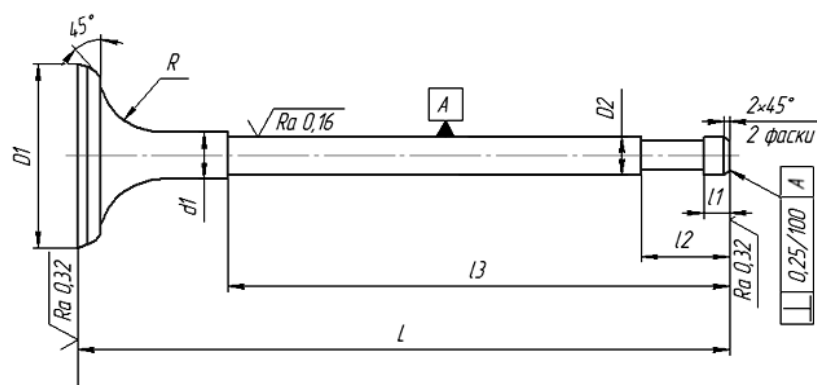


Рис.1 – Ескіз клапана ДВЗ

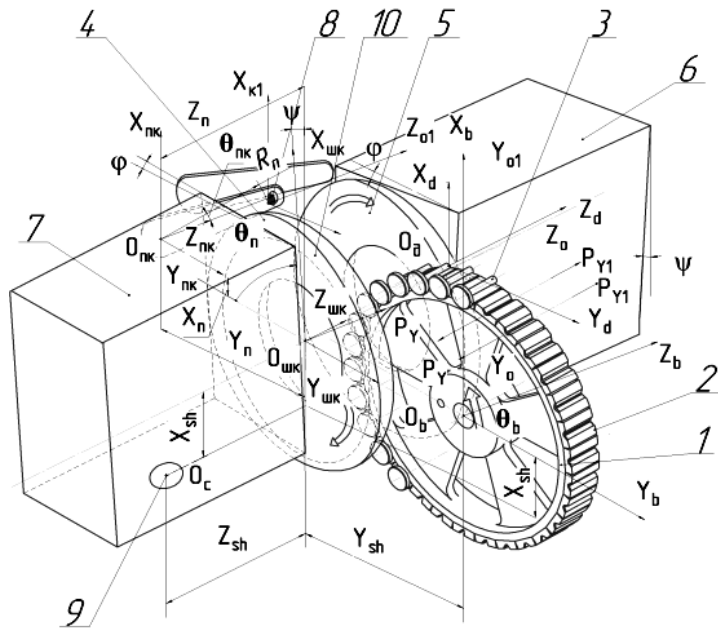


Рис. 2 – Схема формоутворення торців клапана ДВЗ

Для забезпечення найбільшої точності торців клапана ДВЗ формоутворення торця меншого діаметра виконується максимальним діаметром плоского торця одного круга, а формоутворення торця більшого діаметру – калібруючою ділянкою другого круга, довжина якої дорівнює діаметру більшого торця і заправлена алмазним олівцем, вісь якого переміщується по радіусу, який співпадає з радіусом розташування осей деталей в барабані подач.

Щоб отримати якісні характеристики деталі необхідно дотримуватися заданих вимог до шорсткості поверхонь, їх твердості, а також точності розмірів і форм.

Тарілчастий клапан виготовляють зі сталей X10CGM, 4X9C2 або 4X10C2M. Їх піддають загартуванню та відпуску до твердості HRC 32-40. Кінець стрижня на довжині 3-5 мм від торця має твердість не менше HRC 48. Для підвищення зносостійкості клапана його покривають шаром хрому товщиною 0,002-0,006 мм.

Обробка деталей, що мають дві робочі торцеві поверхні різного діаметру, на двосторонніх торцешліфувальних верстатах характеризується рядом особливостей, які обумовлюють її переваги в порівнянні з обробкою одним торцем інструмента.

Велика кількість абразивних зерен, що одночасно беруть участь у роботі, забезпечує повільний знос і високу стабільність форми шліфувального інструменту при досить значних швидкостях подачі оброблюваних деталей, тобто можливість створення високопродуктивного безперервного процесу. Основне зняття матеріалу відбувається у зоні периферії на високих швидкостях різання, а формування точності (виходження) – у середній зоні при менших колових швидкостях. Така «спеціалізація» зон шліфувального інструменту створює, по-перше, можливість роботи в режимі самозаточування, по-друге, отримання високої точності обробки при значному знятті матеріалу за один прохід.

Особливістю формоутворення при двосторонньому плоскому шліфуванні є те, що оброблювані торці деталей і є базуючими поверхнями.

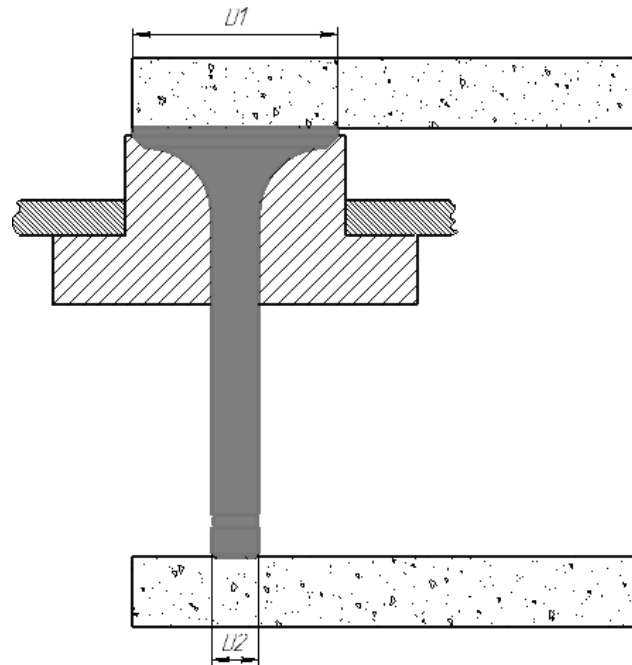


Рис. 3 – Схема шліфування торця клапана

Двостороннє торцеве шліфування деталей кругами з калібруючими ділянками забезпечує зняття припуску за один прохід. Шліфувальні круги орієнтують в залежності від припуску, що знімається, при цьому калібруючі ділянки не приймають участі у знятті чорнового припуску. Це підвищує точність та продуктивність обробки. Не досліджено вплив фіксації деталей на геометричну точність формоутворення деталей з торцями різного діаметру.

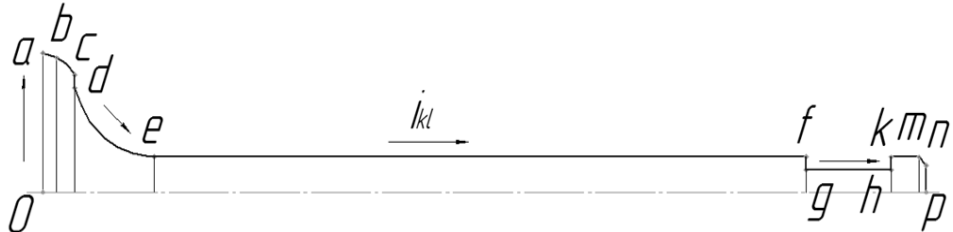


Рис. 4 – Профіль клапана ДВЗ

Профіль клапана ДВЗ, побудований за допомогою функції Хевісайда в програмі MathCAD, (рис. 5).

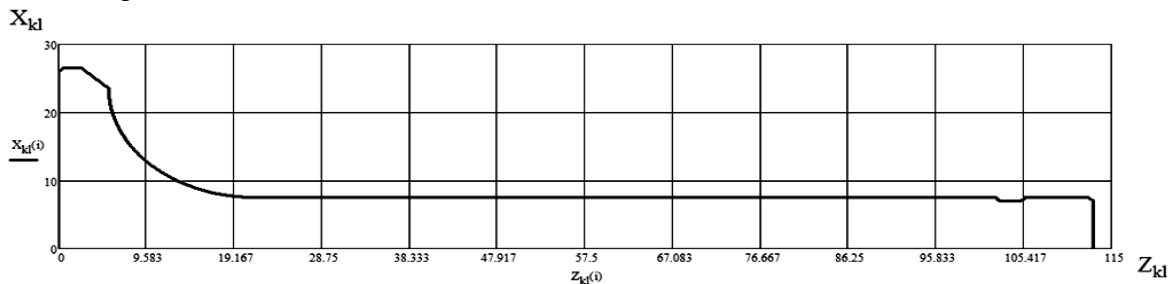


Рис. 5 – Профіль клапана ДВЗ, побудований за допомогою функції Хевісайда в програмі MathCAD

На рисунку 6 зображена 3D модель штовхача, побудована в програмі «MathCAD».

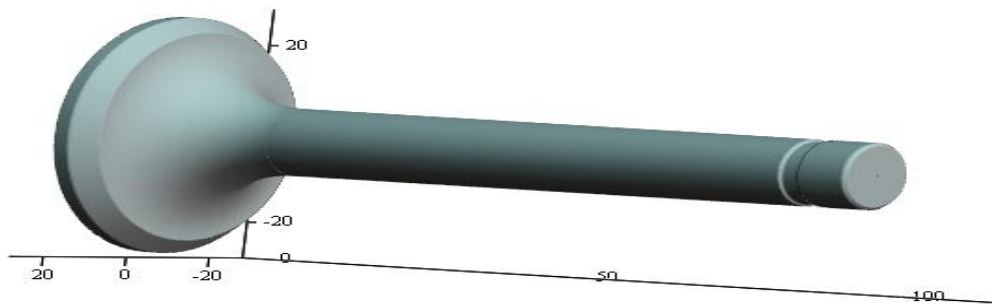


Рис. 6 – 3D модель штовхача, побудована в програмі MathCAD

#### Список посилань

1. Деклараційний патент 10636 Україна на винахід (корисну модель), МПК В24В5/04. Спосіб одночасного шліфування двох торців циліндричних деталей / Кальченко В.В., Жадан О.В.; заявник та патентовласник Кальченко В.В., Жадан О.В. – № u200505125 ; заявл. 30.05.05; опубл. 15.11.05, Бюл. №1.
2. Кальченко В.В. Дослідження процесу двостороннього шліфування циліндричних деталей з торцями різних діаметрів орієнтованими шліфувальними кругами / В.В. Кальченко, О.С. Следнікова, В.О. Винник, О.О. Литвин // Технічні науки та технології : науковий журнал / Чернігів. нац. технол. ун-т. – Чернігів : Чернігів. нац. технол. ун-т. – 2017. – № 2 (8). – С. 40-48.
3. Кальченко В.І. Дослідження процесу шліфування торців орієнтованих деталей профільованими кругами / В. І. Кальченко, В. В. Кальченко, О. С. Следнікова // Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. – Черкаси: ЧДТУ. – 2016. – №4(2016). – С.72-82.



УДК 621.835+621.8.028.3

Гриценко Д. С., канд. техн. наук

Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», dmytrogs@gmail.com

## ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ КУЛАЧКОВИХ МЕХАНІЗМІВ ПРИВОДУ У ТРАНСПОРТУВАЛЬНИХ ПРИСТРОЯХ

У більшості промислового обладнання, зокрема у поліграфічному обладнанні, необхідно постійно оброблювати різноманітні вироби у великій кількості. Для подачі таких виробів у зону обробки необхідно використовувати транспортувальні пристрої.

Транспортувальні пристрої можуть бути карусельного та конвеєрного типу. Перевагою конвеєрного типу над карусельним є збільшення кількості позицій для встановлення заготовок з незначним збільшенням габаритних розмірів. Особливістю таких транспортувальних пристроїв є необхідність постійного здійснення періодичного руху, під час вистою якого виконується обробка виробів. А також поверхня транспортувального пристрою, як правило, утримує заготовку. Отже, до таких транспортувальних пристроїв висуваються вимоги: 1) точність фіксації виробу у зоні обробки; 2) плавність періодичного ходу без різких пришвидшень і коливань; 3) забезпечення необхідного періоду руху до повного періодичного циклу за вимогами технологічного процесу [1]. Особливо це стосується поліграфічного обладнання, у якому під час вистою відбувається декоруння поверхні.

Періодичний рух транспортувальних пристроїв можна здійснювати за допомогою механізмів періодичного повороту, сервоприводів або крокових двигунів. При використанні сервоприводів виникає необхідність використання датчиків зворотного зв'язку, ускладнений блок управління, а також виникає потреба фіксації ведених мас під час гальмування. Споживання енергії кроковими двигунами однакове як у період роботи, так і у період холостого ходу, крім того, при перенавантаженнях та через їхню невисоку питому потужність втрачається контроль положення ведених ланок, що негативно впливає на точність позиціонування. Для зменшення динамічних навантажень у системі, які виникають під час пуску двигуна, доцільно використовувати механізми приводу з постійно працюючими двигунами. Перетворення неперервного обертального руху в періодичний обертальний рух, який описується диференціальними рівняннями, здійснюється за допомогою механізмів періодичного повороту. В результаті аналізу таких механізмів [2] було показано, що технологічному процесу тамподруку найбільш відповідають кулачкові механізми періодичного повороту, за допомогою яких забезпечується точність фіксації веденої ланки під час вистою по двох роликах і рівнорадіусній ділянці кулачка, можливість виконання будь-якого закону періодичного руху та забезпечується необхідне співвідношення періоду вистою до повного кінематичного циклу за вимогами технологічного процесу.

Транспортувальні пристрої можуть переміщувати значну ведену масу, що під час її розгону і зупинки створює надлишкові навантаження, які можна нівелювати за допомогою використання пружних ланок. Деякі конструкції кулачкових механізмів періодичного повороту містять такі конструктивні елементи [3].

### Список посилань

1. Шостачук Ю.О. Дослідження точності позиціонування транспортувальних пристроїв конвеєрного типу тамподрукарської машини ТДМ-300 / Ю.О. Шостачук, Д.С. Гриценко // Збірник наукових праць «Технологія і техніка друкарства». – К., 2011. – № 3(33). – С. 89-95.
2. Петрук А.І. Визначення раціональної структури механізмів періодичного повороту поліграфічних машин / А.І. Петрук, Д.С. Гриценко // Збірник наукових праць «Технологія і техніка друкарства». – К., 2007. – № 3-4. – С. 86-94.

3. Пат. 42592 України, МПК (2009) F 16 Н 25/00. Пристрій для періодичного обертального руху веденої ланки / А.І. Петрук, Д.С. Гриценко, К.Ю. Кривенко, В.В. Шебунін. – № u200901609; заявл. 24.02.2009; опубл. 10.07.2009, Бюл. №13. – 3 с

УДК 53.06:621.923:546.1

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

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

Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, [filatov@ism.kiev.ua](mailto:filatov@ism.kiev.ua)

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

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

## **ВПЛИВ РЕОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДИСПЕРСНИХ СИСТЕМ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ПОЛІРУВАННЯ ОПТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Продуктивність зняття оброблюваного матеріалу при поліруванні прецизійних поверхонь деталей оптичних систем і елементів електронної техніки в значній мірі залежить від реологічних властивостей полірувальної суспензії чи колоїдної системи полірувальних нанопорошків. У відповідності до кластерної моделі зняття оброблюваного матеріалу під час полірування [1] продуктивність полірування визначається концентрацією частинок шламу, що видаляються із оброблюваної поверхні під час обробки, яка є обернено пропорційною квадрату відстані між поверхнями оброблюваної деталі і притиру.

Розглядаючи гідродинамічну схему (рис. 1) контакту поверхонь притиру та оброблюваної деталі [1], можна визначити величину проміжку  $l$  між елементарними ділянками контактних поверхонь, яка визначається формулою:

$$l = \frac{1}{p_a} [\sigma (\cos \vartheta_1 + \cos \vartheta_2) - 2\eta U], \quad (1)$$

де:  $p_a$  – номінальний тиск притискання оброблюваної деталі до притиру;

$\sigma$  – коефіцієнт поверхневого натягу суспензії;

$\eta$  – динамічна в'язкість суспензії;

$U$  – відносна швидкість переміщення деталі і притиру;

$\vartheta_1, \vartheta_2$  – кути змочування суспензією відповідно поверхонь оброблюваної деталі та притиру.

В'язкість суспензії при різних концентраціях дисперсної фази визначалась за допомогою віскозиметра мод. ВЗ-246, густина – за допомогою «Density Meter DMA 35N», коефіцієнт поверхневого натягу – крапельним методом та за висотою підняття рідини к капілярі, кути змочування суспензією поверхонь оброблюваної деталі та притиру – за допомогою мікроскопу «Мир-12».

Залежність динамічної в'язкості суспензії від об'ємної долі дисперсної фази показує, що вона дещо відхиляється від рівняння Ейнштейна для колоїдних систем та описується

функцією, що має вигляд  $\left(\frac{\eta}{\eta_0}\right) = \alpha \exp(\beta\phi)$  (де  $\alpha = 0,94 \approx 1$ ;  $\beta = 6,1$  – коефіцієнти, що

визначені методом найменших квадратів, похибка апроксимації – 1 %). В досліджуваному діапазоні концентрацій дисперсної фази в'язкість суспензії складала (0,9 – 1,2) мПа·с, а густина відповідала діапазону від 1,06 до 1,08 г/см<sup>3</sup>. Коефіцієнт поверхневого натягу суспензії при оптимальній концентрації дисперсної фази складав близько 15 мН/м. Кут змочування поверхні притиру з пінополіуретану складав 47,3°, а кут змочування поверхні оптичного скла марки К8 – 28,3°.

При поліруванні плоских поверхонь оптичних деталей зі скла марки К8 діаметром 60 мм на верстаті мод. 2ШП-200М на притири з поліуретану діаметром 150 мм за

традиційною технологією при зусиллі притискання деталі до притиру – 70 Н, частоті обертання притиру – 90 об/хв., довжині штриху – 80 мм, середній температурі в зоні контакту інструмента та оброблюваної деталі 300 К, величина проміжку  $l$  між елементарними ділянками контактних поверхонь оброблюваної деталі і притиру складає близько 0,89 мкм. Виходячи з цієї величини і використовуючи методику розрахунку продуктивності полірування оптичних матеріалів за допомогою полірувальної суспензії [1], можна розрахувати наступні параметри і характеристики процесу утворення та видалення з оброблюваної поверхні частинок шламу. Енергія взаємодії микро- і наночастинок полірувального порошку з поверхнею, що полірується, характеризується сталою Ліфшиця – 72 меВ, параметр розподілу частинок шламу за площами поверхні (розподіл Пуассона) – 0,96, кількість молекулярних фрагментів в частинці шламу – 57, найбільш ймовірний розмір частинок шламу – 3,4 нм. Теоретично розрахована величина продуктивності полірування скла марки К8 за таких умов складає  $8,14 \cdot 10^{-13}$  м<sup>3</sup>/с і знаходиться у відповідності до експериментально визначеної величини  $8,80 \cdot 10^{-13}$  м<sup>3</sup>/с, яка відповідає величинам вагового зняття 8 мг/год. і лінійного зняття оброблюваного матеріалу 1,1 мкм/год. Відхилення результатів розрахунку від експериментальних даних складає близько 7%.

Аналіз впливу реологічних характеристик полірувальної суспензії на продуктивність полірування оптичних матеріалів на прикладі скла марки К8 показав, що при збільшенні концентрації дисперсної фази в'язкість суспензії незначно підвищується (приблизно на 10 – 20 %), що призводить до деякого зменшення величини проміжку  $l$  між елементарними ділянками контактуючих поверхонь. В той же час коефіцієнт поверхневого натягу суспензії суттєво (більше ніж 2 рази) зменшується, що призводить до зменшення величини  $l$  приблизно в 1,5 рази. При такому зменшенні проміжку між поверхнями притиру і оброблюваної поверхні ефективність їх взаємодії підвищується, внаслідок чого зростає продуктивність зняття оброблюваного матеріалу під час полірування. Експериментально показано, що при підвищенні концентрації дисперсної фази в полірувальній суспензії від 6 до 18 мас. % продуктивність полірування оптичних деталей зі скла марки К8 підвищується приблизно на 10 %.

Слід зауважити, що реологічні характеристики полірувальної суспензії практично не впливають на формування нанорельєфу обробленої поверхні, що знаходиться у повній відповідності до кластерної моделі зняття оброблюваного матеріалу під час полірування. Шорсткість обробленої за даних умов поверхні оптичної деталі зі скла марки К8 визначалась за модельними профілографами, що отримані за допомогою методу комп'ютерного моделювання [1]. Параметри шорсткості склали:  $Ra = 5,45 \pm 0,14$  нм,  $Rq = 5,73 \pm 0,15$  нм,  $Rmax = 8,61 \pm 0,81$  нм. При експериментальній оцінці шорсткості оброблених за даних умов поверхонь за допомогою безконтактного інтерференційного 3D профілографа «Micron-alpha» були отримані значення параметрів шорсткості, що незначно відрізняються від розрахункових значень (відхилення 2–8 %).

Таким чином, в результаті аналізу впливу реологічних властивостей дисперсійного середовища на продуктивність полірування оптичних матеріалів встановлено, що найбільш суттєво на інтенсивність видалення оброблюваного матеріалу з поверхні, що полірується, впливає коефіцієнт поверхневого натягу полірувальної суспензії, в той час коли коефіцієнт динамічної в'язкості практично не впливає на величину проміжку між контактуючими поверхнями притиру і оброблюваної деталі, що заповнений полірувальною суспензією.

#### Список посилань

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

УДК 621.771

Плеснецов Ю.А., канд. техн. наук, ст. науч. сотр.  
 Национальный технический университет «ХПИ», [plesnetsov@gmail.com](mailto:plesnetsov@gmail.com)

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ПЕРЕФОРМОВКИ ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ

В странах ЕС профильные трубы находят широкое и разнообразное применение, например, в машиностроении – для изготовления подъемно-транспортных механизмов, несущих рам транспортных средств, сельхозмашин и др., см. рис. 1, а.

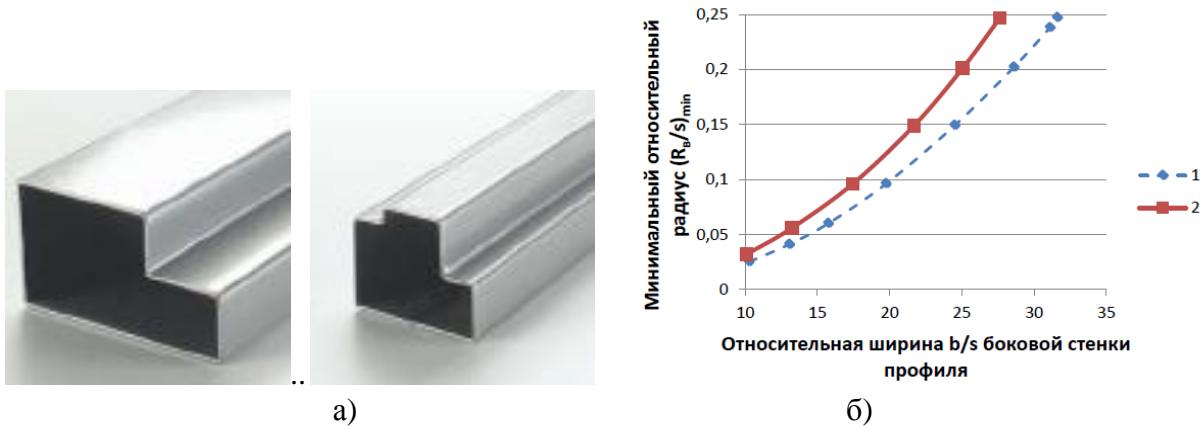


Рис. 1 – Сортамент профильных труб для машиностроения (а) и зависимость минимального допустимого относительного радиуса от относительной ширины боковой стенки трубы (б) из Ст. 3 (1) и 09Г2 (2) при  $\alpha_c=90^\circ$

В результате анализа способов изготовления профильных труб осадкой трубной заготовки [1-3] были получены формулы для определения внутреннего радиуса места изгиба  $R_b$  и критической силы  $P_{кр}$ :

$$\frac{R_b}{s} = \frac{\sigma_T}{4\sigma_{сж} (1 - \cos \alpha_c)}; \quad (1)$$

$$P_{кр} = \frac{\pi E s^3}{3b (1 - \mu^2)}, \quad (2)$$

где  $s$  – толщина заготовки;

$b$  – ширина боковой стенки;

$\alpha_c$  – суммарный угол боковой стенки;

$\sigma_T$  – предел текучести материала;

$\sigma_{сж}$  – сжимающее напряжение, приложенное к боковой стенке трубы;

$E$  – модуль упругости первого рода (для стали  $E=2 \cdot 10^5$  Н/мм<sup>2</sup>);

$\mu$  – коэффициент Пуассона (для стали  $\mu=0,3$ ).

Графики зависимости минимального возможного относительного внутреннего радиуса мест изгиба от соотношения  $\frac{b}{s}$  представлены на рис. 1, б. Из них графиков следует, что с увеличением относительной ширины боковой стенки и предела текучести относительный радиус увеличивается до предельного значения 0,25.

### Список ссылок

1. Плеснецов Ю.О. Аналіз сучасного стану виробництва гнутих профілів замкнутого перетину./ Плеснецов Ю.О., Забара О.С., Коворотний Т.Л., Любімов М.С. // Вестник Национального технического университета «ХПИ». Харьков, 2010. – вып. №43. – с. 146 – 157.

2. Гун Г.Я. Теоретические основы обработки металлов давлением (теория пластичности). / Г.Я. Гун – М.: Металлургия, 1980. – 456 с.
3. Колмогоров В.Л. Механика обработки металлов давлением. / В.Л. Колмогоров. – М.: Металлургия, 1986. – 686 с.

УДК 621.375.826:621

**Романенко В.В., канд. техн. наук, доцент**  
**Головко Л.Ф., докт. техн. наук, професор**  
**Блощин М.С., канд. техн. наук, доцент**

Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», romvvv@gmail.com

### **РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ДЛЯ ЛИВАРНОГО ВИГОТОВЛЕННЯ БІМЕТАЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОТВОРІВ ТА УТРИМУЮЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

В наш час важливе значення має отримання нових металів з особливими властивостями. До їх числа з цілковитою впевненістю можна віднести біметали - матеріали, що складаються з двох чи більше металів або сплавів. Біметалічний прокат дозволяє отримати таке поєднання властивостей, які неможливо отримати в окремо взятому металі або сплаві: високу міцність з корозійною стійкістю, ударну в'язкість із зносостійкістю, міцність з високою тепло- та електропровідністю та інші. Застосування біметалів дозволяє суттєво підвищити ефективність виробництва широкого класу деталей та обладнання для підприємств хімічної, нафтової, сільськогосподарської, енергетичної, транспортної та інших галузей машинобудівної промисловості.

Розроблено пристрій для отримання біметалів з метою забезпечення достатньо високого рівня міцності зчеплення пластин біметалу, щоб унеможливити відокремлення робочої пластини в процесі подальшого використання біметалевих виробів. Для реалізації запропонованого пристрою для ливарного виготовлення біметалів з використанням технологічних отворів та утримуючих елементів в пластині основи 1 завдяки попередній розмітці або використанню шаблонів виконують ступінчасті технологічні отвори 2 (рис.1, а). Діаметр вузької частини технологічного отвору повинен бути достатнім для вільного затікання рідкого металу по всій глибині цього отвору. Діаметр же ширшої частини отвору 2 повинен бути більшим вузької частини, наприклад, в 1,5 рази, а глибина ширшої частини може складати 30...50 % глибини технологічного отвору в залежності від товщини пластини основи.

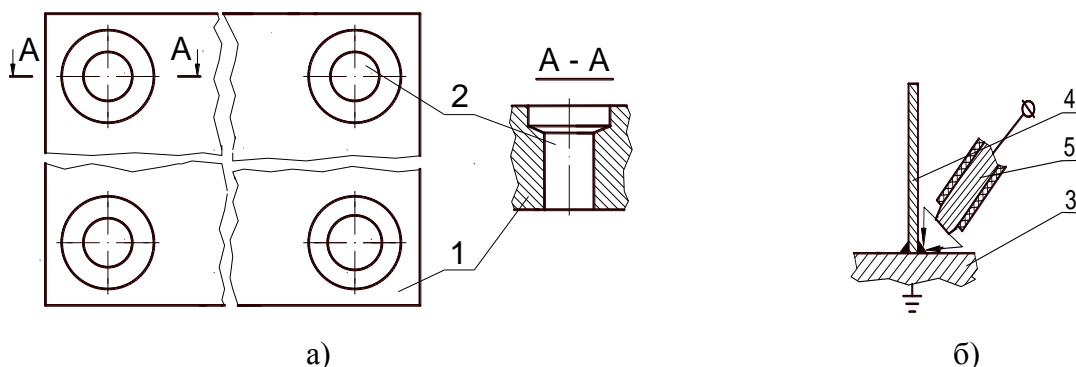


Рис. 1 – Виконання а) ступінчатих технологічних отворів в пластині основи та приєднання б) утримуючого елемента до робочої пластини за допомогою електродугового зварювання

Пластину основи кладуть на робочу пластину та маркують центри технологічних отворів на останній. Знімають пластину основи та до робочої пластини 3 в місцях маркування вертикально встановлюють та кріплять утримувачі 4, які можуть бути

виготовлені, наприклад, з дроту (див. рис. 1, б). Діаметр дроту вибирається з тих міркувань, що дріт не повинен повністю розплавлятися при заливці та подальшій кристалізації рідкого металу основи. При цьому допускається часткове підпалвлення цього елемента. Експериментальні дослідження показують, що дріт діаметром 1,5...4,0 мм (в залежності від товщини пластини основи) відповідає таким вимогам. По довжині ж утримуючі елементи можуть бути декілька довшими товщини пластини основи (для зручності їх подальшого згинання). Прикріплення утримуючого елемента 4 до поверхні робочої пластини 3 може бути виконане за допомогою, наприклад, електродугової зварки плавким електродом 5. Для цього нижні частини утримувачів надійно приварюються до поверхні робочої пластини 3. Режими зварювання підбирають такими, щоб внутрішня поверхня робочої пластини розплавлялась не більше, ніж на половину її товщини. Це необхідно, щоб протилежна (експлуатаційна) поверхня робочої пластини не псувалась. Можлива лише поява на ній кольорів мінливості.

Пластину основи 1 встановлюють на робочу пластину 3 ширшою частиною технологічного отвору 2 назовні так, щоб утримуючі елементи зайшли в технологічні отвори та тимчасово скріплюють пластини 1 та 3 між собою, наприклад, за допомогою струбцин (рис. 2, а). Для забезпечення неможливості виходу утримувачів з технологічних отворів після заливки, кристалізації та твердіння рідкого металу основи, до утримуючих елементів потрібно прикласти зусилля 6 для їх згинання в межах технологічних отворів 2 (рис. 2, б). Це можна здійснити, наприклад, за допомогою молотка. При цьому форма зігнутого утримувача не повинна заважати переміщенню рідкого металу основи по всьому об'єму технологічного отвору при заливці.

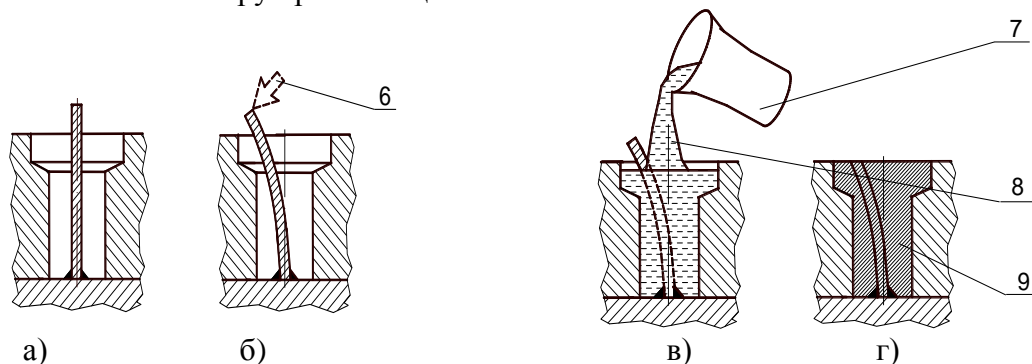


Рис. 2 – Встановлення а) пластини основи на робочу пластину, згинання б) кожного утримуючого елемента у межах технологічного отвору, заливка в) металу основи в кожний технологічний отвір та створення г) монолітної пластини основи після затвердіння залитого розплаву і зачищення цієї пластини

За допомогою засобу для заливки розплавленого металу 7 (наприклад, невеликого тигля) рідкий метал основи 8 заливають в кожний технологічний отвір 2 так, щоб цей метал заповнював отвір 2 врівень з поверхнею пластини основи 1 (рис. 2, в). Після кристалізації та затвердіння рідкого металу в кожному технологічному отворі отримують надійне з'єднання 9 пластин біметалу (рис. 2, г). Дійсно, приварені до робочої пластини та закристалізовані в пластині основи утримуючі елементи разом зі ступінчатою формою технологічних отворів забезпечують це. В кінці напливи металу в місцях технологічних отворів можна зачистити, наприклад, шліфувати шліфмашинкою.

Кількість потрібних утримуючих елементів визначається розмірами біметалу, що виготовляється. При цьому було встановлено, що утримувачі потрібно закріплювати на поверхні робочої пластини на відстані 50...100 мм один від одного.

Таким чином, пристрій для ливарного виготовлення біметалів з використанням технологічних отворів та утримуючих елементів істотно розширює можливості свого застосування в результаті забезпечення високого рівня міцності зчеплення шарів біметалу,

що гарантує низьку ймовірність відокремлення робочої пластини в процесі подальшого використання біметалів.

УДК 621.375.826:621

**Романенко В.В., канд. техн. наук, доцент**  
**Головко Л.Ф., докт. техн. наук, професор**  
**Блощин М.С., канд. техн. наук, доцент**

Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», romvvv@gmail.com

## **ВИГОТОВЛЕННЯ КОРОЗІЙНОСТІЙКИХ БІМЕТАЛІВ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ПОТУЖНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ**

Біметалом називається двошаровий чи багатошаровий матеріал, який складається з двох різних металів чи сплавів, міцно з'єднаних між собою по усій поверхні дотику, що представляє собою монолітне ціле. На теперішній момент біметал, як прогресивний вид матеріалу, знайшов застосування в найрізноманітніших галузях промисловості. Застосування біметалів поступово та безперервно збільшується. Відповідно до різних видів використання біметали виробляються в різноманітних видах: у вигляді листа, стрічки, смуги, пластинки, дротів, тросів, фасонних профілів та труб, тобто біметали випускаються майже в будь-якому вигляді, в якому виготовляються сталі і сплави широкого застосування. Переважна більшість виготовленого корозійностійкого біметалу припадає на біметали, які за основу мають вуглецеву або низьколеговану сталь, а в якості робочого шару – корозійностійкі сталі різного складу, мідні і нікелеві сплави, титан, срібло, алюміній та інші метали і сплави. При цьому вартість біметалу повинна бути нижчою вартості однорідного корозійностійкого матеріалу. Остання вимога іноді може не дотримуватись в тому випадку, якщо біметал має принципово нові умови експлуатації, які не можуть бути отримані з однорідного матеріалу.

Розроблено спосіб виготовлення корозійностійких біметалів електродуговим зварюванням з використанням технологічних отворів та утримуючих елементів. При реалізації цього способу в пластині основи завдяки попередній розмітці або використанню шаблонів в місцях подальшого з'єднання виконують технологічні отвори. Діаметр отвору підбирають декілька більшим діаметра утримуючого елемента так, щоб останній вільно заходив в отвір з урахуванням розширення, що виникає в нижній частині утримувача при його приварці до робочої пластини. Як правило, діаметр технологічного отвору виконують на 70...150% більшим діаметра утримуючого елемента. Кількість та спосіб розміщення отворів на пластині основи можуть бути обрані, виходячи із потреб міцності з'єднання пластин біметалу, і це можна визначити в результаті експериментів. Пластину основи кладуть на робочу пластину та маркують центри технологічних отворів на останній. Знімають пластину основи та до робочої пластини в місцях маркування вертикально встановлюють та приварюють утримувачі за допомогою електродугової зварки плавким електродом. Утримуючі елементи можуть бути виготовлені, наприклад, з дроту. Експериментальні дослідження показують, що дріт діаметром 1,5...4,0 мм (в залежності від товщини пластини основи) забезпечує надійне з'єднання пластин біметалу. При цьому нижні частини утримувачів надійно приварюються до поверхні робочої пластини. Режими зварювання підбирають такими, щоб внутрішня поверхня робочої пластини розплавлялась не більше, ніж на половину її товщини. Це необхідно, щоб протилежна (експлуатаційна) поверхня робочої пластини не псувалась. Можлива лише поява на ній кольорів мінливості.

В подальшому пластину основи 1 встановлюють на робочу пластину 3 так, щоб утримуючі елементи 4 зайшли в технологічні отвори 2 (Рис. 1, а) та тимчасово скріплюють пластини 1 та 3 між собою, наприклад, за допомогою струбцин. В проміжки

між стінками технологічних отворів 2 та утримувачами 4 розміщують куски 5 спеціально підбраного металу для створення жертвовного аноду (Рис. 1, б). Так як в якості пластини основи частіш за все використовується звичайна вуглецева сталь (наприклад, сталь 3, сталь 10 або 20), то для зменшення корозії основи в середину технологічного отвору в якості протектора можуть бути використані, наприклад, куски алюмінію, оскільки останній має достатньо широкий діапазон між температурою плавлення (~ 660 °С) та температурою кипіння (~ 2520 °С).

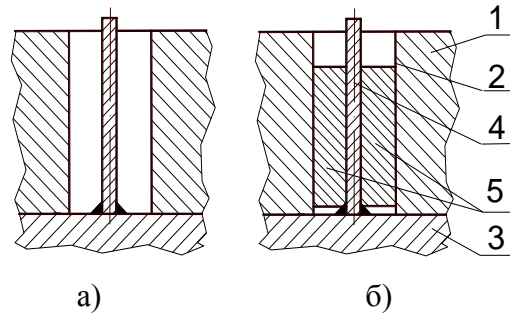


Рис. 1 – Встановлення а) пластини основи на робочу пластину так, щоб утримуючі елементи зайшли в технологічні отвори та розміщення б) шматків спеціально підбраного металу в технологічних отворах для подальшого створення жертвовного аноду

За допомогою плавкого електрода 6 приварюють верхню частину утримуючого елемента 4 до зовнішньої кромки технологічного отвору 2 зварним швом 7 (рис. 2, а). Враховуючи, що температура плавлення алюмінію (~ 660 °С) нижча температури плавлення сталі основи (~ 1500 °С), то за рахунок механізму теплопровідності куски алюмінію 5 поступово розплавляються та розтікаються всередині технологічного отвору, створюючи шар протектора 8. Після охолодження та кристалізації зварної ванни отримуємо зварний шов 9 між пластиною основи та утримувачем і жертвний анод 10 всередині технологічного отвору пластини основи (рис. 2, б). Загальна ж кількість таких з'єднань і забезпечить високий рівень міцності зчеплення пластин біметалу та високу корозійну стійкість біметалевого матеріалу. Виступаючі над поверхнею пластини 1 напливи металу зварного шва 9 усуваються, наприклад, зішліфовуються урівень із поверхнею пластини основи.

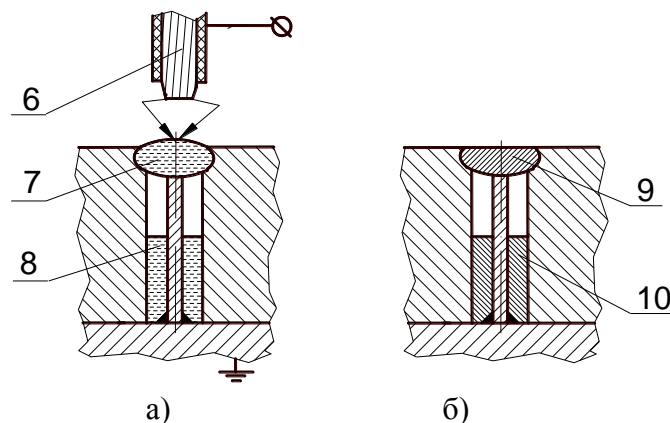


Рис. 2 – Приварювання а) утримуючого елемента до кромки технологічного отвору із зовнішньої сторони пластини основи та створення б) монолітного з'єднання між робочою пластиною, утримуючим елементом, жертвним анодом та пластиною основи

Таким чином, пропонується спосіб виготовлення корозійностійких біметалів істотно розширює можливості свого застосування за рахунок спрощення і здешевлення технології виготовлення біметалів, досягнення високого рівня міцності зчеплення пластин біметалу та забезпечення високої корозійної стійкості біметалевих матеріалів.



УДК 621.77

Козирев О.С.

Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», [akozyrev@ukr.net](mailto:akozyrev@ukr.net)

### ОПИС ГЕОМЕТРІЇ ЛАЗЕРНОГО ПРОМЕНЯ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ПРОЦЕСІВ ЛАЗЕРНОЇ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ

Розглянемо поширення сферичної хвилі з довільного резонатора. У цьому випадку напрямок вектора Пойнтінга буде співпадати з напрямком нормалі до еквіфазної поверхні в будь-якій точці цієї поверхні. Згідно [1] лазерний пучок з будь-яким початковим розподілом поля, розширюючись на достатньому видаленні від джерела кінцевих розмірів, набуває сферичність хвильового фронту за рахунок зростання геометричній компоненти сумарною розбіжність.

Вираз для радіуса пучка, згідно [2], для гауссової моди отримано для ідеального порожнього резонатора рішенням скалярного хвильового рівняння Гельмгольца [3] і враховує дифракційну складовою повної розбіжності:  $\Theta = \sqrt{\Theta_d^2 + \Theta_g^2}$ . Такого рішення недостатньо для повної характеристики випромінювання, що формується реальним непустим резонатором.

Для більш точного опису поширення випромінювання, що формується реальним оптичним резонатором, можна запропонувати наступний вираз [4]:

$$\omega(x) = \omega_0 \sqrt{1 + \left(\frac{x}{X_R}\right)^2},$$

де  $X_R$  – релеєвська довжина, яка залежить від довжини хвилі випромінювання і від модового складу.

Припустимо, що на підставі вимірів отримані розбіжність випромінювання і радіус променя на деякій відстані від площини перетяжки. Тоді:

$$\omega_0 = \frac{K}{\Theta} \quad X_R = \frac{\omega_0^2}{K}, \quad K = \frac{M^2 \lambda}{\pi},$$

де  $M$  – модовий множник.

Отже  $\omega(x) = \sqrt{\omega_0^2 + \Theta^2 X^2}$ . Напрямок вектора Пойнтінга буде збігатися з напрямком дотичної до  $\omega(x)$ , тобто  $\frac{d\omega(x)}{dx} = \frac{\Theta^2 X}{\sqrt{\omega_0^2 + \Theta^2 X^2}}$ .

Цей вираз буде описувати поширення енергії з точки з координатами  $(0, \omega_0)$  в двовимірній системі координат. Узагальнюючи для тривимірного випадку і з урахуванням малості кута розбіжності, отримуємо:

$$r(x) = \sqrt{r_1^2 + \frac{r_1^2 \Theta^2}{\omega_0^2} X^2} = \frac{r_1}{\omega_0} \sqrt{\omega_0^2 + \Theta^2 X^2} = \frac{r_1}{\omega_0} \omega(X)$$

За допомогою цього виразу можна отримати напрямок вектора Пойнтінга в будь-якій точці в перетині променя для будь-якої координати  $X$ . Крім того, з його допомогою можна знайти однозначну відповідність між інтенсивністю одиничного променя в будь-якій точці площини перетяжки і інтенсивністю в будь-якій точці в інших площинах перетину.

#### Список посилань

1. Ананьев Ю.А. Оптические резонаторы и лазерные пучки. / Ю.А. Ананьев – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. – 264 с.
2. Звелто О. Принципы лазеров: Пер. с англ. / Звелто О. – 3-е перераб. и доп. изд. – М.: Мир, 1990. – 560 с.

3. Мэйтлэнд А. Введение в физику лазеров. / Мэйтлэнд А., Данн М. – М.: Наука, 1978. – 408 с.  
 4. Schwarzenbach A.P. Recent Progress in Laser Processing. / A. P. Schwarzenbach, P. Ladrach // Proceedings of International Symposium for ElectroMachining, EPFL, Lausanne, Switzerland, 1995. – p. 801-808

УДК 621.77

Козирєв О.С.

Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», [akozyrev@ukr.net](mailto:akozyrev@ukr.net)

## ДИСКРЕТНИЙ ПІДХІД ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ПРОЦЕСІВ ЛАЗЕРНОЇ ОБРОБКИ

Для прогнозування результатів операцій лазерної обробки матеріалів використовують різні фізичні або статистичні моделі. Причому, всі вони мають ті чи інші недоліки, які знижують точність або обмежують можливість прогнозування. До таких недоліків слід віднести обмежений облік факторів, що значимо впливають на результати обробки (температурну залежність параметрів мішені, що змінюється в процесі взаємодії, форму лазерного променя, динаміку різних фаз матеріалу) у фізичних моделях, і обмеженість у застосуванні та високу трудомісткість при побудові статистичних моделей. З метою підвищення точності фізичного моделювання пропонується дискретизувати лазерний промінь і заготовку.

Розглянемо теплову дію лазерного променя на матеріал мішені. Для цього будемо використовувати явну інтерполяційну схему рішення задачі нагрівання. У цьому випадку використання змінного кроку сітки буде неекономічним [1]. Тоді вираз для температури з використанням центральної різницевої схеми апроксимації має вигляд (для простоти запису індекс  $s$  у правій частині опущено):

$$T_{i,j,k}^{s+1} = T_{i,j,k} + \frac{\lambda(T_{i,j,k})\Delta t}{c(T_{i,j,k})\rho(T_{i,j,k})} [T_{i-1,j,k} + T_{i+1,j,k} + T_{i,j-1,k} + T_{i,j+1,k} + T_{i,j,k-1} + T_{i,j,k+1} - 6T_{i,j,k}]$$

Наведений вираз дозволяє визначити температуру всередині тіла в поточний момент часу  $s$ , знаючи температуру в попередній момент часу  $s - 1$  у всіх внутрішніх точках тіла. Таким чином, для розрахунків за цією формулою необхідно знати температуру на границі тіла.

Для цього уявимо обсяг мішені, як сукупність елементарних об'ємів, які за формою представляють собою куб з ребром, рівним кроку сітки  $h$  і, відповідно, обсягом  $\Delta V = h^3$ . Якщо крок досить малий, можна вважати, що елементарний об'єм має такі властивості:

1. У всіх точках елементарного об'єму температура однакова в будь-який момент часу.
2. В елементарному обсязі всі теплофізичні характеристики матеріалу, які взагалі кажучи залежать від температури, однакові.
3. Між сусідніми елементарними об'ємами існує повний тепловий контакт.

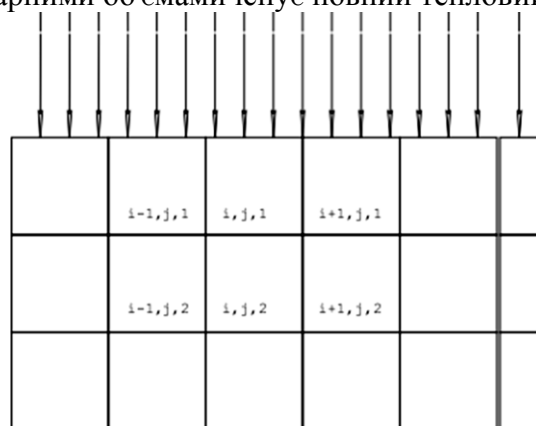


Рис. 1 – Матеріал мішені у вигляді елементарних об'ємів

Внаслідок малості часу впливу випромінення, з теплового балансу елементарного об'єму виключені конвективний і променевий теплообміни.

Для елементарних об'ємів, які розташовані на поверхні, баланс енергії має вигляд:

$$Q_A = Q_\lambda + Q_T,$$

де  $Q_A = \sum_{i=1}^n A_i(T)E_i$  – сумарна поглинена даним елементарним об'ємом енергія;  
 $n$  – число променів на поверхні.

$Q_\lambda$  – теплота, отримана або втрачена елементарним об'ємом за рахунок механізму теплопровідності

$Q_T$  – теплота, що залишилася в елементарному обсязі і яка призводить до підвищення температури.

В силу малості кроку за часом будемо вважати, що в результаті поглинання елементарним об'ємом кількості теплоти  $Q_A$  його температура миттєво збільшилася на величину  $\Delta T_A = \frac{Q_A}{\Delta V \rho c}$ . Кількість теплоти, що проходить за час  $\Delta t$  через площу  $h^2$ , буде  $\Delta Q = -\lambda \cdot \Delta T \cdot h^2 \cdot \Delta t$ , де  $\Delta T$  – різниця температур елементарних об'ємів, що взаємодіють.

Остаточно температуру елементарного об'єму, який належить поверхні можна визначити, як:

$$\Delta T = \frac{Q_\lambda}{\Delta V \rho c} = \frac{Q_A - Q_T}{\Delta V \rho c} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i(T)E_i - \sum_{i=1}^{N_n} \Delta Q_i}{\Delta V \rho c},$$

де  $N_n$  – число взаємодіючих (сусідніх) елементарних об'ємів, яке може лежати в діапазоні від одиниці (для ізолюваного об'єму) до п'яти (об'єм належить поверхні напівнескінченного тіла).

Прийнята різницева схема вважається придатною, а рішення стійким, якщо при зменшенні кроку по простору воно безперервно сходиться до точного рішення вихідного різницевого рівняння [2]. У відповідності з вимогою стійкості рішення рівняння теплопровідності різницеvim методом на крок за часом накладається обмеження  $Fo \leq 0.5$ , тобто  $\Delta t \leq \frac{h^2}{2a_{max}}$ , де  $a_{max}$  – максимальне значення температуропровідності для можливого діапазону температур [3].

Таким чином, алгоритм розрахунку температур на даному етапі, за відсутності фазових переходів, виглядає так:

- розрахунок кількості променів, що потрапляють на кожен розташований на поверхні елементарний об'єм;
- розрахунок миттєвого збільшення температури для поверхневих об'ємів;
- розрахунок зміни кількості теплоти в поверхневих елементарних об'ємах за рахунок механізму теплопровідності;
- розрахунок температури поверхневих елементарних об'ємів;
- розрахунок температур у внутрішніх елементарних об'ємах.

Коли температура елементарного об'єму досягає температури фазового переходу, в розрахунку температур необхідно враховувати теплоту фазового переходу. Найпростіше це можна зробити [1], з огляду на зміну об'ємної теплоємності при фазовому переході:

$$c(T)\rho(T) = c_v + L_m \delta(T - T^*)$$

#### Список посилань

1. Григорьянц А.Г. Основы лазерной обработки материалов. / А.Г. Григорьянц – М.: Машиностроение, 1989 – 304 с.
2. Беляев Н.М. Методы теории теплопроводности. / Н. М. Беляев, А. А. Рядно. – М.: Высшая школа, 1982 – 304 с.
3. Резников А.Н. Тепловые процессы в технологических системах. / А. Н. Резников, Л. А. Резников – М., Машиностроение, 1990 – 288с.

УДК 621.77

Романенко В.В., канд. техн. наук, доцент  
Козирєв О.С.

Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», [akozyrev@ukr.net](mailto:akozyrev@ukr.net)

## ТЕОРЕТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ГАЗОЛАЗЕРНОГО РІЗАННЯ МЕТАЛЕВИХ ЗАГОТОВОК ВЕЛИКОЇ ТОВЩИНИ

Газолазерне різання металевих матеріалів великої товщини являє собою складний технологічний процес, який супроводжується рядом додаткових обставин. Спосіб запропонований як альтернатива застосуванню імпульсно-періодичного лазерного випромінювання. На основі теоретичного аналізу процесу ГЛР сформульовані умови стаціонарного протікання процесу для забезпечення якісного різання.

Необхідно забезпечити, щоб технологічне переміщення товстої (до 15 мм) заготовки щодо лазерного випромінювання відбувалося з досить малою швидкістю, що забезпечує повне прорізання ( $\sim 0,5$  м / хв). При цьому необхідно підтримувати швидкість відносного руху лазерного променя і заготовки в оптимальному діапазоні (до 2,5 м / хв), щоб забезпечити необхідну високу якість різання [1]. Реалізацію подвійного переміщення лазерного променя щодо заготовки можна забезпечити за рахунок додаткового скануючого руху лазерного променя уздовж лінії руйнування в процесі різання на необхідних швидкостях. Амплітуда скануючого руху повинна бути більшою за діаметр сфокусованого лазерного випромінювання і розраховуватися з умови співвідношення швидкостей технологічного переміщення заготовки та скануючого руху лазерного променя [2].

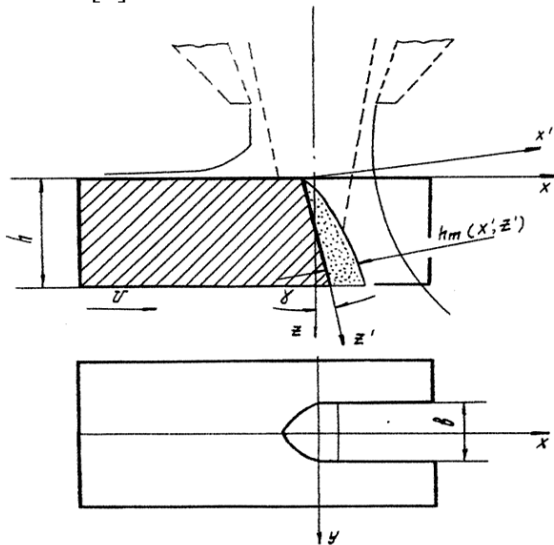


Рис. 1 – Схема газолазерного різання

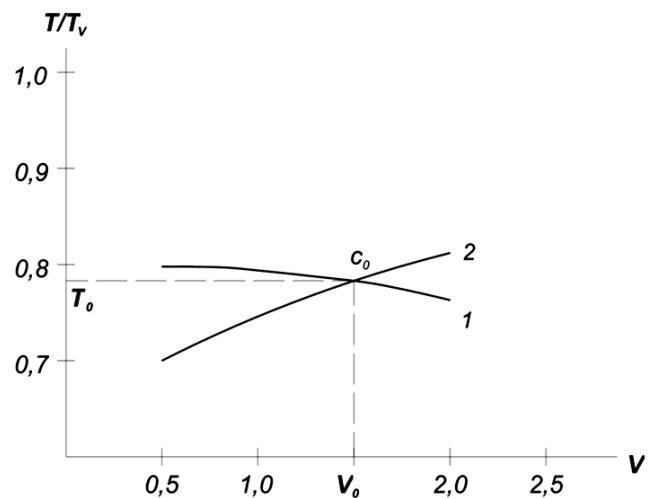


Рис. 2 – Залежність балансу енергії і маси від швидкості різання

Переміщення рідкого шару в напрямку обробки зі швидкістю  $V_0$ , яка визначається температурою фронту руйнування  $T_0$ , забезпечує стаціонарне перебіг процесу ГЛР. Роль різального інструменту виконує високотемпературний рідкий шар металу і його окислів, що знаходиться в постійній динамічній рівновазі (рис.1).

Стан рідкого шару в стаціонарному режимі характеризується чотирма невідомими: швидкістю, температурою, шириною і товщиною розплаву. Ширина різання може бути визначена як максимальне переміщення ізотерми  $T_0$  в напрямку  $OY$ . Вираз для товщини рідкого шару виходить шляхом вирішення системи гідродинамічних рівнянь, що описують стан рідкого шару в стаціонарному режимі. На рис. 2 представлені теоретичні

залежності параметрів ГЛР. Крива 1 на Рис.2 відповідає умові  $P_{\Sigma} = AP + P_{xim} - P_H - P_m - P_V = 0$ , крива 2 -  $M_{\Sigma} = M_m - M_n = 0$ . Точка "С" перетину кривих 1 і 2 визначає стаціонарний режим ГЛР, який, як впливає з подальшого аналізу, є оптимальним.

Залежно від способу сканування лазерного випромінювання можливо втілення різних механізмів руйнування в зоні різання. Так, є можливість реалізації схем пошарово-попутного і пошарово-зустрічного руйнування в зоні різання (рис. 3 і 4).

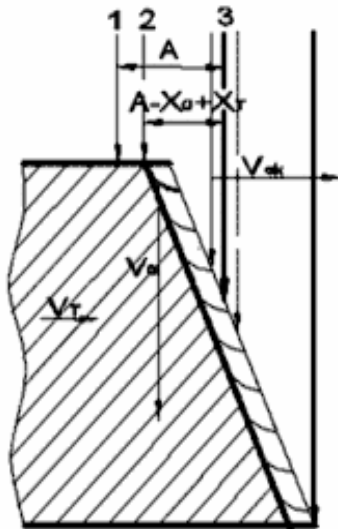


Рис. 3 – Схема пошарово-попутного руйнування

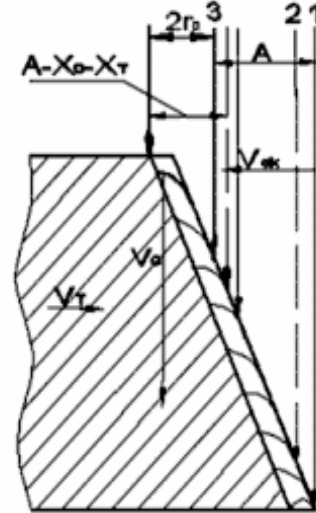


Рис. 4 – Схема пошарово-зустрічного руйнування

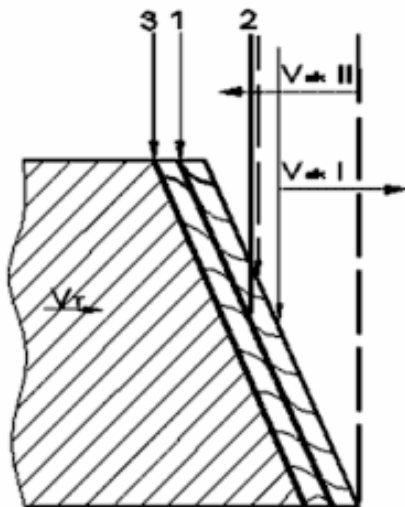


Рис. 5 – Схема зворотно-поступального сканування

У першому випадку (рис. 3) скануючий рух променя проводиться в напрямку, попутному напрямку технологічного руху заготовки. При цьому лазерне випромінювання також поступово переміщається з поверхні заготовки вглиб. В кінці сканування промінь стрибкоподібно перекладається в початкове положення (на поверхню матеріалу). У другому випадку (див. рис. 4) має місце зустрічний рух променя і заготовки з руйнуванням, спрямованим з глибини на поверхню заготовки, при стрибкоподібному переведення променя знову всередину матеріалу.

При зворотно-поступальному скануванні променя буде здійснюватися спосіб пилоподібного видалення матеріалу по лінії різі (рис. 5), коли при повільному технологічному переміщенні заготовки лазерний промінь періодично і з більш високою швидкістю переміщається вперед-назад, одночасно заглиблюючись всередину заготовки і повертаючись на її поверхню.

#### Список посилань

1. Коваленко В.С. Малоотходные процессы резки лучом лазера / В.С. Коваленко, В.В. Романенко, Л.М. Олещук. – Киев: Техника, 1987. – 112 с.
2. А.с. СССР № 1683254 В23к 26/00, 1991.

УДК 621.7.01

Олійник С.Ю., канд. техн. наук

Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, [dgma.tm.su.oleynik@gmail.com](mailto:dgma.tm.su.oleynik@gmail.com)

### ТЕХНОЛОГІЧНІ СХЕМИ ОБРОБКИ МАЛОЖОРСТКИХ СКЛАДНОПРОФІЛЬНИХ ДЕТАЛЕЙ НА ВЕРСТАТІ З МЕХАНІЗМОМ ПАРАЛЕЛЬНОЇ КІНЕМАТИКИ

Одним із перспективних шляхів сучасного виробництва є використання механізмів з паралельною структурою, які дозволяють реалізувати їх широкі функціональні можливості при виконанні геометрично складних поверхонь, обробці нежорстких деталей та реалізації технологічних процесів з різноманітною фізичною сутністю. Технологічні процеси на верстатах з паралельною структурою передбачають індивідуальну, найбільш ефективну схему формоутворення поверхні, синтез найвигіднішого способу обробки кожної поверхні в порівнянні з верстатами, що мають традиційну кінематику.

Складним технологічним завданням є виконання точності тонкостінних оболонкових деталей ракетного та авіаційного машинобудування. Основні технологічні проблеми обробки тонкостінних деталей та оболонок – це вплив на похибку обробки прогину заготовки під впливом сил різання та закріплення. Проблема ускладнюється тим, що жорсткість технологічної системи є нестабільною величиною. Через низьку жорсткість під впливом змінних факторів, що існують під час обробки виникають коливання різної природи. При обробці нежорстких деталей з важкооброблюваних матеріалів підвищується знос інструмента, що змінює величину складових сил різання та впливає на отриману якість поверхні. Схеми різання, при інших постійних умовах, визначають напрямок та величину сили різання, розподіл її складових у просторі [1]. Для варіантів обробки на обладнанні з класичною кінематичною структурою була досліджена зміна схеми різання шляхом зміни кута нахилу осі круга відносно осі деталі, використання схеми шліфування зі «схрещеними осями», яка дозволяє переорієнтувати нормальну складову сили різання паралельно осі деталі та усуває її вплив на формоутворення [2, 3].

Технології обробки зазначених деталей розроблені для верстатів з традиційною кінематикою, що обмежує їх подальший розвиток. Сучасне високотехнологічне обладнання, зокрема верстати з механізмом паралельної кінематики дають можливість впроваджувати більш ефективні схеми різання. Для деталей тонкостінних складнопрофільних оболонок було проведено аналіз можливих схем обробки для глибинного шліфування на верстатах з механізмами паралельної кінематики. Розраховані площадки контакту для схем обробки та проаналізовано вплив зміни площадки контакту деталі та круга на розподіл складових сил різання у просторі, а також прогин стінки деталі під час обробки.

#### Список посилань

1. Калафатова Л.П. Проектирование рациональной схемы шлифования на основе результатов компьютерного моделирования напряженно-деформированного состояния материала в зоне резания / Л.П. Калафатова // Резание и инструмент в технологических системах. - Харків: НТУ «ХП», 2000. - № 57. – С. 96–99.

2. Пат. 54942 Україна (UA), 54942 С2 7 В24В 19/00. Спосіб шліфування тіл обертання з прямолінійними і криволінійними твірними / Вяльцев М.В., Гусев В.В., Молчанов О.Д., Поколенко Д.В., Сірченко О.В.; заявник і патентовласник Донецьк. нац. техн. ун-т. – № 2002054348; заявл. 24.06.03; опубл. 17.01.05, Бюл. №1, 2005. – 6 с.

3. Кальченко В.В. Наукові основи ефективного шліфування зі схрещеними осями абразивного інструменту та оброблюваної деталі автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.03.01 / НТУ «ХП». – Харків, 2006. – 28 с.

УДК 621.9

Курин М.А., канд. техн. наук, доцент

Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный университет», [m.kurin@khai.edu](mailto:m.kurin@khai.edu)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАТЕРИАЛА СТРУЖКИ ПРИ ОБТЕКАНИИ ПЛАСТИНЫ В УСЛОВИЯХ НЕСВОБОДНОГО РЕЗАНИЯ

В современном машиностроении наибольшее распространение получили технологические схемы обработки, характеризующиеся сложной геометрией контакта режущей кромки с обрабатываемым материалом. При реализации такого осложненного процесса резания, получившего название несвободного, стружка формируется в результате съема металла несколькими режущими кромками или одной фасонной, образующей профиль поверхности одновременно всеми точками. Ключевым вопросом механики такого резания, отличающегося широким спектром схем реализации, является исследование процесса деформирования снимаемого слоя, который невозможно решить без наличия полноценной картины течения металла в зоне деформирования.

Любую режущую кромку можно разбить на составляющие прямые участки, зная поля скоростей перемещения металла, по которым с использованием принципа суперпозиции довольно легко получить интегральную картину обтекания стружкой лезвия инструмента. Из всего многообразия методов и схем лезвийной обработки в наиболее сложных условиях находится инструмент, обрабатывающий закрытые поверхности, окруженные с трех сторон металлом, такие как отверстия, канавки, пазы и т.д. По этой причине среди инструмента наибольшим нагрузкам подвержены сверла, отрезные и канавочные резцы, некоторые виды фрез. Анализ кинематики течения стружки при такой схеме обработки, наиболее подробно и точно охарактеризует несвободное резание. Уравнения поверхности, описывающей течение деформируемого металла, могут быть получены на базе разработанного нами ранее метода гипербол [1]. В принятой системе координат параметрические уравнения траекторий движения частиц при обтекании пластины примут следующий вид:

$$\begin{cases} x(\xi, \varphi) = a \cdot \operatorname{sh}(\zeta) \cos(\alpha) + a \sqrt{e^2 - 1} \cdot \operatorname{ch}(\zeta) \sin(\alpha) + x_1 \cos \pi/2 + \varphi ; \\ y(\xi, \varphi) = \left[ -a \cdot \operatorname{sh}(\zeta) \sin(\alpha) + a \sqrt{e^2 - 1} \cdot \operatorname{ch}(\zeta) \cos(\alpha) \right] \cos \varphi ; \\ z(\xi, \varphi) = B \sin(\varphi), \end{cases} \quad (1)$$

где  $\xi$  – параметр, представляющий собой удвоенную площадь криволинейного треугольника;

$\varphi$  – параметр поверхности вращения, угол, задающий текущее положение аппликаты;

$a$  – параметр гиперболы, большая полуось;

$e$  – эксцентриситет гиперболы;

$\alpha$  – угол поворота ( $\alpha = -\gamma/2$ ,  $\gamma$  – угол резания);

$x_1$  – параметр, определяющий угол (угол в плане) наклона пластины;

$B$  – полуширина лезвия пластины.

Получил дальнейшее развитие метод гипербол [1], на основе которого разработаны уравнения полей скоростей перемещений частиц металла, при обтекании пластины в условиях несвободного резания. Отличительной особенностью полученных уравнений является наличие третьей независимой переменной, что позволяет проводить исследования деформированного состояния срезаемого слоя в пространстве.

Результаты исследования могут быть использованы для построения картины течения металла и анализа деформированного состояния срезаемого слоя при различных схемах и видах несвободного резания, например, для случая использования сложнопрофильного инструмента, путем разбиения фасонной режущей кромки на составные части.

#### Список ссылок

1. Kurin, M. O. Machining / M. O. Kurin // Metallofizika i Noveishie Tekhnologii. – Volume 39, Issue 3. – 2017. – P. 401– 424.

УДК 621.941-229.3:531.133

Шелковий О.М., докт. техн. наук, професор

Набока О.В., канд. техн. наук, професор

Національний технічний університет «ХПІ», [namirauza@gmail.com](mailto:namirauza@gmail.com)

### ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕХАНО-СКЛАДАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

Актуальною проблемою сучасного машинобудівного виробництва є питання удосконалення процесів складання і механічної обробки.

Це стає можливим за рахунок створення виробничих процесів виготовлення складних виробів без додаткових витрат пов'язаних з підгонкою складальних одиниць у виробі. Наявність прямих і зворотних інформаційних зв'язків між металорізальним, контрольно-вимірвальним та складальним процесами забезпечує гарантію якості складання виробу при мінімальному терміні виробничого циклу.

Для реалізації цього паралельно з формоутворенням деталей реалізується імітаційне моделювання процесу складання виробу, в якому можуть бути присутніми як реальні розміри вже виготовлених деталей, так і віртуальні розміри поверхонь деталей які належить створити (рис.1).



Рис. 1 – Площини що сполучаються в імітаційній моделі

**Висновки:** складання високоточних виробів без підгонки та селективного відбору стає можливим завдяки імітаційному моделюванню механоскладального виробництва, що забезпечує контроль характеру взаємодії між базовими деталями та коригування реальних розмірів деталей при їх обробці.

#### Список посилань

1. Кравченко Л.С. Розмірний аналіз при проектуванні, виготовленні й складанні [Текст]: навч. посібник [для студ. вищ. навч. закл.] /Л.С. Кравченко. – Харків: НТУ «ХПІ», 2009. – 356с.

2. Шелковой А. Имитационное моделирование в задачах механосборочного производства / Шелковой А., Клочко А., Набока Е. – Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. – 528 с.



УДК 621.7

Чухліб В.Л., докт. техн. наук

Дуванський О.М., магістрант

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,

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

Біба М.В., канд. техн. наук

Micas Simulation Ltd, Oxford, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland

## МОДЕЛЮВАННЯ КУВАННЯ ПОКОВОК З ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ

Титанові сплави мають високі показники механічних властивостей, що веде за собою необхідність використання спеціальних режимів деформації. З огляду на дану проблему, а також на те, що дані сплави мають високу вартість, проблема розробки спеціальних режимів деформації, які будуть раціональними для даної поковки та сплаву, є актуальною. Для покращення якості поковок та зменшення кількості браку за допомогою аналізу напружено-деформованого стану можливо вибрати раціональну схему деформування.

В роботі розглянуті існуючі титанові сплави, а також описано програмний пакет QForm- програмний комплекс для моделювання та оптимізації процесів обробки металів тиском. Програма QForm заснована на методі скінчених елементів (ядро системи). При підготовці вихідних даних користувач оперує виключно технологічними поняттями і спілкується з системою на звичному мовою конструктора-технолога. QForm забезпечує автоматичне формування розрахункових моделей (розбиття на кінцеві елементи), що дозволяє забезпечити високу точність розрахунку, незалежну від кваліфікації користувачів. Передбачається виникнення різних деформаційних дефектів. Заготовка розглядається як жорстко-пластичне тіло, що деформується в неізотермічних умовах. Опір деформації матеріалу заготовки залежить від деформації, температури і швидкості деформації.

Було виконане моделювання 2 способів протягування у вирізних бойках – поздовжнє та по колу. Для кожного способу було зроблено аналіз розподілу температур, деформації та інтенсивності напружень в 4 розрізах для кожного зі способів. Початкова заготовка – зливки з довжиною 1450 мм та діаметром 400 мм. Початкова температура заготовки – 1150<sup>0</sup>С, кінцева – 850<sup>0</sup>С. Бойки вирізні з кутом вирізу 120<sup>0</sup>. Також при першому способі протягування довелося повторно підігрівати заготовку, так як її температура за час деформування впала нижче 850<sup>0</sup>С.

На поверхневих шарах заготовка зазнала значної деформації. Інтенсивність напружень також зазнала змін лише в при поверхневих шарах заготовки. Значною мірою деформація вплинула лише на поверхневі шари заготовки і незначною – в середині. Інтенсивність напружень зазнала змін на поверхні заготовки.

Пластична деформація проникла не глибше 20% від діаметру заготовки. Інтенсивність напружень зазнала змін більшою мірою на поверхні заготовки.

За допомогою програмного пакету QForm зроблено аналіз розподілу деформацій, температур та напружень за різними схемами кування титанового сплаву ВТ-20 на гідравлічному ковальському пресі. Протягування за другим способом з розглянутих є більш доцільним, оскільки в першому випадку довелося повторно підігрівати заготовку, а також при протягуванні другим способом заготовка має кращі механічні властивості готової поковки, про що свідчать результати роботи. Розроблено технологічний процес протягування циліндричної заготовки зі сплаву ВТ20 та з'ясовано обладнання для даної операції та вибрано прес з раціональною деформуючою силою на підприємстві ТОВ «Дніпропрес Сталь».

УДК 681.3(7)

**Банзак О.В., докт. техн. наук, доцент**

**Банзак Г.В., канд. технич. наук**

Одесская государственная академия технического регулирования и качества,

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

## **ИМИТАЦИОННАЯ СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Техническое обслуживание (ТО) является необходимой составляющей процесса эксплуатации сложного технического объекта, предназначенного для длительной эксплуатации. Определение и оптимизация параметров системы ТО возможны только на основе применения математических моделей процессов ТО. Такие модели должны применяться в процессе проектирования на всех этапах по мере уточнения состава, структуры и конструкции объекта.

Разрабатываемая имитационная статистическая модель (ИСМ) предназначена для получения оценок показателей надежности и стоимости эксплуатации машиностроительного оборудования с учетом его состава, структуры, характеристик надежности и с учетом проведения ТО. В модели должен воспроизводиться (имитироваться) процесс технической эксплуатации, который формально описывается графом состояний и переходов.

Контроль работоспособности горного оборудования осуществляется непрерывно. Производится диагностический контроль, в результате которого определяется техническое состояние элементов объекта. В зависимости от результата этого контроля проводится или не проводится ТО.

ИСМ разработана на основе метода имитационного статистического моделирования, использующего понятие “календаря событий”. Суть понятия календаря событий и механизма его применения состоит в следующем. В оперативной памяти (ОП) ПК создается массив (представляющий календарь событий), в который записываются значения запланированных моментов времени всех моделируемых событий.

В процессе моделирования периодически осуществляется “просмотр” всех элементов массива, и определение наименьшего из запланированных моментов времени. Найденное минимальное значение принимается в качестве текущего модельного времени, а соответствующее ему событие – в качестве текущего события. Затем производится “обработка” текущего события, которая заключается в имитации действий, составляющих суть этого события.

В модели имитируются (и обрабатываются) три типа событий: «отказ» (переход  $0 \rightarrow 1$ ), «контроль» (переход  $0 \rightarrow 2$ ) и «ТО» (переход  $0 \rightarrow 3$ ). После обработки каждого события производится планирование времени следующего наступления события соответствующего типа. Если текущее событие «отказ», то генерируется случайная наработка этого же (отказавшего) элемента до следующего отказа. Если текущее событие «контроль» («ТО»), планируется время следующего соответствующего события. Полученные новые значения запланированного времени записываются в календаре событий вместо их прежних значений. Описанный процесс анализа и модификации календаря событий повторяется циклически в течение всего времени моделирования.

Для верификации модели производится моделирование для условий, при которых можно рассчитать точное значение выходных показателей модели. Затем путем сравнения полученных результатов моделирования с точными расчетными показателями оценивается правильность реализации алгоритмов моделирования.

Будем использовать известное теоретическое положение, заключающееся в том, что

установившееся значение параметра потока отказов восстанавливаемого элемента равно средней наработке до отказа этого элемента:

$$\omega^{уст} = \lim_{t \rightarrow \infty} \omega(t) = 1/T_{cp},$$

где  $\omega(t)$  – функция параметра потока отказов;

$\omega^{уст}$  – установившееся значение параметра потока отказов;

$T_{cp}$  – средняя наработка до отказа восстанавливаемого элемента.

С учетом этого для восстанавливаемого элемента должно выполняться следующее условие:

$$\omega^{уст} = 1/T_{cp}. \quad (1)$$

Для верификации модели создадим БД для объекта, состоящего из единственного элемента (назовем этот объект Test-0). Для элемента этого объекта в БД введем такие значения параметров:  $\mu=10000$  ч;  $\nu=1$ .

В ИСМ вычисляется оценка функции параметра потока отказов следующим образом. Заданный интервал эксплуатации  $[0, T_3]$  разбивается на  $m$  одинаковых интервалов времени (наработки)  $\Delta t = \Delta t_i = (t_i - t_{i-1})$ , где  $t_i = i \cdot \Delta t$  ( $i = \overline{1, m}$ ). В процессе моделирования накапливается статистика для определения величины  $\tilde{n}_i$  среднего числа отказов, произошедших в интервале  $\Delta t_i$ . По полученным статистическим данным вычисляется оценка параметра потока отказов согласно выражению:

$$\tilde{\omega}(t_i) = \tilde{n}_i / \Delta t_i. \quad (2)$$

На рис. 1 приведен график функции  $\tilde{\omega}(t_i)$  для объекта Test-0, полученный для случая  $T_3 = 20$  лет и  $\Delta t = 3$  мес.

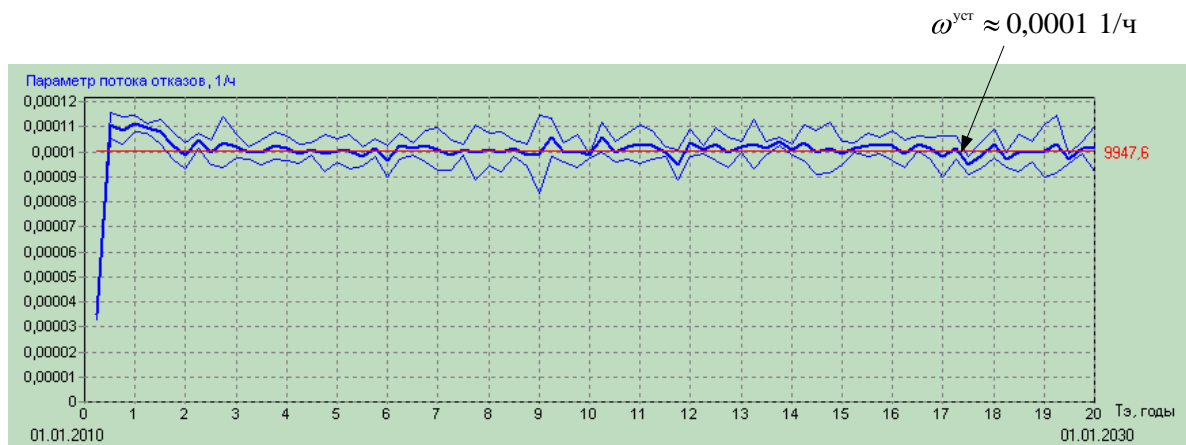


Рис. 1 – График функции  $\tilde{\omega}(t_i)$  для объекта Test-0

По графику хорошо видно, что установившееся значение параметра потока отказов  $\omega^{уст} \approx 1/T_{cp} = 0,0001$  1/ч. Это может служить доказательством правильности алгоритмов ИСМ и ее программной реализации в части, касающейся моделирования процесса отказов-восстановлений.

Таким образом, в данной работе разработана ИСМ, предназначенная для прогнозирования показателей надежности и стоимости эксплуатации сложного технического горного оборудования, зависящих от параметров выбранной стратегии ТО. В ИСМ реализованы алгоритмы имитации процессов ТО для трех вариантов стратегий

технического обслуживания: техническое обслуживание «по состоянию» (ТОС) с постоянной периодичностью контроля; ТОС с адаптивно изменяющейся периодичностью контроля; регламентированного ТО.

УДК 621.763-233.3

Некрасов С. С., канд. техн. наук, доцент  
Довгополов А. Ю., аспірант  
Сумський державний університет, d\_a\_y\_@ukr.net

### ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІЦНОСТІ РОЗ'ЄМНОГО ГВИНТОВОГО З'ЄДНАННЯ, ФОРМОУТВОРЕНОГО В АРМОВАНОМУ КОМПОЗИЦІЙНОУ МАТЕРІАЛІ

На сьогодні композиційні матеріали широко використовують у технологічно передових галузях виробництва, таких як авіаційна, морська й автомобільна промисловість, для яких знижена вага забезпечує високі динамічні характеристики і низьку витрату палива. Складність структур у зазначених сферах виробництва, вимагає великої кількості з'єднань. Здебільшого приєднання деталей виготовлених з армованих композиційних матеріалів (АКМ), реалізують шляхом склеювання або зварювання їх одна з одною для створення нероз'ємного з'єднання. Саме тому більшість досліджень проводять для визначення міцності класичних нероз'ємних з'єднань деталей з АКМ, таких як болтові, заклепкові, клейові.

У випадку з гвинтовими з'єднаннями даних АКМ, все набагато складніше, оскільки дані композити мають анізотропні властивості, то класичні різьби такі як метрична, дюймова не задовольняють показники міцності для даних з'єднань, оскільки завдяки наявності гострих концентраторів напруг, вони не витримують необхідного навантаження [1].

Авторами дана проблема була вирішена, наступним чином, оскільки не допускається гострих концентраторів напруг, була виготовлена кругла різьба з великим кроком. Профіль даної різьби із зазначенням параметрів різьби представлений на рисунку 1а.

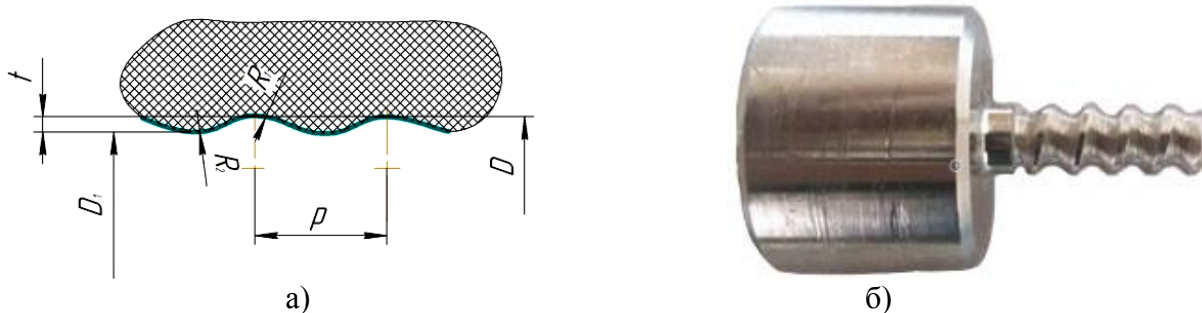


Рис. 1 – Профіль різьби із зазначенням параметрів а) та фото металевої вставки б)

Для перевірки міцності запропонованого роз'ємного з'єднання були виготовлені металеві вставки (рисунок 1б) з круглою різьбою, в яких змінювалися основні параметри круглої різьби такі як:  $p$  – крок різьби,  $t$  – глибина профілю різьби, межі варіювання даними параметрами представлені в таблиці 1

Таблиця 1 – Параметри що змінювалися в ході експерименту

Параметри що змінювалися	Позначення	Межі варіювання
Глибина профілю різьби	$t$	0.5 – 1.0
Крок різьби	$p$	1.0 – 4.0

Внутрішня кругла різьба була виготовлена в склопластиковій пластині армованій в двох взаємно перпендикулярних напрямках схема армування представлена на рисунку 2а, а фото самої пластини на рисунку 2б. Матеріал з якого було виготовлено зазначену пластину це склотканина(розміри решітки 0,5 - 0,5 мм) товщина 0,2 мм та епоксидна смола ЕРОХУ-520, розміри платини 190x107x16 мм

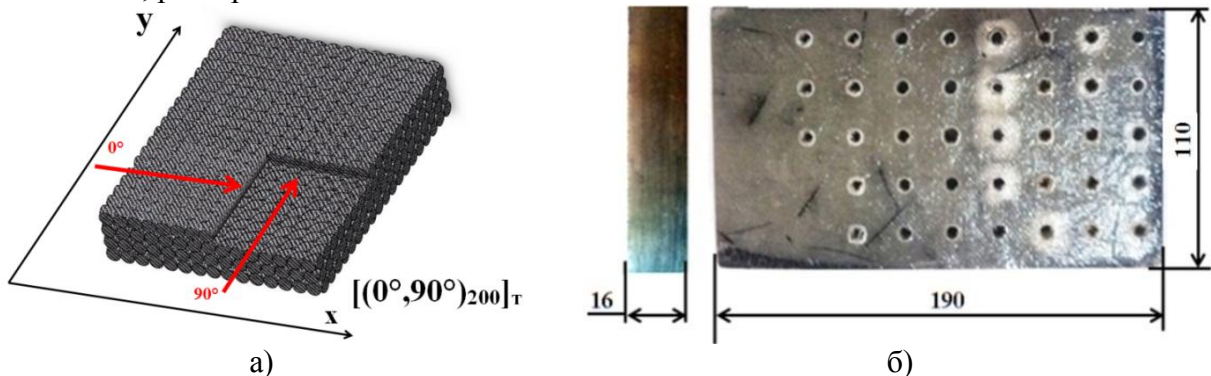


Рис. 2 – Склопластикова пластина з отворами із круглою внутрішньою різьбою, схема армування пластини а) фото пластини б).

Кругла внутрішня різьба формувалася в 5 отворах для кожного випадку з ідентичними основними параметрами. Перед нарізанням гвинтової поверхні, в пластині було просвердлено 40 отворів діаметром 5 мм, під формоутворення запропонованої поверхні. Після виконання внутрішньої гвинтової поверхні металева вставка, для кожного конкретного випадку закручувалася в отвір з відповідною різьбою в пластині.

Далі проводилося експериментальне випробування даного роз'ємного гвинтового з'єднання з круглою різьбою на міцність. Дослідження проводилися з використанням універсальної розривної машини Р20.

Таблиця 2 – Параметри та отримані значення сили для кожного випадку

№	t	p	F <sub>1</sub> ,кН	F <sub>2</sub> ,кН	F <sub>3</sub> ,кН	F <sub>4</sub> ,кН	F <sub>5</sub> ,кН	F <sub>ср</sub> ,кН
1	1	4	14,4	14	13,5	13,5	13,7	13,82
2	1	1	13	12	11,7	12	13	12,34
3	0.5	4	9,2	9	11	10,4	10,2	9,96
4	0.5	1	12,2	12,5	12,6	12,2	8	11,5
5	0,75	2,5	15	14,6	13	12,4	13,7	13,74

Проведене дослідження показує, що запропоноване роз'ємне з'єднання для армованих композиційних матеріалів, за показниками міцності значно перевищує звичайне гвинтове з'єднання з метричною різьбою в даному матеріалі. А показники міцності запропонованого з'єднання прямують до значень метричного гвинтового з'єднання виконаного в металі, міцність металевого з'єднання сягає 19,2 кН. А отже можна зробити висновок що представлене гвинтове з'єднання можна використовувати для сполучення армованих композиційних матеріалів.

#### Список посилань

1. Довгополов А. Ю. Технологія обробки гвинтової поверхні роз'ємного з'єднання в деталях з армованих композиційних матеріалів /А. Ю. Довгополов, С. С. Некрасов // Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ" : зб. наук. пр. Сер. : Нові рішення в сучасних технологіях = Bulletin of National Technical University "KhPI" : coll. of sci. papers. Ser. : New solutions in modern technologies. – Харків : НТУ "ХПІ", 2016. – № 42 (1214). – С. 38-42.

УДК 621.7.029

Лоза Т.В. інженер

Курін М.О., канд. техн. наук, доцент

Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний університет», [t.loza@khai.edu](mailto:t.loza@khai.edu)

## ВИЗНАЧЕННЯ КІНЕТИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ТВЕРДОЇ ЧАСТИНКИ В ПОТОЦІ ГАЗУ ПРИ ДЕТОНАЦІЙНОМУ ОБРОБЛЕННІ

Попередня струменево-абразивне оброблення деталей, особливо таких, що мають складну просторову форму, як метод очищення і активації поверхні перед нанесенням покриття є невід'ємною частиною технологічного процесу детонаційного напилення. Одним з найважливіших критеріїв ефективності, що характеризує будь-який технологічний процес, в основі якого лежить контакт високошвидкісної частинки з підкладкою, є кінетична енергія частинки. Деформаційне зміцнення поверхні, яке досягається за рахунок кінетичної енергії потоку частинок, призводить до підвищення утомної міцності, зносостійкості, контактної витривалості і корозійної стійкості. Глибина і ступінь наклепу визначаються взаємодією частинки з оброблюваною поверхнею і залежать від режимів обробки, а також фізико-механічних властивостей матеріалу оброблюваної деталі. У зв'язку з цим, в якості цільової функції, по якій слід проводити оптимізацію процесу, необхідно вибрати кінетичну енергію частинки на виході з сопла, а в якості параметрів оптимізації - характерний розмір частинки і лінійну швидкість витікання газу з сопла.

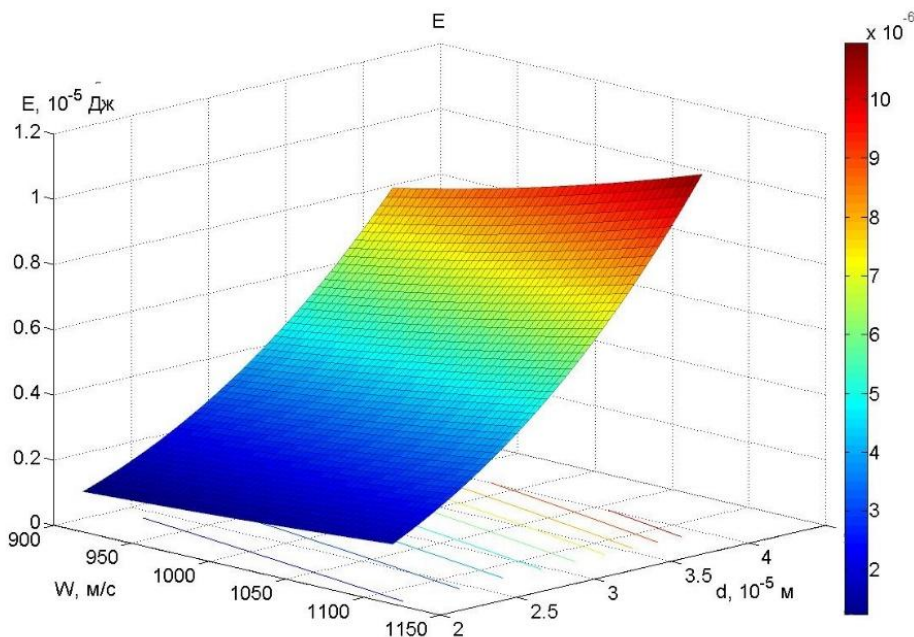


Рис. 1. – Залежність кінетичної енергії частинки від швидкості витікання газу з сопла і діаметра частинки

На рис. 1 представлено залежність енергії частинки на виході з сопла від швидкості витікання газу і діаметра частинки, яка побудована по співвідношенням, що представлені нами в роботі [1]. Дійсно, зі збільшенням швидкості витікання потоку і діаметра частинки зростає кінетична енергія.

### Список посилань:

1. Долматов, А.І. Кінематика твердої частинки, що розганяється потоком газу в надзвуковому соплі, та деформаційне зміцнення обробленої поверхні [Текст] / А. І. Долматов, С. В. Сергєєв, М.

О. Курін, В. В. Воронько, Т. В. Лоза // Металофізика та новітні технології. – 2015. – Т. 37, Вип. 7. DOI: <https://doi.org/10.15407/mfint.37.07.0871>.

УДК 621.941

Зигуля С. М., канд. техн. наук, доцент

Національний технічний університет України «КПІ ім. І. Сікорського», [seregasm@ukr.net](mailto:seregasm@ukr.net)

## АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ДЕТАЛЕЙ ПОЛІГРАФІЧНИХ МАШИН

Одним із сучасних напрямів підвищення надійності та довговічності машин є отримання заданих властивостей поверхонь деталей на фінішних операціях, зокрема методами поверхневого зміцнення.

Розв'язання подібних завдань, ґрунтуються на процесах обробки поверхонь металевих деталей (у тому числі – їх зміцненні). До них належать: фізичні, хімічні, хіміко-термічні, фізико-хімічні, термічні та інші методи [1]. Проте, використання кожного з методів має певні обмеження в умовах поліграфічного виробництва, більш того – їх використання має відбуватися з урахуванням специфіки процесів друкування та післядрукарської обробки поліграфічної продукції.

Зміцнення деталей ППД знайшло застосування для різноманітних поверхонь – як внутрішніх, так і зовнішніх: плоских, циліндричних, конусних, сферичних, фасонних, зубчастих. Одним з найпоширеніших у поліграфічному машинобудуванні є методи поверхнево-пластичного деформування (ППД).

На рис. 1. представлено класифікацію ППД залежно від призначення методу.



Рис. 1 – Класифікація ППД залежно від призначення методу

На рис. 2. подано узагальнену класифікацію статичних методів ППД.



Рис. 2 – Узагальнена класифікація статичних методів ППД

На рис. 3. наведено класифікацію ударних методів ППД.

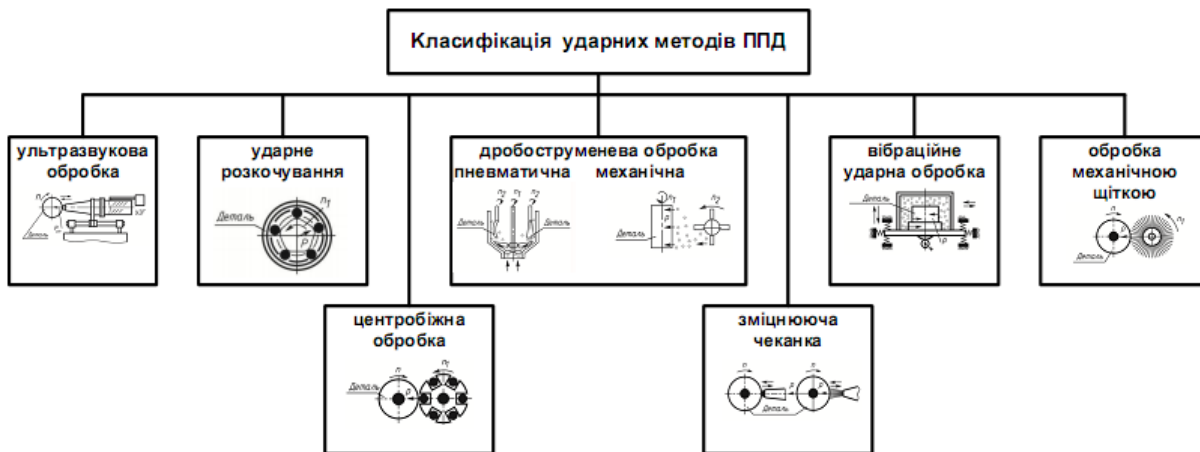


Рис. 3 – Узагальнена класифікація ударних методів ППД

Проаналізувавши методи поверхнево-пластичного деформування, які представлені на рис. 1–3 можна до основних переваг віднести: зменшення шорсткості, можливість отримання заданих параметрів величини і глибини зміцнення поверхневого шару, можливість регулювання параметрами мікрорельєфу оброблюваних поверхонь (наприклад, з метою кращого маслостримування, меншого зношування, корозії тощо) [2]. До недоліків методів ППД слід віднести неможливість відновлення зношених поверхонь деталей, низьку продуктивність і швидке зношування обладнання.

Найбільшою проблемою нормування якості поверхні є нерегулярний або навіть хаотичний характер мікрорельєфу поверхні, що утворюється в більшості випадків при використанні технологічних процесів наявних способів обробки. Такий неоднорідний мікрорельєф ускладнює керування геометричними характеристиками якості поверхні на основі аналітичних розрахунків таких величин, як фактична поверхня контакту сполучених деталей [3]. Ускладнюється й технологічне забезпечення потрібної шорсткості, оскільки неоднорідна пластична деформація явно порушує основні геометричні залежності між розмірами мікронерівностей і технологічними факторами. Неоднорідність мікрорельєфу також ускладнює процес контролю геометричних характеристик якості поверхні.

Основною перевагою методу ППД є утворення на поверхні повністю регулярного мікрорельєфу, що дозволяє розраховувати й нормувати геометричні параметри. Велика кількість режимів обробки дозволяє утворювати регулярні мікрорельєфи різних видів, що в свою чергу забезпечує достатню точність параметрів мікрогеометрії поверхонь [4]. Нормування геометричних параметрів мікрорельєфа створює передумови для встановлення аналітичних залежностей експлуатаційних характеристик з різними значеннями геометричних параметрів цієї поверхні.

Вібраційне накатування з утворенням в приповерхневому шарі регулярного мікрорельєфу забезпечує зменшення шорсткості поверхні, підвищення мікротвердості, утворення стискувальних залишкових напружень першого роду, підвищення корозійної стійкості, зникнення мікротріщин, і як наслідок, поверхня стає менш чутливою до втомного руйнування.

#### Список посилань

1. Лотоцька О. І. Сучасні фінішні методи підвищення експлуатаційних властивостей деталей поліграфічних машин поверхневим пластичним деформуванням і хромуванням / О. І. Лотоцька // Технологія і техніка друкарства / ВПІ НТУУ «КПІ». – 2010. – № 2. – С. 44–50.
2. Бобровский Н. М. Технология обработки деталей поверхностно-пластическим деформированием без применения смазывающе-охлаждающих технологических средств:



монографія / И. Н. Бобровский, П. А. Мельников, А. В. Ежелев // Самар. науч. центр РАН, 2012. – 142 с.

3. Киричок П. О. Експериментальні дослідження геометричних параметрів циліндричних деталей поліграфічних машин при комплексній обробці / П. О. Киричок, О. І. Лотоцька // Технологія і техніка друкарства / ВПІ НТУУ «КПІ». – 2011. – № 3. – С. 4–12.

4. Киричок П. О. Технологічне забезпечення працездатності та надійності елементів та вузлів поліграфічних машин / П. О. Киричок // Технологія і техніка друкарства / ВПІ НТУУ «КПІ». – 2003. – № 1. – С. 71–79.

УДК 621.822.681.2:369.64

**Марчук В.І., докт.техн.наук, професор**  
**Марчук І.В., канд.техн.наук, доцент**  
**Сачковська Л.О., аспірант**

Луцький національний технічний університет, [marchukv@bigmir.net](mailto:marchukv@bigmir.net)

### **РОЗРАХУНОК КОЕФІЦІЄНТА ТЕПЛООБМІНУ ДЛЯ УМОВ БЕЗЦЕНТРОВОГО ШЛІФУВАННЯ КІЛЕЦЬ РОЛИКОПІДШИПНИКІВ З ВИКОРИСТАННЯ МОР**

При шліфуванні інструментом з подачею МОР зниження температури під час проходження над оброблюваною поверхнею інструменту залежить від впливу охолоджувального середовища, що визначається коефіцієнтом теплообміну  $\alpha$ . Під час різання, охолодження поверхні заготовки здійснюється конвективним теплообміном. Відповідно до закону Ньютона-Ріхмана кількість тепла, що передається від обробленої поверхні до МОР визначається за формулою:

$$Q = \alpha \cdot S(t_s - t_p) \cdot \tau, \quad (1)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі;

$t_s$  – температура поверхні деталі;

$t_p$  – температура рідини;

$\tau$  – час виконання технологічної операції.

Чим більший коефіцієнт тепловіддачі, тим краще МОР відводить тепло від різального інструменту, стружки та деталі. Тепловідведення під час різання відбувається внаслідок конвекції, теплопровідності випромінювання і хімічних реакцій, що відбуваються з поглинанням тепла, тобто процесів, що супроводжуються складним теплообміном. Конвективний теплообмін при охолодженні МОР можна розглядати як теплообмін, пов'язаний з рухом рідини та теплопровідністю. Визначення коефіцієнта теплообміну є одним з найважливіших параметрів розрахунку температурних полів. Конвективний теплообмін між рідиною та поверхнею твердого тіла визначається за критерієм Нуссельта, який представляє собою безрозмірний коефіцієнт тепловіддачі:

$$N_\alpha = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda}, \quad (2)$$

де  $d$  – діаметр сопла на виході МОР, м;

$\alpha$  – коефіцієнт теплопровідності;

$\lambda$  – теплопровідність рідини, Вт/м·°С.

В процесі тепловіддачі в умовах вимушеного руху рідини по всій поверхні теплообміну без фазових і хімічних перетворень критерій Нуссельта є функцією критеріїв Прандтля і Рейнольдса:

$$N_\alpha = f(P_r, P_e). \quad (3)$$

Вигляд даної функціональної залежності після наближених емпіричних розрахунків у випадку, коли поверхня заготовки омивається турбулентним потоком, має вигляд:

$$\frac{\alpha \cdot d}{\lambda} = \left( \frac{V_{\text{sum}} \cdot d}{\vartheta} \right)^{0.8} \cdot \left( \frac{\vartheta}{a} \right)^{0.4} \cdot 0,086, \quad (4)$$

де  $P_r = \frac{\vartheta}{a} = \frac{\vartheta \cdot \rho}{c}$  – критерій Прандтля;

$P_e = \frac{V_{\text{sum}} \cdot d}{\vartheta}$  – критерій Рейнольдса;

$\vartheta$  – коефіцієнт кінематичної в'язкості, м<sup>2</sup>/с;

$a = c / \rho$  – коефіцієнт теплопровідності, м<sup>2</sup>/с;

$\rho$  – густина рідини, кг/м<sup>3</sup>;

$c$  – питома теплоємність, Дж/кг·°С.

Величина коефіцієнта теплообміну для МОР (водний розчин – 1% соди, 0,25÷0,45% нітриту натрію + вода) при теплопровідності  $\lambda = 0,568$  Вт/м·°С, кінематичній в'язкості  $\vartheta = 1,105 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с, теплопровідності  $a = 1,36 \cdot 10^2$  м<sup>2</sup>/с дорівнює:

$$\alpha \approx 5,2 \cdot 10^4 v_{\text{sum}}^{0.8} \text{ (Вт/м}^2 \cdot \text{°С)}. \quad (5)$$

Аналіз виразів (1) і (5) показує, що кількість тепла, яке віддається оброблюваною поверхнею в МОР, залежить від часу охолодження та швидкості омивання поверхні заготовки турбулентним потоком, що дозволяє зменшити нагрівання поверхні в зоні різання. Таким чином, можна вважати, що швидкість витікання МОР та її руху по поверхні заготовки є показником оцінки ефективності методу безцентрового шліфування [1, 2, 3, 4, 5, 6].

#### Список посилань

1. Марчук В.І. Связь параметров волнистости рабочих поверхностей с виброакустическими характеристиками роликоподшипников / В.І. Марчук, В.Ю. Заблоцкий // Высокие технологии: тенденции развития: материалы XIII международного научно-технического семинара, 12–17 сентября 2003 г. – Харьков-Алушта: НТУ ХПИ, 2003. – С. 78–81.
2. Марчук В.І. Про вплив параметрів якості робочих поверхонь кілець на експлуатаційні характеристики високоточних роликових підшипників / В.І. Марчук, Л.М. Равенець, А.М. Ештеві // “Перспективні технології та прилади”. Збірник наукових праць. Випуск 6 (1). м. Луцьк, травень 2015 р. – Луцьк: Луцький НТУ, 2015. – С. 49–53.
3. Марчук В.І. До визначення основних параметрів процесу безцентрового шліфування кілець роликопідшипників переривчастими шліфувальними кругами / В.І. Марчук, Л.М. Равенець, А.М. Ештеві // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки №3(74) – Житомир: ЖДТУ, 2016. – С. 34–39.
4. Марчук В.І. Дослідження параметрів поверхневого зміцнення функціональних поверхонь обертання / В.І. Марчук, І.В. Марчук, А.М. Ештеві // Матеріали II Всеукраїнської науково-практичної конференції «Приладобудування та метрологія: сучасні проблеми, тенденції розвитку» 6-7 жовтня 2016 р. – Луцьк: Луцький НТУ, 2016. – С. 61 – 62.
5. Марчук В.І. Модель стабілізації високочастотних коливних процесів в динамічній системі круглого врізного шліфування / В.І. Марчук, І.В. Марчук, А.М. Ештеві, І.О. Грисюк // Матеріали II Всеукраїнської науково-практичної конференції «Приладобудування та метрологія: сучасні проблеми, тенденції розвитку» 6-7 жовтня 2016 р. – Луцьк: Луцький НТУ, 2016. – С. 62–63.
6. Марчук В.І. Класифікація та походження температурних дефектів на операціях безцентрового шліфування поверхонь обертання / В.І. Марчук, І.В. Марчук, М.В. Олексин, А.М. Ештеві / Матеріали Шістнадцятої міжнародної молодіжної науково-технічної конференції «Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї-наука-виробництво», м. Суми, 26-29 жовтня 2016 р. – Суми: Сумський державний університет, 2016. – С. 102 – 103.

УДК 621.9.025.1 : 621.833.1.

Литвиняк Я.М., канд. техн. наук, доцент

Гвоздик Є.В., магістрант

Національний університет «Львівська політехніка», [ltvnkya@i.ua](mailto:ltvnkya@i.ua)

## ІННОВАЦІЙНИЙ ПРОЦЕС ЗУБОНАРИЗАННЯ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

Циліндричні зубчасті передачі, що застосовують у різних за призначенням машинах, обладнанні машинобудівної, гірничої, енергетичної, транспортної галузі промисловості, повинні відповідати сучасним вимогам щодо навантажувальної здатності, надійності, точності та вартості. Отже, наукові пошукування, що стосуються забезпечення експлуатаційних показників зубчастих передач та їх основних складових елементів – зубчастих коліс, належать до актуальних завдань.

Експлуатаційні параметри циліндричних зубчастих коліс здебільшого забезпечують під час реалізації технологічних операцій зубонаризання серед яких до найбільш поширених належать операції зубофрезерування черв'ячними модульними фрезами. Практичне застосування черв'ячних фрез для отримання зубчастих вінців на зубчастих колесах середніх і великих модулів супроводжується значними технологічними труднощами. До них належать: відносно низька точність отримуваних зубчастих коліс; відносно висока твердість заготовок зубчастих коліс, що відображається у низькій стійкості черв'ячних фрез; значний об'єм матеріалу, що видаляється із міжзубцевих западин, що спонукає до застосування багатопрохідної обробки; значна тривалість технологічної операції; жорсткий кінематичний зв'язок між головним рухом обертання черв'ячної фрези та рухом повороту заготовки зубчастого колеса, що фактично суттєво обмежує раціональне застосування черв'ячних фрез оснащених твердосплавними пластинами; висока вартість черв'ячних фрез; висока собівартість зубообробки. Покращення показників процесу зубонаризання доцільно здійснювати шляхом застосування нових способів формоутворення зубців коліс.

Одним із таких способів є спосіб формоутворення зубців зубчастих коліс дисковими фрезами за безперервного обертання заготовки зубчастого колеса. Цей спосіб формоутворення зубців колеса здійснюється при зміні міжосьової віддалі між віссю дискової фрези та віссю заготовки зубчастого колеса [1]. Нарізання зубців дисковими фрезами відбувається шляхом надання обертового руху навколо осі шпинделя зубофрезерного верстата встановленій відносно цієї осі з ексцентриситетом дисковій фрезі або шляхом надання дисковій фрезі, що додатково обертається, періодичного зворотно-поступального руху відносно заготовки зубчастого колеса за допомогою додаткового пристрою, що встановлюється на шпиндельному супорті зубофрезерного верстату [2]. Отримані співвідношення, що описують бокові поверхні зубців із потрібною товщиною у косо зубих зубчастих колесах які формуються просторовими гвинтовими співвісними твірними лініями, які утворені точками контакту дискової фрези із отримуваними поверхнями зубців колеса. Координати отриманого дисковою фрезою торцевого синусоподібного профілю зубця використовуються для оцінювання точності його профілю порівняно з евольвентним профілем зубця.

### Список посилань

1. Данильченко Ю. М. Кінематика формоутворення циліндричних зубчастих коліс з заданим профілем дисковим інструментом / Ю. М. Данильченко, А. В. Кривошея, С. І. Пастернак, Є. В. Короткий // Вісник Національного Технічного Університету України "КПІ". Машинобудування. – 2005. – № 46. – С. 104–108.

2. Литвиняк Я. М. Моделивання формування гвинтовими співвісними твірними лініями поверхонь зубців циліндричних косо зубих зубчастих коліс / Я. М. Литвиняк, І.І. Юрчишин //

Автоматизація виробничих процесів в машинобудуванні та приладобудуванні: Український міжвідомчий науково-технічний збірник. – Львів: В-во Львівської політехніки, 2018. – Вип. 52. – С. 57–71.

УДК 677.05:621.838.22

**Олійник О.Ю., канд. техн. наук, доцент**  
Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», latgali30@gmail.com  
**Рубанка М.М., канд. техн. наук**  
Київський національний університет технологій та дизайну, nikolayrubanka@ukr.net

## **ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ МЕХАНІЗМІВ ВІДТЯГНЕННЯ ПОЛОТНА КРУГЛОВ'ЯЗАЛЬНИХ МАШИН**

Аналіз відомих конструкцій механізмів відтягнення полотна круглов'язальних машин показує, що перспективним та поширеним в круглов'язальних машинах є валковий механізм відтягнення [1-2]. Відомий механізм відтягнення полотна круглов'язальної машини, що містить ведучий та два ведені відтяжні валики, кінематично з'єднані між собою за допомогою шестерень, встановлених на їх кінцях [3]. Кінематичне з'єднання лише одних кінців ведучого та ведених відтяжних валиків між собою зумовлює нерівномірність притиску відтяжних валиків до полотна, що призводить до зниження якості полотна та довговічності роботи механізму відтягнення полотна круглов'язальної машини.

Авторами пропонується конструкція механізму відтягнення полотна [4], що обладнана додатковими шестернями, які встановлені на других кінцях ведучого та ведених відтяжних валиків та кінематичне їх з'єднання, забезпечує рівномірність притиску відтяжних валиків до полотна, що призводить до підвищення ефективності роботи механізму відтягнення полотна круглов'язальної машини, а саме: до підвищення якості полотна та довговічності роботи механізму.

Механізм відтягнення полотна круглов'язальної машини (рис.1) містить ведучий 1 та два ведені 2, 3 відтяжні валики, які за допомогою зубчастої передачі, що містить циліндричні шестерні 4, 5, 6, кінематично зв'язані між собою. Ведучий 1 та ведені 2, 3 відтяжні валики розміщені в рамі 7. Осі відтяжних валиків 1, 2, 3 розташовані паралельно в одній площині. Механізм відтягнення полотна містить також привід відтяжних валиків, що містить два храпові механізми 8, 9, кільце 10 з гірками 11 та два розташовані діаметрально протилежно важелі 12, 13, один кінець кожного з яких кінематично з'єднаний з відповідним храповим механізмом, а другий має ролик 14 (15), зв'язаний з кільцем 10. Між відтяжними валиками заправлене полотно 16. Ведучий відтяжний валик 1 з діаметром  $d$ , обладнаний оболонкою 17 із пружного матеріалу, переважно маслостійкої гуми, товщина якої  $\delta$  вибирається із умови  $\delta=(0,1\dots0,2)d$ , що дозволяє рівномірно розподілити силу відтягнення полотна по його периметру. Механізм відтягнення полотна містить також додаткові шестерні 18, 19, 20, які встановлені на других кінцях ведучого 1 та ведених 2, 3 відтяжних валиків та кінематично їх з'єднують.

Принцип роботи механізму відтягнення полотна такий. При вмиканні круглов'язальної машини рама 7 з відтяжними валиками 1, 2, 3 починає обертатися. При цьому ролик 14, 15 важелів 12, 13 набігають поперемінно на гірки 11 нерухомого кільця 10 і змушують важелі здійснювати коливальний рух, який за допомогою храпових механізмів 8, 9 приводить в обертальний рух ведучий відтяжний валик 1. Ведучий відтяжний валик за допомогою зубчастого зачеплення циліндричних шестерень 4 – 5, 4 – 6, 18 – 19, та 18 – 20 приводить в обертальний рух ведені відтяжні валики 2, 3. Обертальний рух відтяжних валиків 1, 2, 3 зумовлює відтяжку полотна 16, заправленого між ними. Обладнання механізму відтягнення полотна додатковими шестернями 18, 19, 20 забезпечує

рівномірність притиску відтяжних валиків до полотна, що призводить до підвищення якості полотна та довговічності роботи механізму.

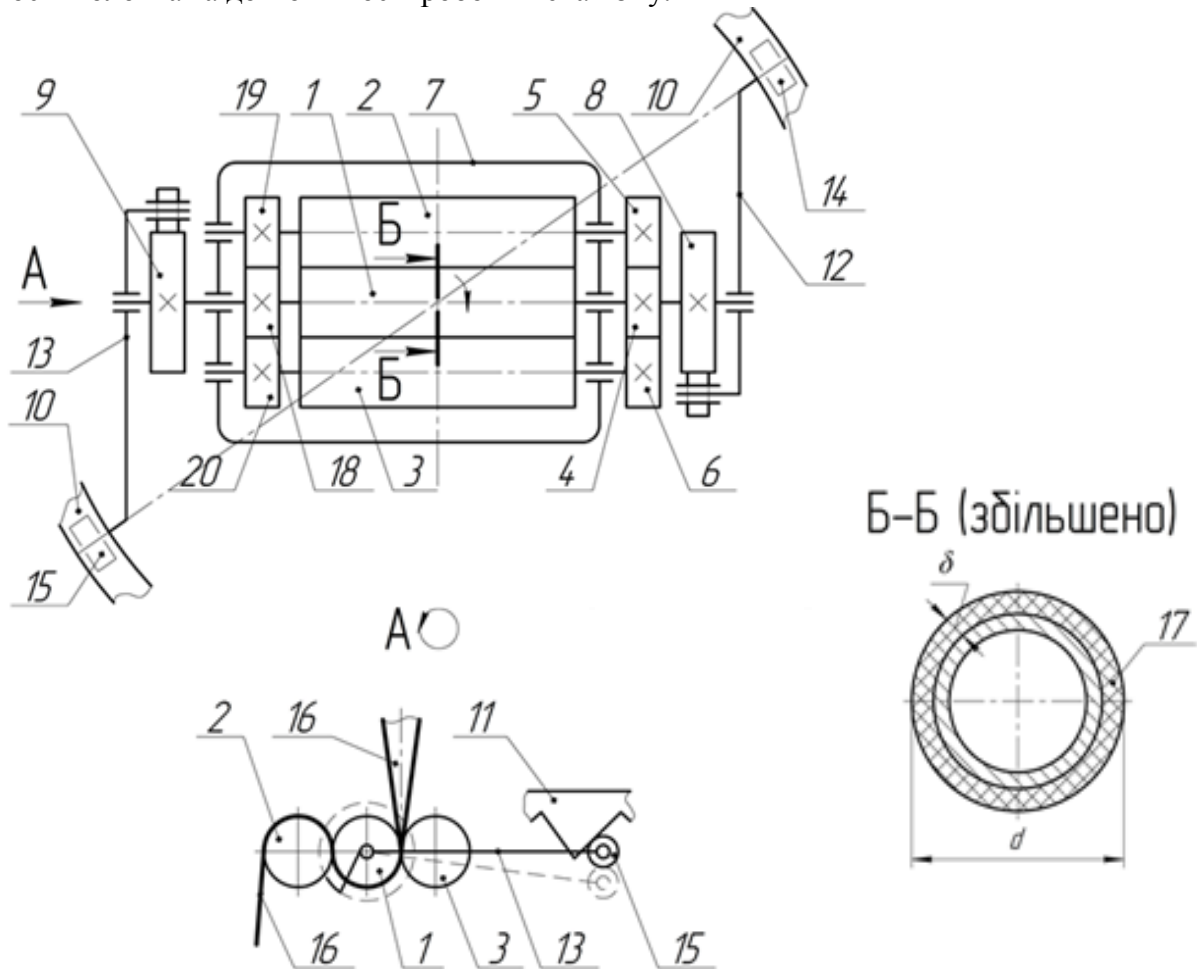


Рис. 1 – Кінематична схема механізму відтягнення полотна круглов’язальної машини.

Враховуючи актуальність питання підвищення ефективності роботи машин за рахунок удосконалення робочих механізмів, виконані дослідження показують наступне:

- конструкція механізму відтягнення полотна круглов’язальної машини з додатковими шестернями, що забезпечують рівномірність притиску відтяжних валиків до полотна, дозволяє підвищити якість полотна і довговічність, надійність роботи механізму в цілому;
- запропонована конструкція механізму відтягнення полотна круглов’язальної машини може бути використана для проектування і розробки нових або удосконалення існуючих механізмів.

#### Список посилань

1. Присяжнюк П.А. Технология и кругловязальное оборудование в производстве изделий верхнего трикотажа / П.А. Присяжнюк. – Минск: Высшая школа, 1982. – 319 с.
2. Піпа Б.Ф. Механізми відтяжки та накатування полотна круглов’язальної машин: монографія / Б.Ф. Піпа, О.М. Хомяк, О.Ю. Олійник. – К.: КНУТД, 2009 – 234 с.
3. Пат 10989 Україна, МПК D04В 15/88. Механізм відтяжки полотна круглов’язальної машин / Б.Ф. Піпа, Ю.Д. Федоров, О.Ю. Куніна; власник Київський національний університет технологій та дизайну. – № u200503268; заявлено 08.04.05; опубл. 15.12.2005, Бюл. № 12. – 2 с.
4. Пат. 127266 Україна, МПК D04В 15/88 (2006.01). Механізм відтягнення полотна круглов’язальної машини / О.Ю. Олійник, М. М. Рубанка, Г. І. Павленко; власник Київський національний університет технологій та дизайну. – № u201801470; заявл. 15.02.2018; опублік. 25.07.2018, Бюл. № 14. – 3 с.

УДК 62-9

**Ісаченко А.О., аспірант**  
Національний авіаційний університет, artem.isachenko7@gmail.com  
**Ігнатенко П.Л., канд. техн. наук, доцент**  
Чернігівський національний технологічний університет

## **СИНТЕЗ СИСТЕМИ ПЛАНУВАННЯ ТРАЕКТОРІЇ РУХУ ВИМІРЮВАЛЬНОГО РОБОТА**

Одним з напрямів розвитку виробництва є автоматизація. Це сприяє підвищенню якості та конкурентоспроможності продукції, що випускається. Це стало можливо за рахунок вимірювальних роботів. Оскільки розвиток такої техніки важливий та стрімкий при роботі потрібно отримувати достовірну інформацію за рахунок швидкого зняття координат точок та обробки даної інформації в реальному часі.

Формування руху датчика вимірювальної руки показав, що її основою є блок планування руху траєкторії. Від його функціональних можливостей залежить ефективність формування траєкторії руху датчика. Також блок планування траєкторії здатний забезпечити обробку великої кількості даних в реальному часі. Для роботи вимірювального робота використовують блок планування руху траєкторії чи багато шинних інтерфейсів з паралельною обробкою інформації [1].

За допомогою блоку планування руху вирішуються дві задачі вибір траєкторії руху всіх ланцюгів вимірювальної руки та рух датчика вздовж заданої траєкторії. Вимірювальний робот з блоком планування руху траєкторії має ряд переваг: простота управління, здатен вирішувати задачі управління рухом до деталей складної конфігурації, здатен оцінювати ситуацію і приймати оптимальні рішення в формуванні траєкторії руху.

Переміщення вимірювальної руки відбувається вздовж заданої траєкторії. Перед початком руху важливо знати чи є вздовж траєкторії перешкоди та чи існують обмеження на траєкторії датчика вимірювальної руки.

Для вирішення цих задач використовуємо декартові координати в них зручно задавати правильне положення датчика вимірювальної руки. Відомо, що траєкторія руху датчика вимірювальної руки в початковому та кінцевому положенні може бути декілька варіантів в залежності від конструктивної особливості деталі. Наприклад рух датчика по прямій в задану точку координат, або вздовж певної гладкої кривої, яка відповідає деяким обмеженням в початковій та кінцевій точці датчика вимірювальної руки.

Траєкторію датчика вимірювальної руки можна розглядати як сукупність змінних які передаються в блок планування руху траєкторії (рис.1). Після обробки отриманих даних на траєкторію накладається певна кількість обмежень. В результаті проведених розрахунків отримаємо послідовність проміжних точок координат в декартовій системі, крім цього орієнтацію, швидкість та прискорення датчика вимірювальної руки які потрібно пройти від початкової точки координат до кінцевої.

Особливістю планування траєкторії руху датчика вимірювальної руки в тому, що вона може розглядатися як в приєднаних так і в декартових координатах. При розрахунку траєкторії в приєднаних координатах для повного опису руху датчика вимірювальної руки задається залежність від часу всіх приєднаних змінних.

Для проведення такого розрахунку в декартових координатах потрібно дати залежність від часу положення швидкості та прискорення, за цією інформацією можуть визначатися приєднані координати. Планування в приєднаних координатах має три переваги:

- 1) Задаються значення змінних в процесі руху датчика вимірювальної руки;
- 2) Планування траєкторії руху здійснюється в реальному часі;
- 3) Траєкторію в приєднаних змінних легше спрогнозувати.

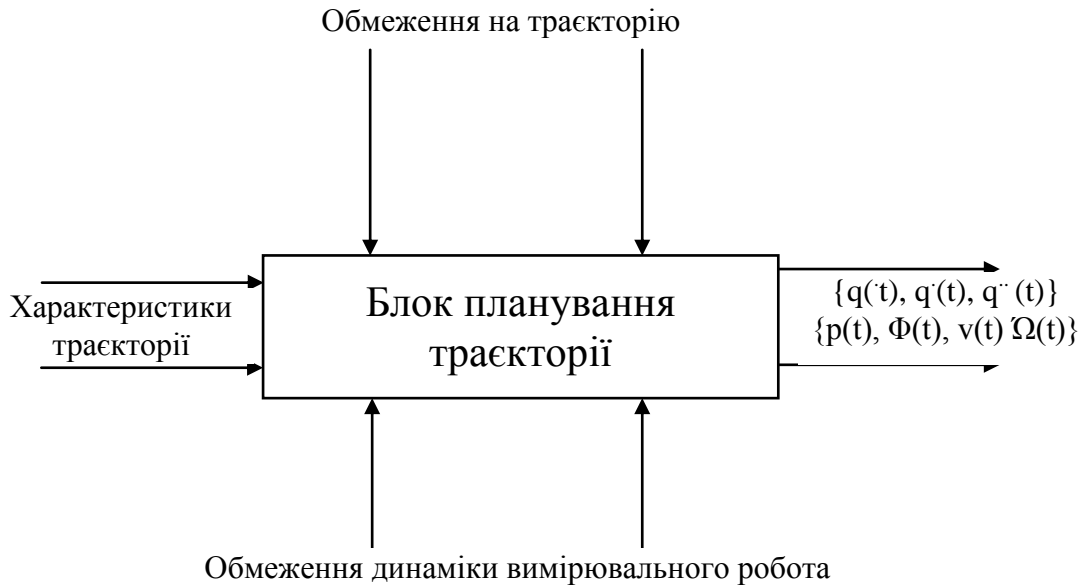


Рис. 1 – Схематичне зображення блоку планування траєкторії датчика

Отже, при таких умовах головною складністю є визначення положень ланцюгів та датчика вимірювальної руки в процесі руху. Такий розрахунок необхідний для запобігання зіткнення з перешкодами на шляху та зіткненням ланцюгів вимірювальної руки.

В загальному випадку алгоритм формування вузлових точок траєкторії в просторі приєднаних змінних виглядає так:  $t = t_0$ ; цикл: чекати наступного моменту корекції руху;  $t = t + \Delta t$ ;  $h(t)$  – задане положення датчика вимірювальної руки в просторі приєднаних змінних в момент часу  $t_1$ ; якщо  $t = t_1$ , вийти з виконання процедури; Виконати знову цикл;

Інтервал часу  $\Delta t$  виконує функцію між двома послідовними моментами корекції параметрів руху вимірювальної руки. З приведеного алгоритму зрозуміло, що всі обчислення необхідні для визначення траєкторної функції  $h(t)$  котра повинна відновлюватися в кожній точці корекції параметрів руху датчика вимірювальної руки [2].

Для роботи даного алгоритму потрібно вказати обмеження:

- 1) Вузлові точки траєкторії повинні обчислюватися не рекурентним способом;
- 2) Проміжні значення руху датчику вимірювальної руки повинні визначатися однозначно;
- 3) Потрібно забезпечити неперервність приєднаних координат та їх перших двох похідних, для отримання гладкої траєкторії в просторі;
- 4) Рух датчику вимірювальної руки повинен бути мінімальним, а саме блукаючі рухи зведені до нуля.

Перераховані обмеження задовольняють траєкторію руху датчику вимірювальної руки. Додаткові обмеження, якщо потрібно розрахувати проміжну точку траєкторії руху датчику. Для розрахунку такої складності вносяться дві додаткові умови по положенню вони забезпечують безпечний рух на початковому та кінцевому відрізку траєкторії датчику вимірювальної руки і високу точність управління рухом.

#### Список посилань

1. Гапшис А.А. Координатные измерительные машины и их применение / А.А. Гапшис, А.Ю. Каспарайтис, М.Б. Модестов, З.А. Раманускас, Н.А.Серков, В.А. Чудов – М.: Машиностроение, 1988. – 328 с.
2. Кобринский А.А. Манипуляционные системы роботов: основы устройства, элементы теории / Кобринский А.А., Кобринский А.Е. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1985. – 344 с.

УДК 621.923

Алексик Д.І., студент  
Гаврушкевич А.Ю., канд. техн. наук, доцент  
Гаврушкевич Н.В., асистент,  
Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського»,  
[gavrushkevichnataliya@gmail.com](mailto:gavrushkevichnataliya@gmail.com)

## ЗАСТОСУВАННЯ НЕМАГНІТНИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ СТАНИНИ

Одним із найбільш перспективних методів комплексної фінішної обробки вирізняється магнітно-абразивна обробка (МАО). Даний метод обробки є недостатньо дослідженим з точки зору відсутності вихідних даних для розрахунку сил опору при русі тіл складної форми із різних матеріалів та достовірної інженерної методики визначення навантажень на оброблювані заготовки.

В межах виконання дослідження було спроектовано дослідний стенд [1], який складається із шпindelної бабки, встановленої на вертикальних напрямних з можливістю переміщення, магнітної системи типу "кільцева ванна" з котушкою. Всі вузли спроектованого стенду базуються на станині, яка, як відомо, є основним елементом несучої системи. Станина повинна мати точні поверхні для кріплення вузлів, забезпечувати стабільність форми базових поверхонь і точність протягом всього строку експлуатації та низку інших важливих вимог.

Враховуючи специфічність даного методу обробки, саме до станини розроблюваного стенду висуваються додаткові вимоги щодо немагнітності матеріалу, з якого вона буде виготовлена. Необхідність виготовлення станини з немагнітного матеріалу обумовлена потребою в розірванні магнітного ланцюга на станині.

Традиційно для виготовлення станин використовується чавун, бетон, граніт і сталь [2].

Враховуючи, що в розробленому стенді станина повинна бути виготовлена із матеріалу, який є немагнітним, були досліджені лише немагнітні конструкційні матеріали. Особливого поширення набули немагнітні сталі і чавуни, а також сплави міді і алюмінію, рідше застосовуються полімерні композиційні матеріали (ПКМ) [3].

Таким чином, застосування ПКМ забезпечує істотну економічну ефективність. Але застосування ПКМ для виробництва виробів машинобудування вимагає попереднього глибокого вивчення будови матеріалів і закономірностей зміни їх фізико-механічних властивостей в специфічних умовах експлуатації машин.

В рамках виконання роботи по створенню обладнання для МАО складнопрофільних деталей мною було проаналізовано три варіанти виготовлення станини для стенду [4]:

1. Виготовлення станини збірної з двох плит з нержавіючої сталі 08X17T;
2. Виготовлення станини зварної з листової нержавіючої сталі 08X17T;
3. Виготовлення станини зварної з алюмінієвого прокату Д16.

Були проаналізовані всі три можливі конструкції станини за критерієм собівартості виготовлення і обрано варіант зварної станини з нержавіючої сталі 08X17T.

### Список посилань

1. Гаврушкевич Н.В. Стенд і методика досліджень сил опору магнітно-абразивного інструменту при обробці деталей в умовах "кільцевої ванни" / Гаврушкевич Н.В., Гейчук В.М. // Матеріали XVII міжнародної науково-практичної конференції «Машинобудування очима молодих: Прогресивні ідеї – наука – виробництво» 01 - 03 листопада 2017 р. м. Чернігів. – 2017. – с. 196–197.

2. Потапов В.А. Применение нетрадиционных материалов в станкостроении. / В.А.Потапов // Станки и инструмент – 1988 – №5 – с. 31-34.

3. Віницький П.А. Нетрадиційні матеріали у верстатобудуванні / Віницький П.А., Верба І.І. // Тези доповідей всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених та студентів



«Інновації молоді - машинобудуванню» секція "Конструювання верстатів та машин" / Укладач Кравець О.М. – К: НТУУ "КПІ". – 2017. – с. 11–14.

4. Галкін О.О. Вибір конструкції корпусу станини за критерієм вартості / Галкін О.О., Гейчук В.М. // Тези доповідей всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених та студентів «Інновації молоді - машинобудуванню» секція "Конструювання верстатів та машин" / Укладач Кравець О.М. – К: НТУУ "КПІ". – 2018. – с. 21–23.

УДК 621.798:681.5

**Залега О.М., канд. техн. наук**

Луцький національний технічний університет, [olga\\_zalega@ukr.net](mailto:olga_zalega@ukr.net)

## **МЕТОДОЛОГІЯ ГЕНЕРУВАННЯ ВАРІАНТІВ СТРУКТУРИ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ МАШИНИ В УМОВАХ ЇЇ ОПТИМІЗАЦІЙНОГО СИНТЕЗУ**

Під час розв'язання дискретної поетапної задачі оптимізаційного синтезу структури технологічної машини (ТМ) довільної складності та вибору найбільш ефективного її розв'язку потрібно знайти множину допустимих альтернатив. Для цього повинні бути встановлені правила генерації усіх можливих варіантів розв'язку задачі оптимізації [1].

Генерування варіантів структури ТМ здійснюється з допомогою:

– комбінаторних методів [2, 3], до яких відносяться морфологічний синтез та синтез по альтернативних деревах (А-деревах, або "І-АБО"-деревах);

– методу генерування з формальним обмеженням кількості варіантів структури за допомогою типових математичних моделей, нормалізованих ГОСТ 14.416-83 [4].

*Морфологічний синтез* полягає в знаходженні і систематизації всіх можливих варіантів поєднань ФМ між собою за допомогою морфологічної таблиці. Ця таблиця задається у вигляді матриці інцидентності  $A = \|a_{ij}\|$  розміру  $F \times E$ , де  $F$  – кількість функцій, які повинні виконуватись машиною;  $E$  – число функціональних модулів (ФМ), з яких вона складається, причому елемент матриці  $a_{ij}$ , що стоїть на перетині  $i$ -го рядка і  $j$ -го стовпця дорівнює одиниці, якщо він виконує функцію, нулю – якщо не виконує [5]. Метод морфологічного синтезу застосовується на ранніх стадіях проектування. Він дозволяє знайти і систематизувати усі можливі способи структурної будови ТМ, однак його доцільно застосовувати тільки для ТМ із незначною кількістю елементів.

*Синтез по альтернативних деревах* (А-деревах, або "І-АБО"-деревах) має таке ж призначення, що й метод морфологічного синтезу, однак відрізняється способом формалізації опису структури об'єкта проектування. Згідно методики [6] побудова А-дерева здійснюється таким чином, що корінь дерева (початкова вершина) відповідає функції (технологічній операції), яку виконує проектований технічний об'єкт; рівні дерева відображають технологічні переходи, з яких складається технологічна операція; вершини являють собою технічні засоби реалізації технологічних переходів (елементи структури технічного об'єкту); дуги дерева описують зв'язки між елементами. Якщо на певному рівні існує тільки одна вершина (технологічний перехід може бути реалізований тільки одним елементом структури), то відповідну вершину (тип "І") позначають темним кружечком, якщо таких вершин декілька (тип "АБО"), їх позначають світлими кружечками [5].

Позитивною особливістю методу є можливість відображення ієрархічної будови ТМ та зв'язків між ФМ, однак графове зображення варіантів структур має обмеження по кількості представлених елементів, тому "І-АБО"-дерева з великим числом вершин неможливо представити у явній формі.

*Генерування з формальним обмеженням кількості варіантів структури* ТМ здійснюється за допомогою типових математичних моделей [4]. В основі побудови варіантів структури лежить однакове математичне представлення структури різних ТМ. У

цих моделях використано три типи даних про об'єкт синтезу, які формують три множини: множина елементів – ФМ; множина ознак чи характеристик ТМ; множина зв'язків між елементами та ознаками чи характеристиками ТМ.

З допомогою даного методу враховуються наступні ознаки відмінностей між альтернативними варіантами структури ТМ:

- якісний склад елементів, тобто можливі варіанти ФМ, які утворюють ТМ ( $F_E$ );
- кількість ФМ, що утворюють ТМ ( $F_N$ );
- порядок ФМ у структурі ТМ ( $F_{II}$ ).

Якщо при генеруванні варіантів структури ТМ у всіх варіантів склад ФМ однаковий, то  $F_E = 1$ , якщо різний –  $F_E = 0$ . Якщо у всіх варіантах структури буде однакою кількість ФМ, то  $F_N = 1$ , якщо різною – то  $F_N = 0$ . Якщо послідовність об'єднання ФМ у структурі ТМ у всіх варіантах буде однакою, то  $F_{II} = 1$ , якщо різною –  $F_{II} = 0$ .

Залежно від генерування варіантів структури об'єкта за тими чи іншими відмінностями використовуються наступні класи математичних моделей структури (табл. 1):

– *сполучні*, які характеризується тільки двома ознаками генеруючих відмінностей структурних варіантів  $F(S) = (F_E, F_N)$ ;

– *упорядкувальні*, котрі враховують усі три ознаки  $F(S) = (F_E, F_N, F_{II})$ . Оскільки ТМ є впорядкованою системою, то саме упорядкувальні моделі, на відміну від сполучних, є придатними для її опису. Вони бувають табличні, мережні та перестановні.

Табличні моделі дають змогу спроектувати структуру ТМ з урахуванням порядку її елементів.

Мережні моделі можуть використовуватись для генерування багатьох варіантів структури ТМ. Відношення порядку  $F_{II}$  між елементами ТМ задається за допомогою графа. Мережева модель дозволяє генерувати безліч варіантів структури ТМ, але всі вони матимуть задану послідовність виконання технологічної операції. Наступним етапом проектування при цьому є вибір кращого із отриманих варіантів, що вимагає аналізу всіх отриманих варіантів з точки зору їх відповідності критерію якості. Застосування моделі такого типу значно спрощує вибір оптимального варіанта структури, оскільки при її побудові одразу відкидаються нелогічні поєднання ФМ.

Перестановні моделі дають змогу генерувати варіанти структур, які окрім складу елементів, їх кількості, відрізнятимуться також порядком їх поєднання

Відмінність розглянутих методів полягає в тому, що при морфологічному синтезі та синтезі по альтернативних деревах створюють всі можливі комбінації ФМ у складі ТМ, а при використанні типових математичних моделей кількість можливих варіантів скорочується шляхом відхилення неможливих.

### Список посилань

1. Кандырин Ю.В. Процедуры генерации и выбора при проектировании технических объектов / Ю.В. Кандырин, Г.Л. Шкурина. – Волгоград: ВолГТУ, 1999. – 85 с.
2. Левин М.Ш. Комбинаторное проектирование систем / М.Ш. Левин // Автоматизация проектирования. – 1997. – № 4. – С. 14–19.
3. Дискретна математика: підручник / Ю.М. Бардачов, Н.А. Соколова, В.Є. Ходаков; За ред. В.Є. Ходакова. – [2-ге вид., переробл. і допов.] – К.: Вища шк., 2008. – 383 с.
4. Пальчевський Б.О. Автоматизація технологічних процесів (виготовлення і пакування виробів): навч. посіб. / Б.О. Пальчевський. – Львів: Світ, 2007. – 392 с.
5. Зелінський А.М. Основи математичного моделювання / А.М. Зелінський. – К.: НМКВО, 1992. – 220 с.
6. Овчинников В.А. Математические модели объектов задач структурного синтеза / В.А. Овчинников // Наука и образование. – 2009. – № 3. – Режим доступа до журн.: <http://technomag.edu.ru/doc/115712.html>.

УДК 621.941

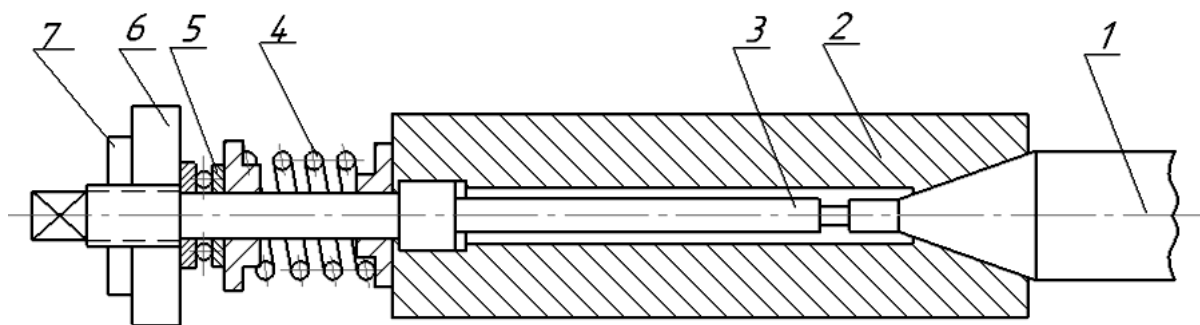
Литвин О.В., канд. техн. наук, доцент  
Гаврушкевич Н.В., асистент  
Максименко І.С., студент

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

### СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗУСИЛЛЯ ЗАТИСКУ ІНСТРУМЕНТУ ДЛЯ ВЕРСТАТІВ З ЧПК

При проектуванні механізмів затиску та звільнення інструменту для багатоопераційних верстатів обов'язково необхідно врахувати зусилля запресування або затяжки та випресовування інструменту [1, 2].

На кафедрі конструювання верстатів та машин КПІ ім. І.Сікорського був спроектований механізм затягування інструменту, а для перевірки його роботи зібраний стенд (рис. 1) на фрезерному верстаті мод. F4 («Асиера»).



1 – інструмент, 2 – шпindel, 3 – шомпол, 4 – пружина, 5 – упорний підшипник, 6 – гайка, 7 – контргайка

Рис. 1 – Схема затяжки інструменту шомполом, що підпружинений (повернуто)

На схемі (рис. 1) інструмент 1 з конусом типу ISO 1/24 №1 затягується в шпindel 2 шомполом 3 зусиллям, створеним пружиною 4. Між гайкою 6 та пружиною знаходиться упорний підшипник 5, що запобігає скручуванню пружини. Для запобігання відкручування гайки 6 ставиться контргайка 7.

Було проведено експеримент для конуса ISO 1/24 №1 та конуса Морзе №2. Вимірювання величини зусилля запресовування (випресовування) виконувалося динамометричним ключем за моментом на шпонці та динамометром [3].

При різних зусиллях запресування інструменту була визначена величина піддатливості конусних з'єднань типу Морзе №2 та ISO 1/24 №1.

На рис. 2 наведені результати у вигляді графіків сумарної контактної піддатливості в точці прикладання зусилля  $L = 10$  см від торця шпинделя в залежності від зусилля затиску. З графіків видно, що зі збільшенням зусилля затяжки жорсткість конусних з'єднань дещо підвищується.

В результаті аналізу даних було виявлено, що у конуса Морзе №2 у конуса ISO 1/24 №1 при збільшенні зусилля затяжки з 3000 до 15000 Н підвищується жорсткість конусного з'єднання на 40% та на 25% відповідно.

З таблиці 1 видно, що для конуса Морзе №2 для забезпечення випресовування необхідний момент на шпонці в 2 рази більший моменту затяжки. Для конуса ISO 1/24 №1 до зусилля затяжки 3000 Н випресування відбувається без додаткового зусилля, при осьовому зусиллі затяжки в 6000 Н для виштовхування конуса потрібно прикласти зусилля в 10 разів менше від зусилля затяжки.

В результаті випробування стану в умовах фрезерування отримані дані для конусного з'єднання типу ISO 1/24 №1, які підтвердили, що навіть при зусиллі зтяжки  $Q = 1000$  Н можливе фрезерування.

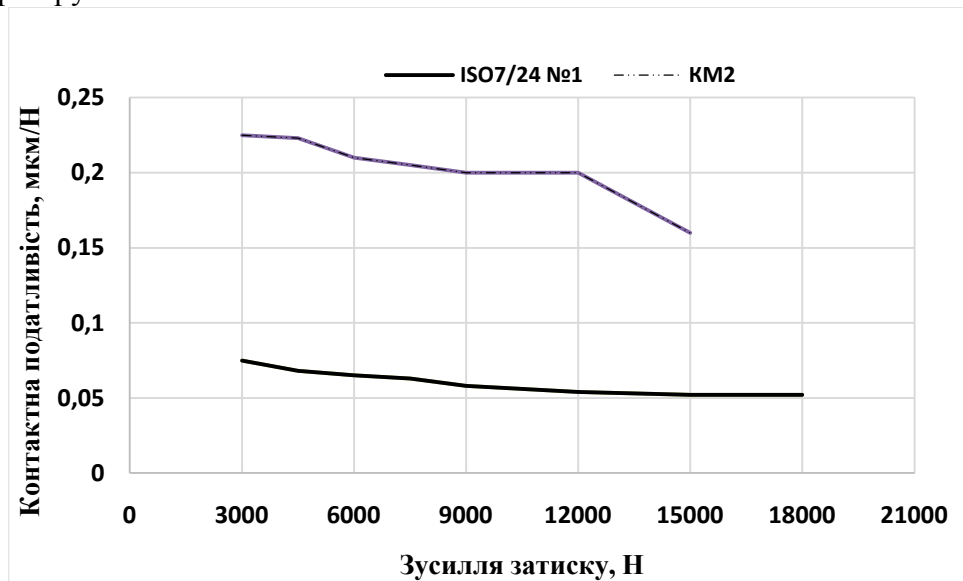


Рис.2 – Контактна податливість конусних з'єднань що підлягають випробуванням, приведена до точки  $L=10$ см, в залежності від зусилля затиску

Таблиця 1 – Зусилля випресовування конуса Морзе та ISO 1/24 в залежності від зусилля зтяжки конуса

Зусилля зтяжки конуса, Н	Зусилля випресування, Н	
	Конус Морзе №2	Конус ISO 1/24 №1
3000	6000	0
6000	12000	600
9000	24000	–
12000	27000	–
15000	33000	–

При цьому відбувається викручування шомпола 3 з інструменту 1 як для правої, так і для лівої навівки пружини. Для недопущення повертання шомпола відносно інструменту необхідно механізм зтяжки обладнати можливістю стопоріння.

В верстатах для підвищення передатного моменту кутове положення інструменту в шпинделі додатково фіксується шпонковим з'єднанням. Для оцінки допустимої швидкості обертання шпинделя в момент подачі інструменту механічною рукою на фрезерному верстаті мод. фірми «Асиера» з конусом ISO 1/24 №1, була визначена швидкість, при якій шпонкове з'єднання вмикається відразу, без проскоків.

Інструмент подавався зі швидкістю  $30-50 \frac{\text{мм}}{\text{сек}}$  через пружину. Гранична швидкість фіксації без проскоків виявилась рівною 1100 об/хв. Для збільшення можливої швидкості фіксації на шпонкових пазах були здійснені скоси з кутом підйому  $30^\circ$ , глибиною 5 мм. При цьому швидкість фіксації без проскоків підвищилась до 1700 об/хв.

#### Список посилань

1. Лещенко В. А. Станки с числовым программным управлением (специализированные) / В. А. Лещенко, Н. А. Богданов, И. В. Вайнштейн. – Москва: Машиностроение, 1988. – 568 с.
2. Кузнецов Ю.Н. Зажимные механизмы для высокопроизводительной и высокоточной обработки резанием / Ю. Н. Кузнецов, В. Н. Волошин, П. М. Неделчева, Ф. В. Эль-Дахаби. – Киев: ООО «ЗМОК» - ООО «ГНОЗИС», 2010. – 466 с.

3. Литвин О.В. Дослідження зусилля затиску інструменту для багатоопераційних верстатів / Литвин О.В., Гаврушкевич Н.В., Алексик Д.І. // Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні. ІТММ'2019: тези доповідей міжнародної науково-практичної конференції (Дніпро, 26 – 28 березня 2019 р.) / Міністерство освіти і науки України, Національна металургійна академія України, Дніпропетровськ. – 2019. – С. 144.

УДК 621.9.048

**Жартовський О.В., канд. техн. наук.**

**Кравченко В.І., канд. техн. наук**

Донбаська державна машинобудівна академія, м Краматорськ, [jaw7491@i.ua](mailto:jaw7491@i.ua)

### **СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ І ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ІМПУЛЬСНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ УСТАНОВКИ ПОВЕРХНЕВОГО ЛЕГУВАННЯ**

Обробка поверхні матеріалів в технології виробництва інструменту має широке застосування. Для створення необхідних властивостей матеріалів використовуються різні методи. Це обробка лазерним, електронним променем або електричним струмом. При обробці металевих поверхонь за допомогою імпульсного току можливо здійснювати легування металевої поверхні. Локальне нагрівання поверхні і подальше швидке охолодження за рахунок тепловідведення призводить до утворення в поверхневому шарі сталі нової структури. Вона має високу мікротвердість, яка перевищує аналогічну характеристику основи. При електрофізичній обробці управління здійснюється шляхом вибору параметрів електричного струму: напруги, сили струму, форми та тривалості імпульсу, потужності й енергії імпульсу.

Метою роботи є підвищення надійності управління та контролю енергетичних параметрів установки для поверхневого легування.

Схематично цей процес відбувається у вигляді взаємодії трьох інформаційно-об'єднаних модулів: модуля формування даних, обробляючого модуля, модуля наближення.

Модуль формування даних створений для первісної обробки електричних сигналів імпульсного процесу у вигляді, придатному для послідуочого автоматизованого опрацювання та пошуку математичної моделі. Первісні експериментальні дані можуть надходити до модуля з одного вимірювального каналу. У модулі виконується завантаження, обробка, фільтрація, виділення діапазону досліджуваного імпульсу.

Обробляючий модуль працює з робочим сигналом, отриманим від попереднього модуля, безпосередньо виконує його математичну обробку, розраховуючи коефіцієнти регресійних рівнянь, а також помилку рівняння регресії для кожної з моделей.

Модуль наближення аналізує помилку рівняння регресії та вибирає ту з моделей, для якої воно мінімальне. Також в цьому модулі можуть бути виконані розрахунки опосередкованих параметрів, направлені на подальшу оптимізацію досліджуваних процесів та явищ в залежності від потреб користувача.

Всі модулі програмно [1] зв'язані між собою.

Були розроблені блоки управління і контролю енергетичних параметрів установки для поверхневого легування.

За допомогою застосування блоку контролю енергетичних параметрів установки вдалося досягти поставленої мети – підвищити надійність управління та контролю енергетичних параметрів установки поверхневого легування.

#### **Список посилань**

1. «Альпініст» Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір. №80323 / Кравченко В. І., Жартовський О.В., Карягін Ж.Г., Дата реєстрації 18.07.2018

УДК 614.844

Зінько Р.В., канд. техн. наук, доцент  
 Національний університет «Львівська політехніка», [rzinko@gmail.com](mailto:rzinko@gmail.com)

### МОБІЛЬНИЙ РОБОТ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

В пожежній безпеці і при ліквідації техногенних катастроф щораз ширше використовуються мобільні роботи. Однак відсутні узагальнені підходи до створення та експлуатації таких машин, методики використання, типові алгоритми їх конструювання та застосування. Розв’язок цієї проблеми визначає можливі межі застосування мобільних роботизованих платформ [1].

До багатьох надзвичайних ситуацій важко застосувати дії чи засоби упередження, тому важливою стає ефективність, як їх безпосередньої ліквідації, так і ліквідації їх наслідків. У випадках, коли ліквідація надзвичайної ситуації не допускає присутності людей у безпосередній близькості до вогнища займання, при загрозі вибуху, обвалу, розливу хімічних речовин, оскільки існує пряма небезпека для їх здоров'я і життя, доцільно використовувати дистанційно керовані пожежні роботи [2]. Мобільні роботизовані системи для збору інформації та розвідки, усунення наслідків, транспортування також можуть суттєво підвищити ефективність ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

Ліквідація наслідків надзвичайних ситуацій повинна виконуватися в максимально короткі терміни. У цій діяльності розрізняють три основних етапи (рис.1).

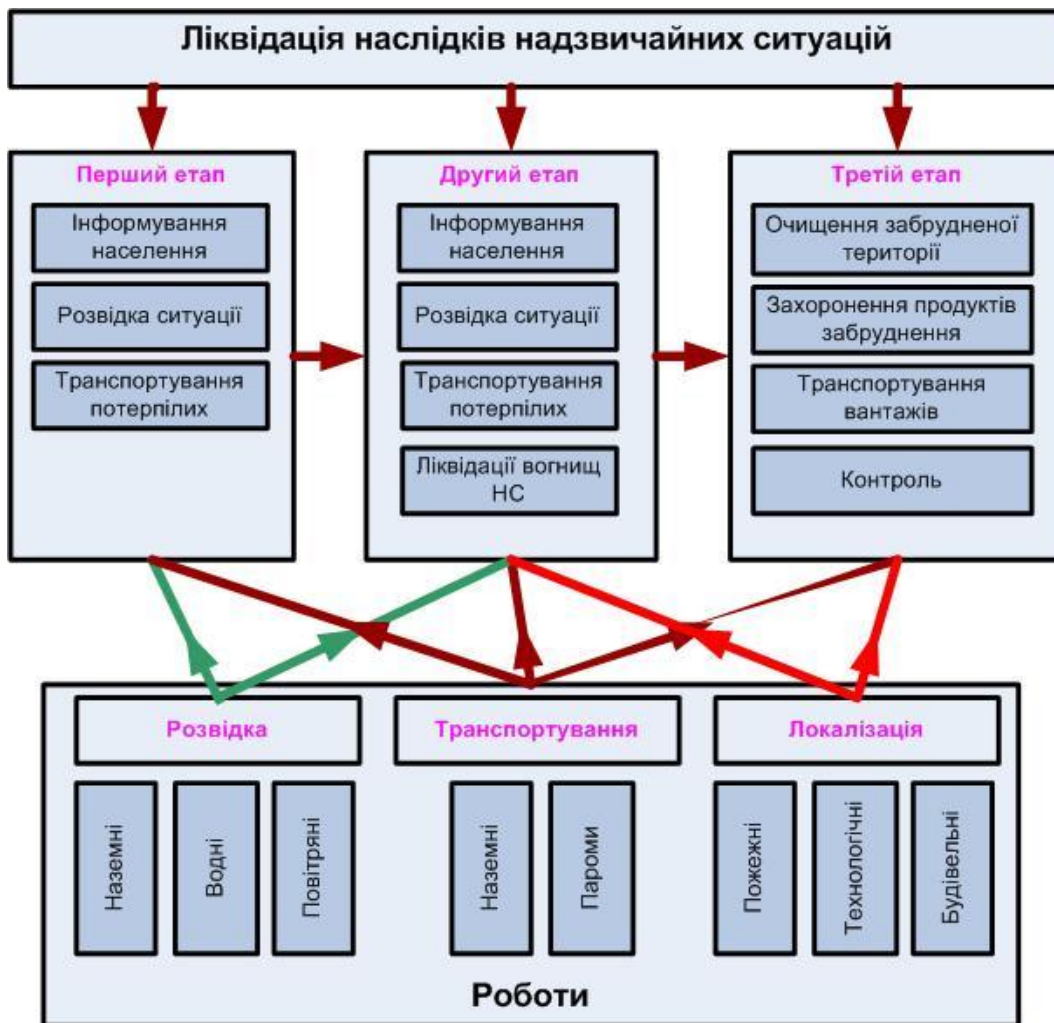


Рис. 1 – Класифікація чинників, що впливають на якість дозування

На всіх трьох етапах можливо і доцільно використовувати мобільні роботи для розвідки і моніторингу ситуації. На кафедрі автомобілебудування Національного університету «Львівська політехніка» проводяться дослідні роботи по створенню малого мобільного робота для розвідки і моніторингу ситуації в місцях надзвичайних ситуацій (рис. 2).



Рис.2 – Дослідний зразок малого мобільного робота для розвідки і моніторингу

В проведених дослідженнях розроблена методика створення малого мобільного робота. На основі заданих вимог проектується конструкція робота, розраховуються його основні тактико-технічні характеристики. Далі за допомогою математичної моделі досліджуються його експлуатаційні властивості з використанням єдиного дослідного циклу. Такий цикл містить окремі елементи ландшафту, в якому буде застосовуватися мобільний робот. Елементи сформовані в окремі зони: а) промислова зона; б) лісова зона; в) поле. Також моделюється можливість функціонування мобільного робота в різні пори року. Результатом моделювання є графіки курсової швидкості, напруги сигналу керування, напруги і струму в каналі керування, тягової потужності електромеханічного приводу, величини крутного моменту на колесах.

Використання мобільних роботів особливо актуально у зв'язку з можливістю зменшення людських втрат при ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій та підвищення безпеки рятувальних робіт. Мобільні роботи можуть використовуватися при трьох етапах ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій: для збору інформації та розвідки, усунення наслідків, транспортування.

#### Список посилань

1. Зінько Р.В. Мобільні роботи в системі пожежної охорони. / Р.В. Зінько, Є.В. Сулоєва // Науковий вісник НЛТУ України: Збірник науково-технічних праць. – Львів: РВВ НЛТУ України. – 2011. – Вип. 21.17. – С. 132-138.

2. Зінько Р.В. Використання мобільних роботів в надзвичайних ситуаціях/ Р.В. Зінько, О.Р. Серкіз, Кутраков О.П., Андюш М.Д. // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки» Луцьк: ЛНТУ. – 2015.– Випуск № 51. – С. 76-80.

УДК 621.923

**Доброскок В.Л.,** докт. техн. наук, профессор  
 Национальный технический университет «ХПИ», vldob314@gmail.com  
**Шпилька А.Н.,** ст. преподаватель  
**Криворот А.И.,** ст. преподаватель  
 Полтавский национальный технический университет им. Ю. Кондратюка,  
 anatoliikryvorot@gmail.com  
**Шпилька Н.Н.** канд. техн. наук, доцент  
 Полтавская государственная аграрная академия, nikolajspilka@gmail.com

### ПРОГРАММНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИБРАЦИЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ В ПРОЦЕССЕ ШЛИФОВАНИЯ

На современном этапе абразивно-алмазная обработка характеризуется поиском путей повышения производительности и экономичности процесса, качества и точности обрабатываемых деталей [1]. Одним из факторов, в значительной мере определяющим эффективность процесса шлифования, является уровень вибраций. Возникает необходимость прогнозирования уровня вибраций исходя из условий обработки (характеристик станка и режимов шлифования) и поиска практических решений по их снижению. В промышленных условиях выполнить данную задачу затруднительно, поэтому целесообразно применение современных средств моделирования.

Модель колебательного контура системы СПИД была собрана из графических блоков библиотеки Matlab (рис.1).

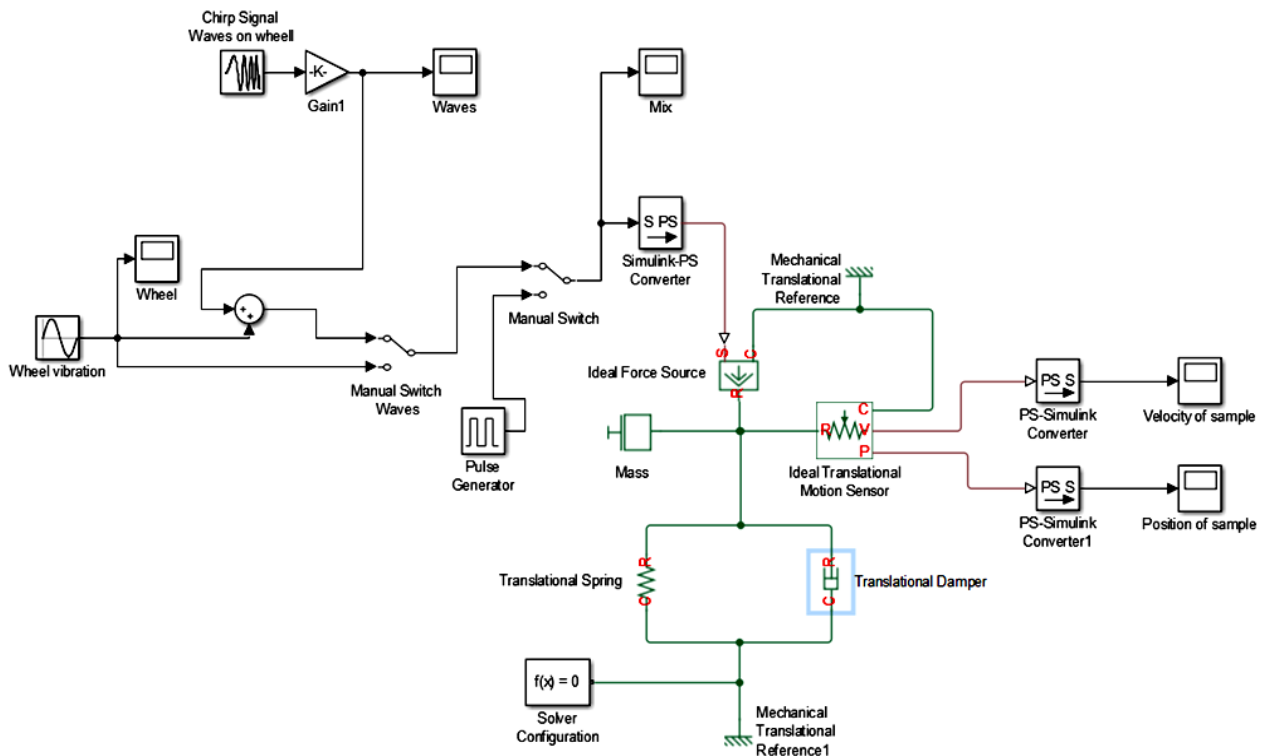


Рис.1 – Моделирование колебаний системы СПИД путем графического программирования в среде Matlab

Представленная модель учитывает приведенную массу (блок «Mass»), приведенную жесткость (блок «Translational Damper») и логарифмический декремент затухания системы [2, 3]. В ходе симуляции процесса шлифования блок «Wheel vibration» генерирует сигнал,



моделирующий биение шлифовального круга, блок «Chirp Signal Waves on wheel» генерирует сигнал, моделирующий воздействие волнистости продольного профиля круга. Далее эти два сигнала микшируются и воздействуют на модель системы СПИД. По завершении процесса моделирования в блоках «Position of sample» и «Velocity of sample» отображаются графики зависимостей положения и скорости обрабатываемого образца от времени.

Результаты моделирования показали, что волнистость продольного профиля шлифовальных кругов с рациональными параметрами в ходе обработки обеспечивает возникновение дополнительной пульсирующей силы. В случае, когда ее частота превышает собственную частоту колебаний системы шлифования, обеспечивается существенное снижение уровня вибрации [4].

#### Список ссылок

1. Доброскок В.Л. Повышение стабильности процесса шлифования путем управления рельефом рабочей поверхности алмазных кругов: Дис... канд. техн. наук: 05.03.01. – Ростов на Дону, 1986. – 253 с.
2. Пановко Я.Г. Введение в теорию механических колебаний / Пановко Я.Г.: Учеб. пособие для вузов. – 3-е изд. – М.: Наука, 1991. – 256 с.
3. Кедров С.С. Колебания металлорежущих станков. / С. С. Кедров. – М.: Машиностроение, 1978. – 199 с.
4. Кумабэ Д. Вибрационное резание: Пер. с яп. С.Л. Масленникова / Под ред. И.И. Портнова, В.В. Белова. – М.: Машиностроение, 1985. – 424 с.

УДК 531

**Ігнатенко П.Л., канд. техн. наук, доцент**

Чернігівський національний технологічний університет

**Галицький В.А., аспірант**

ПАТ Науково-виробниче об'єднання «Київський завод автоматики», Київ, [kza15@ukr.net](mailto:kza15@ukr.net)

### ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ СИСТЕМ ВИМІРЮВАННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЕЛИЧИН НА БАЗІ ГІРОСКОПУ

При проектуванні систем вимірювання механічних величин які забезпечують вимірювання приросту інтегралів проекцій вектора абсолютної кутової швидкості, прискорення, контролем температури датчиків та подальшою обробкою даних, обрано схематичне рішення на основі датчиків кутових швидкостей з динамічно налаштованих гіроскопів (ДНГ) (Рис. 1), датчиків прискорень.

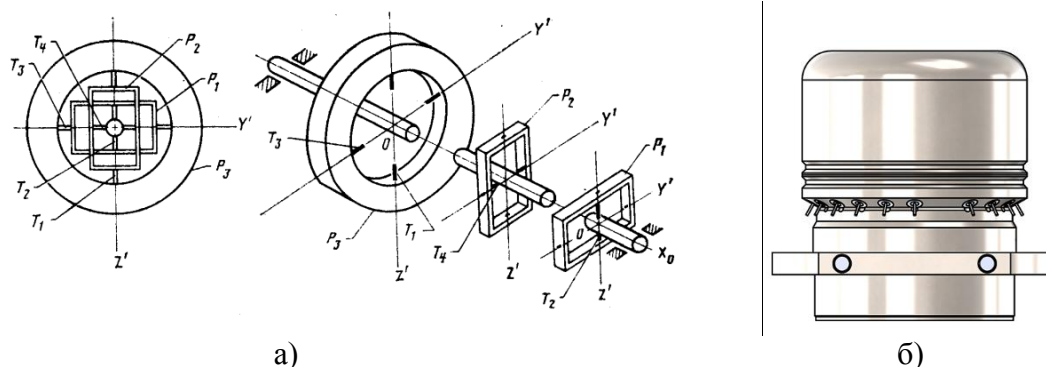


Рис. 1 – Схема (а) та датчик (б) ДНГ

Датчик кутової швидкості виконаний на базі гіроскопу, що має дві осі чутливості, має малі габарити, відноситься до класу приладів, що забезпечують точнісні параметри та чіткі діапазони вимірювання кутових швидкостей.

Датчики цього типу знайшли застосування у високо динамічних рухомих об'єктах. Застосування в датчику електропривода з використанням безколекторного вентильного двигуна (ВД) постійного струму дозволяє знизити енергоспоживання та забезпечити високу стабільність обертання ротора гіроскопа і як наслідок цього високу стабільність кінетичного моменту, що є важливим компонентом стабільності масштабного коефіцієнту.

Динамічне налаштування здійснюється шляхом зміни швидкості обертання ротора з допомогою перепрограмування параметрів блока живлення ВД. Це дозволяє спростити конструкцію підвісу гіроскопу за рахунок виключення механічних елементів динамічного налаштування та знизити собівартість приладу.

Для формування керуючих сигналів блока живлення вентильного двигуна гіроскоп доцільно обладнати додатковими обмотками керування.

При розробці контуру зворотного зв'язку (рис. 2) використання аналогово-цифрових пристроїв з широтно-імпульсним модулятором і стабілізатором струму в ланцюгу датчиків моменту дає необхідні вихідні дані.

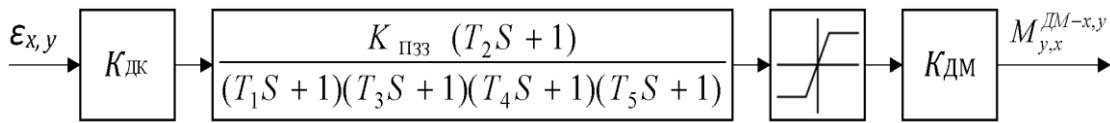


Рис. 2 – Структурна схема каналу зворотного зв'язку

Вибір аналогово-цифрового контуру зворотного зв'язку з ШІМ струму зумовлений тим, що чутливі елементи повинні мати великий діапазон вимірювальних кутових швидкостей і прискорень, а також широкий температурний діапазон роботи.

Застосування ШІМ дозволяє стабілізувати температуру датчиків моменту кутових вимірювачів за рахунок сталості ефективного значення струму в ланцюгу цих датчиків, а також зручно для цифрової техніки формування тривалості імпульсів струму ШІМ. Крім того, в такому контурі реалізовані цифрові передавальні функції, які забезпечують відповідні динамічні характеристики приладу.

В якості чутливого елемента вимірювача прискорення застосовується маятниковий акселерометр компенсаційного типу з підвісом, поєднаним з маятником і фотоелектричним датчиком кутового положення маятника.

Для попередньої обробки аналогових сигналів датчиків кутів гіроскопів застосовуються прецизійні операційні підсилювачі з мінімальним енергоспоживанням. Основний об'єм перетворення та обчислювальних операцій при формуванні складених алгоритмів (рис. 3), управління гіроскопами виконують програмовані мікроконтролери з широким набором вбудованих периферійних пристроїв й інтерфейсів, які підтримують сучасні протоколи обміну інформацією.

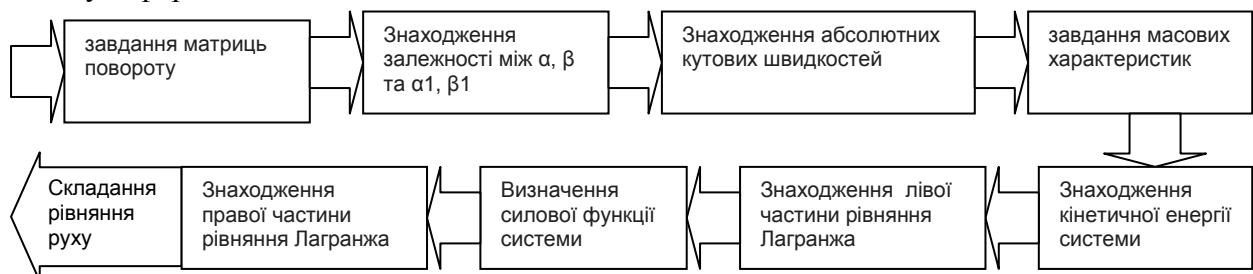


Рис. 3 – Алгоритм роботи програми виведення рівнянь математичної моделі датчика.

В цілях мінімізації пікового значення споживаної потужності виробляється почерговий запуск і живлення електроприводів гіроскопів – вентильних двигунів. В датчиках моменту вимірювального пристрою також застосовується широтно-імпульсні модулятори струму.

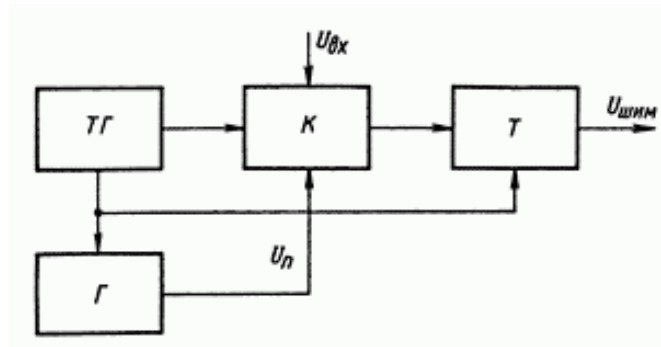


Рис. 4 – Блок-схема перетворювача ШІМ: ТГ- тактовий генератор, К- компаратор, Т- тригер, Г-генератор

Зменшення габаритів і маси сервісної електроніки досягається за рахунок застосування безкаркасних елементів в корпусах SMD – виконання.

Друковані плати, виконують по технології поверхневого монтажу, вони мають підвищену стійкість до зовнішніх механічних впливів.

Моноблочне виконання вимірювальних приладів в цілому зменшує габарити і масу, виключає міжблочні з'єднання.

Розвинута система амортизації дозволяє зменшити зовнішні механічні впливи на елементи приладу, враховуючи жорсткі механічні впливи діючі на прилад у виробі.

#### Список посилань

1. Басараб, М. А. Математическое моделирование физических процессов в гироскопии / М. А. Басараб, В. Ф. Кравченко, В. А. Матвеев. – М. : Радиотехника, 2005 г. – 176 с.
2. Руководство по проектированию элементов систем автоматики [Текст]: учеб. пособие / Е. П. Андришина [и др.]; ред. Б. Н. Петров. – Москва : Высш. шк., 1969. – 318 с.
3. Справочник технолога-приборостроителя в 2-х т. – 2-е изд. перераб. и доп., Т2 / под ред. Е.А.Скороходова – М., «Машиностроение», 1980 – 463 с.
4. Инженерный справочник по космической технике [Текст] / под ред., проф., д-ра техн. наук А.В. Солодова – М., Воениздат, 1969 – 693 с.

УДК 621.941-229.3:531.133

**Колотуха В.А.,** аспірант

**Кузнєцов Ю.М.,** докт. техн. наук, професор

Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», kolotuxa@gmail.com

#### ПРИЛАД ВИМІРЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМИ «ШПИНДЕЛЬ-ПАТРОН-ДЕТАЛЬ»

Одним із напрямків розвитку верстатобудування є створення і випуск техніки, що сполучає в собі функції декількох різноманітних по своєму призначенню механізмів, які прийнято називати багатофункціональною технікою і які широко використовуються в багатоцільових верстатах з ЧПК.

Багатофункціональний затискний механізм (БФЗМ) [1, 4] для одновісних прутків і труб без упору по своїй конструктивній особливості є наслідком об'єднання в одному механізмі декількох механізмів, де за допомогою одного (замість трьох) привода і одного (замість двох) патрона забезпечується маніпулювання в три такти замість семи. Тому актуальним є пошук нових рішень і продовження досліджень для розширення діапазонів діаметрів без переналагоджування.

Основні вимоги, до затискних механізмів (ЗМ) [2] – забезпечення динамічних характеристик при затиску заготовки, забезпечувати її стабільне положення від

прокручування. Для контролю цих та інших динамічних характеристик і був створений даний механізм.

Дана робота присвячена опису конструкції приладу для вимірювання динамічних параметрів БФЗМ, його конструкції та принципу роботи.

Метою роботи є створення автоматизованого верстатного обладнання з ЧПК нового покоління [3] та дослідження динамічних характеристик, які виникають в БФЗМ під час роботи, при визначенні пружних деформацій заготовки під дією радіальної складової сили різання, в податливій системі шпиндель-патрон-деталь (Ш-П-Д).

Для вимірювання динамічних характеристик БФЗМ при обертання затиснутого прутка використовується пристрій динамічних вимірювань (ПДВ-69), показаний на рис.1.

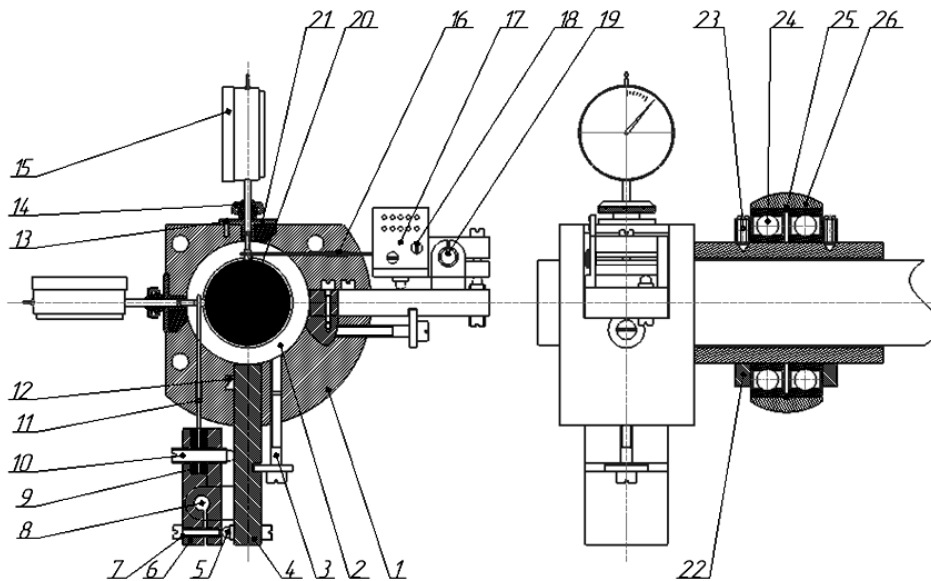


Рис. 1 – Загальний вигляд пристрою динамічних вимірювань (ПДВ-69)

Пристрій ПДВ-69 встановлюється позаду БФЗМ за допомогою сферичної втулки 26, в якій розміщені два шарикопідшипник 24, за допомогою стопорного кільця 22 та гвинта 23 кільце регулювання початкового натягу 25 відбувається максимально точно встановлення приладу відносно осі обертання прутка 20. В корпусі 1 знаходиться оправка- труба 2, за допомогою регулюючого гвинта 3 приводиться до руху повзун 4, який переміщують закріплені на ньому елементи приладу в положення осі, яка проходить через центр затиснутого прутка, гвинт 12 фіксує повзун 4. За допомогою гвинтів 5 і 10, виконується тонке регулювання державка 6, яка закріплена на осі 8. Плитка 9 використовується для фіксування тензометричної балки 11 з наклеєними на неї тензодатчиками 16, яка на іншому кінці знизу має кулькове наплавлення, а зверху слугує опорою для ніжки індикатора часового типу (ціна поділки 0,01мм) 15. Індикатор за допомогою гвинта 13 та цанги 21 фіксується до корпусу 1, гайка 14 слугує для встановлення висоти індикатора 15 і жорсткого затиску його в цанзі 21. На державці 6 за допомогою гвинта 18 та шпінта 19 закріплена плата тензодатчика 17.

Вимірювання потрібно проводити в двох варіантах при нерухомому і рухомому прутку, тобто при обертанні прутка і без обертання. Виміри проводяться мінімум 3 рази для кожного з варіантів. Перед початком роботи потрібно проводити тарування приладу.

Проведення подальших досліджень буде присвячене перевірці роботи БФЗМ при цьому буде перевірено працездатність ПДВ-69 та проведення його модернізації в разі потреби.

**Висновок.** Дослідження динамічних характеристик дасть змогу чітко визначити відхилення основних параметрів в системі шпиндель-патрон-деталь, що в свою чергу

дасть змогу зробити висновок про працездатність БФМЗ. В подальшому можлива модернізація приладу і заміна аналогових елементів на цифрові перетворювачі, що в свою чергу значно спростить конструкцію та підвищить точність вимірів, але це все можливе лише після виготовлення всіх елементів стенду та проведення експерименту.

#### Список посилань

1. Кузнецов Ю.М. Синтез зажимных механизмов прутковых автоматов. [Текст]/ Кузнецов Ю.М. // дис.... докт. техн. наук, Москва, МВТУ им. Баумана, 1984. – 515 с.
2. Кузнецов Ю.Н. Зажимные механизмы для высокоскоростной и высокоточной обработки резанием: монография / Ю.Н. Кузнецов, В.Н. Волошин, П.М. Неделчева, Ф.В. Эль-Дахаби; под ред. Ю.Н. Кузнецова. – Габрово: Университетское издательство «Васил Априлов», 2010. – 710 с.
3. Кузнецов Ю.Н. Эволюционный и генетический синтез технологического оборудования нового поколения [Текст] / Кузнецов Ю.Н. // Резание и инструмент в технологических системах Междунар. науч.-техн сб. - Харьков: НТУ «ХПИ». – 2008. – Вып.85. – С.149-162.
4. Эль Рашины Хусейн Али. Анализ и синтез многофункциональных подающих и зажимных механизмов прутковых автоматов. [Текст]/ Эль Рашины Хусейн Али// Автореф. дис... канд. техн. наук.– К.: КПИ, 1994. – 20 с.

УДК 621.9.048.4

**Чаругин Н.В., канд.тех.наук, доцент**  
**Илюшина В.М., студент**

Одесский национальный политехнический университет, renny4ren@gmail.com

### **ВЛИЯНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ПРИ ТЕРМОПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЯХ**

Сложные процессы, наблюдаемые при обработке металлов и сплавов резанием или поверхностно-пластических деформациях показывают, что ошибочно характеризовать их как чисто механические. Образование новых ювенильных поверхностей и сложные деформационные процессы в поверхностных и подповерхностных слоях обрабатываемого материала представляют сложные физико-химико-механические явления [1].

В процессе реализованной многократной, нормированной по величине, пластической деформации происходит субструктурное укрепление, вызывающее повышение энергоёмкости металла. Согласно энергетической теории прочности, упрочнение имеет два аспекта, а именно, повышение плотности заторможенных дислокаций и предотвращение критической концентрации дефектов в локальных микрообъёмах, предрасположенных к возникновению хрупкой трещины разрушения. Сложность в оценке поглощенной энергии при механическом нагружении заключается в неравномерности ее распределения в деформируемом объеме из-за анизотропности и несовершенства строения кристаллической решетки.

В случае адсорбционного понижения плотности дислокации в локальных микрообъёмах можно оказывать влияние на процессы пластической деформации металлов и сплавов в процессе обработки.

Аналогичные термо-циклические процессы в поверхностных и подповерхностных слоях наблюдаются в формировании упрочняющих покрытий при электроискровом, плазменном и вакуумно-дуговом методах обработки[2].

Нами рассматривались адсорбционные влияния на данные процессы, как поверхностно-активных веществ (ПАВ), так и поверхностно-активных металлов (ПАМ), а также ионизирующего гамма-излучения[3].

Исследование подтвердило существенную роль исходного состава технологической среды на всех стадиях развития разряда и разрушение материала электродов, как катода,

так и анода. Так же, как при механической деформации, снижение межфазной поверхностной энергии металла позволяет влиять на динамику энергонасыщения поверхностных слоев электродов и тем самым управлять технологическими характеристиками процесса.

### Список ссылок

1. Ребиндер П.А. Поверхностные явления в твердых телах в процессе их деформации и разрушения [Текст] / Ребиндер П.А., Щукин Е.Д. / Успехи физических наук. – 1972 – 108, №1 – с.1 – 39.
2. Чаругин Н.В. Физико-химические явления при электроискровом легировании материалов [Текст] / Н.В. Чаругин, Н.Г Мещеряков. / Физико-химическая механика материалов – 1989 – с.43-48.
3. Charugin N.V., Zhang Kun Wear-Resistant Coating on the Metalcutting Instruments with the Forecasted Properties [Текст]/ N.V.Charugin, Kun Zang/Modern Design, Manufacturing and Measurement. Beijing China – 1993 – p.210-212.

УДК 531

Передерко А.Л., канд. техн. наук

Одесска державна академія технічного регулювання та якості, [pal88@ukr.net](mailto:pal88@ukr.net)

## ПРЕЦИЗИЙНИЙ КОНТАКТНИЙ ВИМІРЮВАЧ ПЕРЕМІЩЕННЯ

Для вимірювання механічних величин в технічних системах при виготовленні, випробуваннях, діагностиці вузлів та механізмів важливе місце займають прилади прецизійного вимірювання переміщення контактним методом.

Один з перспективних шляхів створення високоточних приладів вимірювання та контролю переміщення - використання індуктивних перетворювачів з цифровим відліком результату вимірювання.

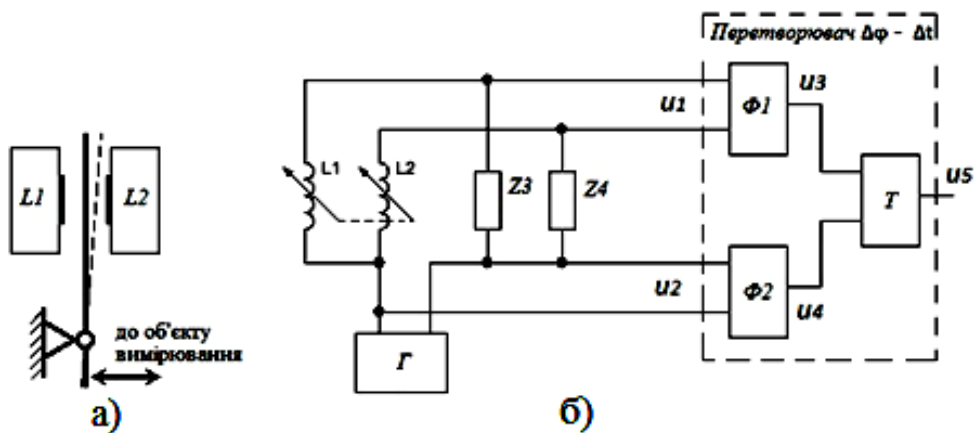


Рис.1 – Структурні схеми вимірювача переміщення: а) механічна, б) електрична.

Структурна схема пристрою зображена на рис.1 містить диференційний індуктивний датчик, обмотки якого  $L1$ ,  $L2$ , а також врівноважуючі опори  $Z3$  і  $Z4$ , джерело живлення – генератор сигналу синусоїдальної форми  $\Gamma$ , включений в діагональ живлення мостової схеми. Для формування сигналу вимірювання застосовано перетворювач різниці фаз опорного сигналу живлення з генератора  $\Gamma$  та сигналу з вимірювальної діагоналі мостової схеми. Підбір величин опорів врівноважуючих резисторів мінімізує похибку вимірювання переміщень шляхом зменшення впливу нестабільності активних опорів обмоток датчика. Чутливість пристрою при частоті генератора 6,0 кГц становить 3,5 мкА/мкм, температурна похибка,  $3E10^{-3}$  мм/°C.

### Список посилань

1. Агейкин Д.И. Датчики контроля и регулирования/ Д.И. Агейкин, Е.Н.Костина, Н.Н.Кузнецов. – М.:Машиностроение, 1965. – 914 с.

2. Осадчий Е.П. Проектирование датчиков для измерения механических величин / Под ред. Е.П. Осадчего. – М.:Машиностроение, 1979.– 480 с.

УДК (07) 608.1/.6:347.77/.78

**Ромашко А.С., канд.техн. наук, доцент**  
**Юрчишин О.Я., канд.техн. наук, доцент**  
Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського»,  
urchyshynoks@ukr.net

## **РИЗИКИ РОЗГОЛОШЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ З ОБМЕЖЕНИМ ДОСТУПОМ**

Сучасне суспільство характеризується швидкими темпами розповсюдження інформації та спрощеними можливостями доступу до неї. Однак, існує інформація, доступ до якої може нанести шкоду безпеці окремих осіб чи держави загалом. Зокрема, це стосується і інформації, яка є результатом творчої інтелектуальної діяльності [1].

Стосовно такої інформації можливі ризики розголошення особами, які її створили і які не мають відповідних компетенцій перевірки її на секретність: інформація на суттєвість не перевіряється; інформація неналежним чином перевіряється на суттєвість; інформація розголошується перед охороною (публікації, інтерв'ю, доповіді); інформація стосується промислового зразка секретність якого не передбачена і може зашкодити національній безпеці (в разі патентування); інформація стосується комерційної таємниці і може бути використана її власником, чи передана іншій особі зі шкодою національній безпеці; не здійснені адекватні заходи, щодо нелегкодоступності інформації; особисті якості осіб, а також компетенції осіб, що мають доступ до інформації.

Якщо інформація створена особами, які мають відношення до режимно-секретної служби, існує можливість її перевірки критеріям незагальновідомості та суттєвості (застосовується для таємної інформації), а також додатково для службової інформації та таємної інформації за «трискладовим тестом» і Зводом відомостей, що становлять державну таємницю [2].

Як видно із вище наведеного, існує значна кількість ризиків розголошення інформації, тобто ризиків розкриття і ризиків втрати отримання можливої вигоди за результат творчої інтелектуальної діяльності як творця, так і завдання шкоди безпеці держави. Тому необхідно вживати максимальних заходів щодо уникнення чи зменшення таких ризиків, і зведення їх до мінімально обгрунтованого рівня – найнижчого практичного рівня, що залишається після вжиття захисних заходів.

Однак, не існує єдиного підходу до аналізу та виявлення ризиків, і не існує єдиного підходу до боротьби із ними. Для ефективного аналізу та розробки методів уникнення ризиків, рекомендовано визначитись із тим, до якого із об'єктів права інтелектуальної власності відноситься інформація, визначити окремі (елементарні) ризики, що можуть виникнути при її оприлюдненні, та, за можливості, систематизувати їх і ранжувати за ступенем важливості. Якщо в результаті творчого процесу виникає декілька об'єктів права інтелектуальної власності, корисним буде об'єднувати подібні ризики щодо окремих об'єктів, що дозволить розробляти єдині методи боротьби з ними та дозволить скоротити час і ресурси, направлені на їх уникнення. Безумовно основним ризиком залишаються компетенції осіб, що мають доступ до інформації та їх особисті якості.

### **Список посилань**

1. Закон України "Про доступ до публічної інформації". Закон від 13.01.2011 № 2939-VI. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2939-17>.

2. Звід відомостей, що становлять державну таємницю від 12.08.2005 № 440. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0902-05>.

УДК 621.923

Музичка Д.Г., канд. техн. наук, доцент  
 Солод В.Ю., канд. техн. наук, доцент  
 Шульга А.С., канд. техн. наук, доцент  
 Кашинський І.С., асистент

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське, [kafedra\\_tm@ukr.net](mailto:kafedra_tm@ukr.net)

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗВ'ЯЗОК НА ТЕОРЕТИЧНУ ДОВЖИНУ ТВІРНОЇ ГОЛОВНОГО РІЗАЛЬНОГО КОНУСУ

При прогнозуванні показників працездатності алмазного шліфувального інструменту при обробці твердих сплавів однією з важливих теоретичних проблем є опис закономірностей зносу робочої поверхні круга [1, 2, 3]. Закономірності формування профілю робочої поверхні шліфувального круга залежать від умов обробки. Виконані раніше дослідження [4, 5] показали, що довжина твірної головного різального конусу (ГРК) може розглядатися як один з показників працездатності інструменту. Передбачається, що ефективно використання абразивного інструменту можливе при підборі таких характеристик шліфувальних кругів і режимів різання, при яких інструмент працюватиме в режимі самозаточування, тобто матиме трикутну форму профілю.

При дослідженні впливу теплофізичних характеристик на довжину твірної ГРК моделювалася обробка твердих сплавів ВК6 і Т15К6 алмазними кругами 12А2-45° АС6 100/80 100%-ої концентрації на полімерній В2-01 і металевих зв'язках М1-04, М2-01.

Теплопровідність змінювалася в межах: для полімерної зв'язки В2-01 –  $0,5 \div 0,9$  Вт/(м·°С); металевих зв'язок М1-04 –  $160 \div 240$  Вт/(м·°С) і М2-01 –  $230 \div 310$  Вт/(м·°С). Аналіз отриманих результатів (рис. 1) показав, що мінімальні температурні напруження спостерігаються при роботі круга на металевій зв'язці М2-01, яка має найбільшу теплопровідність. Збільшення теплопровідності в 1,5 рази зменшує довжину твірної ГРК у 1,5 рази при обробці кругами з гострими зернами на зв'язці М1-04 і у 1,4 рази – при обробці на зв'язці М2-01 незалежно від марки твердого сплаву.

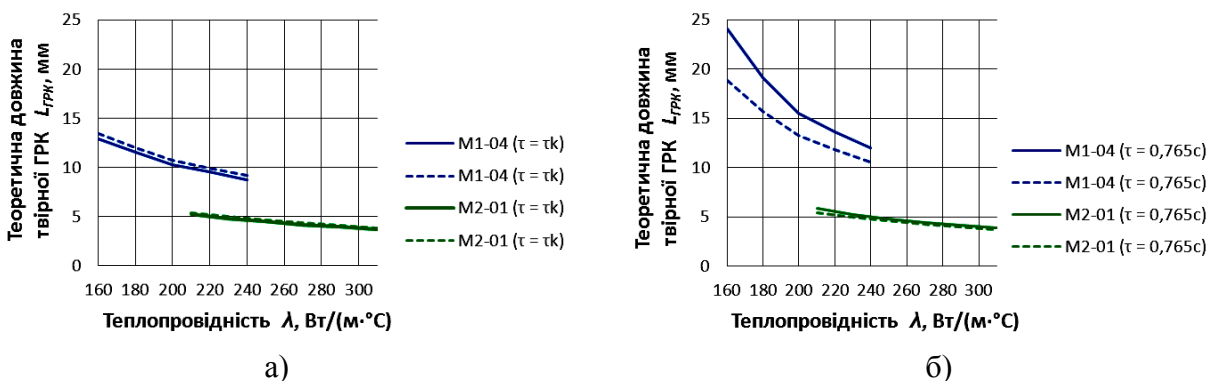


Рис. 1 – Вплив теплопровідності зв'язки круга на довжину твірної ГРК при обробці твердих сплавів Т15К6 (—) і ВК6 (- - -) алмазним кругом на металевих зв'язках: а) незношене зерно; б) зерно з площадкою зносу

Проте, при обробці кругом на зв'язці М1-04 з появою на зернах площадок зносу вплив марки матеріалу стає помітним: збільшення теплопровідності у 1,5 рази призводить до збільшення довжини твірної ГРК у 1,8 рази для твердого сплаву ВК6 и у 2 рази – для твердого сплаву Т15К6, на відміну від зв'язки М2-01, при зміні теплопровідності якої в тому ж діапазоні довжина твірної ГРК зменшується у 1,5 рази, як для сплаву ВК6, так і для сплаву Т15К6.

Таким чином, завдяки більш високій теплопровідності кругів на металевих зв'язках у



порівнянні з кругами на полімерних зв'язках знижується теплова напруженість процесу шліфування. Застосування зв'язок з нижчою теплопровідністю викликає зростання температурних напружень і, як наслідок, підвищений знос круга.

Зв'язка В2-01 має низьку теплопровідність, внаслідок чого вона досить чутлива до теплових дій в контактній зоні. Нагрів зв'язки вище за температуру склування призводить до вигорання зв'язуючого, тому такі круги не схильні до засалювання і не вимагають примусової правки, працюючи в режимі самозаточування. Аналіз отриманих кривих показав, що теплопровідність полімерної зв'язки В2-01 впливу на довжину твірної ГРК не оказує (при різанні незношеними зернами) або впливає досить незначно (при різанні зернами, що мають площадки зносу), викликаючи зменшення теоретичної довжини твірної ГРК при збільшенні коефіцієнта теплопровідності зв'язки круга.

Дослідження впливу температуропровідності зв'язок проводилося в наступних діапазонах: полімерної В2-01 –  $(0,2 \div 0,6) \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}^2$ ; металевих М1-04 і М2-01 –  $(0,4 \div 1,2) \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}^2$ . Встановлено, що зі збільшенням температуропровідності теоретична довжина твірної ГРК зростає інтенсивніше для металевих зв'язок М1-04, а для зв'язки М2-01 і полімерної зв'язки В2-01 інтенсивність росту напружень, а, отже, і довжини твірної ГРК, незначні (рис. 2). Аналіз кривих показав, що довжина твірної ГРК для зв'язки М2-01 при різанні як гострими, так і зношеними зернами, в 3-4 рази нижче, ніж для зв'язок М1-04 і В2-01, що свідчить про підвищену зносостійкість цієї зв'язки.

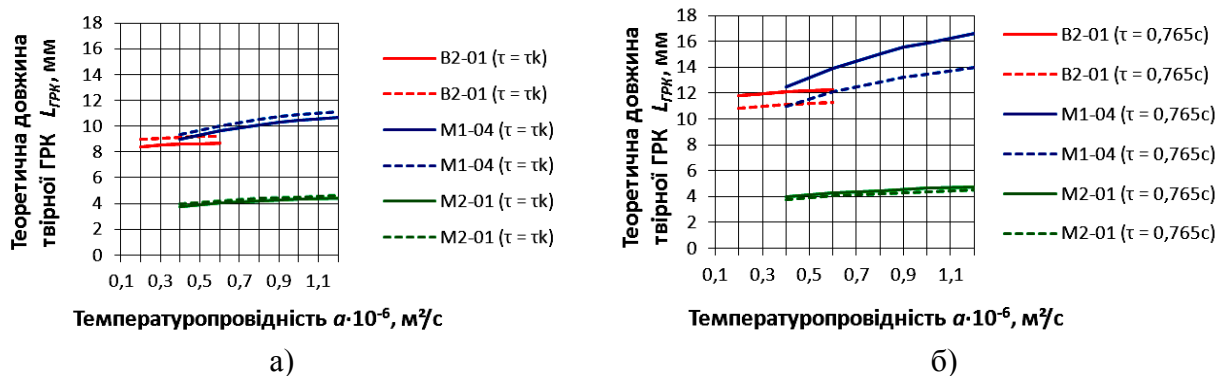


Рис. 2 – Вплив температуропровідності зв'язки круга на довжину твірної ГРК при обробці твердих сплавів Т15К6 (—) і ВК6 (- - -): а) незношене зерно; б) зерно з площадкою зносу

Таким чином, зміною теплофізичних характеристик шліфувального круга можна спрямовано змінити довжину твірної ГРК у радіальному перерізі різальної поверхні шліфувального круга: для зменшення довжини твірної ГРК необхідно зменшити температуропровідність або збільшити теплопровідність зв'язки круга.

#### Список посилань

1. Захаренко И.П. Основы алмазной обработки твердосплавного инструмента / И.П. Захаренко. – Киев: Наук. думка, 1981. – 300 с.
2. Лавриненко В.И. Электрошлифование инструментальных материалов / В.И. Лавриненко. – Київ: Наукова думка, 1993. – 155 с.
3. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки / А.Н. Резников. – М.: Машиностроение, 1981. – 279 с.
4. Муzychка Д.Г. Прогнозирование показателей работоспособности алмазного шлифовального инструмента. / Д.Г. Муzychка // Математичні проблеми технічної механіки: Матер. Міжнародної наукової конференції, 14-17 квітня 2015 р., м. Дніпродзержинськ-Черкаси. – Дніпродзержинськ, 2015. – С. 127–128.
5. Муzychка Д.Г. Дослідження впливу режимів різання на теоретичну довжину твірної головного різального конусу / Д.Г. Муzychка, В.Ю. Солод, І.С. Кашинський // Вісник Херсонського націон. техн. ун-ту. – Херсон: ХНТУ. – 2018. – № 4(67). – С. 105-110.

УДК 004.652.2:621.7.044.001.24(076.5)

Третяк В. В., канд. техн. наук, доцент  
Федорова А. С., аспірант  
Некрашевич А. О., аспірант  
Бондарєва К. В., аспірант

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», v.tretyak@khai.edu

## СПОСІБ ШТАМПУВАННЯ КОРОБЧАСТИХ ДЕТАЛЕЙ

Представлений спосіб відноситься до техніки обробки металів тиском і може бути використаний у машинобудуванні при штампуванні коробчастих деталей з листового матеріалу.

В якості прототипу вибраний спосіб штампування днищ (Патент на корисну модель України №104002, опубл. 12.01.2015, бюл. №1), який включає попередню деформацію листової заготовки та остаточне формоутворення, які проводять одночасно в дзеркально розташованих матрицях, причому попередню деформацію проводять з отриманням заготовки-напівфабрикату, для чого під матрицю встановлюють діафрагму, контр-матрицю та підмодельну плиту, одночасно в іншій матриці вакуумують середовище під заготовкою-напівфабрикатом, камеру заповнюють рідиною з джерелом імпульсного навантаження та здійснюють імпульсне навантаження, після отримання деталі її знімають, за допомогою поворотного пристрою дзеркально-розташовані матриці міняють місцями та повторюють процес.

Недоліком прототипу є мала продуктивність роботи завдяки довготривалій підготовці процесу. Крім цього складність форми коробчастих деталей потребує складної форми контр-матриці, оптимальна форма якої може бути встановлена тільки за допомогою спеціальних експериментів, що призводить до витрат коштів і часу на апробацію і налагодження технології на оснащенні з високоміцного матеріалу.

В основу корисної моделі поставлено задачу підвищення економічності за рахунок зменшення часу на підготовку і налагодження процесу штампування, а також спрощення конструкції пристрою, використання оснащення з дешевого матеріалу.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі штампування коробчастих деталей, який включає попередню деформацію листової заготовки для отримання заготовки-напівфабрикату та її остаточне формоутворення, які проводять одночасно імпульсним навантаженням в дзеркально-розташованих матрицях, в матриці для остаточного формоутворення вакуумують середовище під заготовкою-напівфабрикатом, камеру з джерелом імпульсного навантаження заповнюють рідиною та здійснюють імпульсне навантаження, з матриці для остаточного формоутворення знімають готову деталь, за допомогою поворотного пристрою матриці міняють місцями та процес, згідно з корисною моделлю, остаточне формоутворення здійснюють в верхній матриці, а для отримання заготовки-напівфабрикату в нижній матриці на заготівку встановлюють приєднану масу, в порожнину між заготовкою і донною частиною нижньої матриці закачують рідину.

На рис. 1. зображена схема пристрою для штампування коробчастих деталей імпульсними джерелами енергії. Пристрій містить дзеркально розташовані нижню і верхню 2 матриці 1 з притискними кільцями 2 та прокладкою 3 між ними, що з'єднані притискними елементами 9. Заготовка і заготівка-напівфабрикат 5 притиснені між матрицями 1 та притискними кільцями 2. Над заготівкою 5 коаксіально профілю коробчастої деталі в плані встановлена приєднана маса 6 з масивного матеріалу. Порожнина між заготівкою і, заготівкою-напівфабрикатом 5, притискними кільцями 2 та кільцевою прокладкою 3 являє собою камеру імпульсного навантаження, яка заповнена рідиною 8 з джерелом імпульсного навантаження 7. Порожнина між заготовкою 5 і донною частиною нижньої матриці 1 також заповнена рідиною 8. До нижньої 1 та

верхньої 2 матриць під'єднані канали 11, з'єднані з насосом 10. Встановлений поворотний пристрій 9 для розвороту камери на  $180^{\circ}$  відносно горизонтальної вісі.

Спосіб штампування коробчастих деталей реалізується таким чином. На нижню матрицю 1 встановлюють заготовку 5, на яку встановлюють приєднану масу 6. Під верхньою матрицею 2 розміщена заготівка-напівфабрикат 5. Верхню 2 і нижню 1 матриці, притискні кільця 12, прокладку 3, заготовку 5, заготовку-напівфабрикат 5 і приєднану масу 6 з'єднують притискними елементами 4. Порожнину між заготовкою-напівфабрикатом і верхньою матрицею 2 вакуумують. Камеру імпульсного навантаження заповнюють рідиною 8 з джерелом імпульсного навантаження 7.

Порожнину між заготівкою 5 і донною частиною нижньої матриці 1 також заповнюють рідиною 8 по каналам 11 насосом 10. При ініціюванні джерела імпульсного навантаження 7 в нижній частині пристрою отримують заготовку-напівфабрикат 5. В верхній частині пристрою отримують остаточну форму деталі. Після процесу формування рідину зливають з камери імпульсного навантаження, а також з порожнини між заготівкою 5 і нижньою матрицею 1. За допомогою поворотного пристрою 9 дзеркально-розташовані матриці міняють місцями та процес повторюють.

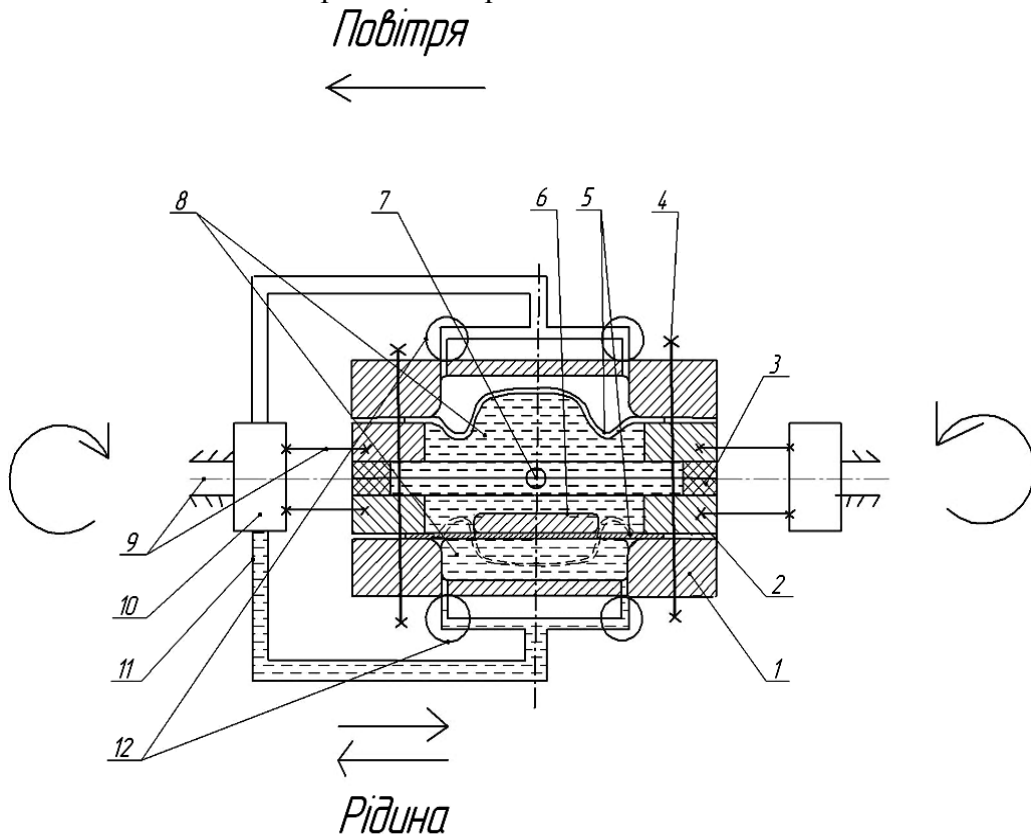


Рис 1 – Схема пристрою для штампування коробчастих деталей імпульсними джерелами енергії.

Таким чином, одночасне штампування заготівки-напівфабрикату в верхній матриці та остаточне штампування деталі в нижній матриці призводить до економії часу, а також внаслідок перегрупування деформацій при попередньому деформуванні і остаточному формоутворенні коробчата деталь буде мати рівномірне поле деформацій. На представлений спосіб отримано патент на корисну модель. Спосіб може бути використаний як на виробництві для виробництва складних листових деталей, так і в навчальному процесі для підготовки фахівців даного профілю

УДК 621.914

Данильченко Ю.М., докт. техн. наук, професор  
Петришин А.І., канд. техн. наук

Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», m.p3shka.a.i@gmail.com

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ВЛАСНИХ ЧАСТОТ ПРУЖНОЇ СИСТЕМИ «ІНСТРУМЕНТ-ЗАГОТОВКА» ПРИ КІНЦЕВОМУ ФРЕЗЕРУВАННІ ТОНКОЇ ПЛАСТИНКИ

При кінцевому фрезеруванні тонкостінних елементів деталей існує декілька відмінних за характером коливань швидкісних зон обробки. Кожна з зон характеризується своєю комбінацією власних, вимушених і автоколивань, та їх впливом на якість обробки [1]. Разом з тим, частота власних коливань заготовки без різання і в процесі різання може відрізнитись. Це пояснюється зміною жорсткості системи «інструмент-заготовка» при зміні умов їх контактної взаємодії, що теоретично доведено для процесу поздовжнього точіння [2].

Для підтвердження впливу контактної взаємодії інструменту і заготовки на власну частоту пластинки при кінцевому фрезеруванні був проведений експеримент. Пластинка із сталі Ст3 габаритами 120/60/4 мм (Д/Ш/Т) вертикально (консольно) закріплювалась на столі фрезерного верстата. П'єзоакселерометр кріпився на пластинці. Виміряна перша власна частота пластинки становила 292 Гц.

Власна частота пластинки під час обробки визначалась за спектром її коливань при наступних параметрах обробки: частота обертання інструменту  $n_{шп}=600 \text{ хв}^{-1}$ , глибина різання:  $t=0.3 \text{ мм}$ ; подача на хвилину:  $s_{хв}=68 \text{ мм/хв.}$ ; подача на зуб:  $s_{зуб}=34 \text{ мм/хв.}$

Параметри інструменту: фреза кінцева сферична; діаметр ріжучої частини:  $D=16 \text{ мм}$ ; діаметр хвостовика  $d=16 \text{ мм}$ ; довжина фрези  $L=125 \text{ мм}$ ; вистав фрези:  $l=80 \text{ мм}$ ; кількість зубів  $z=2$ ; твердосплавна пластинка RC16, матеріал PC210F.

Результати експериментального дослідження (рис. 1) свідчать - контактна взаємодія призводить до зростання жорсткості системи «інструмент-заготовка» і відповідного зростання її першої власної частоти.

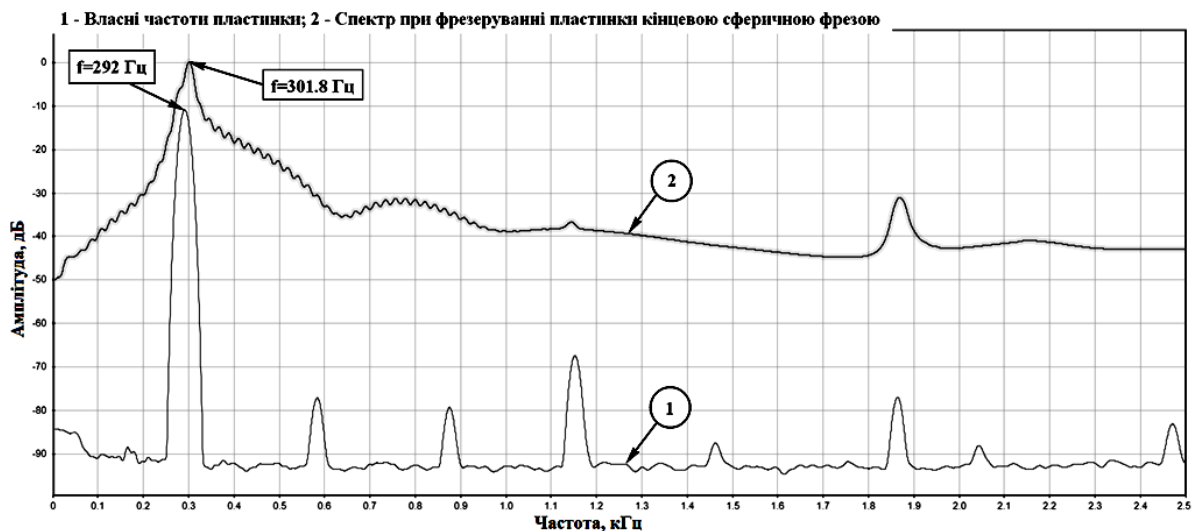


Рис. 1 – Власні частоти пластинки без різання (1) і в процесі різання (2)

### Список посилань

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

2. Данильченко М.А. Исследование влияния контактного взаимодействия заготовки и инструмента на динамические характеристики токарного станка / М. А. Данильченко, А. И. Петришин // Вісник НТУУ «КПІ», серія Машинобудування. – №77. – 2016. – С.140-146.

УДК 621.9.02

Лаппо І. М., канд. техн. наук  
Кулинич С. П.  
Червотока О. В.  
Геращенко М. О.

Державний НДІ випробувань і сертифікації озброєння і військової техніки, м. Чернігів,  
irinalappo@i.ua

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КЕРОВАНИХ ПАРАМЕТРІВ В ЗОНІ РІЗАННЯ НА ТОЧНІСТЬ ПРОФІЛЮ ОТВОРУ ПІД ЧАС ОБРОБЛЕННЯ ОСЬОВИМ ІНСТРУМЕНТОМ

Оброблення отворів осьовим інструментом є однією з найбільш відповідальних операцій механічного оброблення, оскільки більшість отворів є базовими поверхнями для інших деталей. Для забезпечення потрібної якості отвору під час його оброблення осьовим лезовим інструментом зазвичай застосовують операції чистового оброблення – розверстування та зенкерування, яким притаманні мінімальні швидкості різання. Однак, навіть такі режими не дозволяють повністю усунути похибки профілю отвору, який має характерну бочкоподібну форму, що пов'язано з особливостями температурних деформацій деталі та інструменту. Тому для оцінювання точності профілю отвору важливою науковою та практичною задачею є прогнозування температурного стану деталі та інструменту в зоні різання [1].

Відомо, що однією з причин, яка викликає спотворення поперечного профілю отвору під час його оброблення осьовим інструментом є температурні деформації деталі в зоні різання [2, 3]. В роботах [2-5] було показано, що навіть при мінімальних режимах різання, характерних для операцій чистового оброблення отворів, форма профілю отвору має виражений бочкоподібний вид, тому на даний час основними методами усунення або мінімізації спотворення профілю отвору є компенсація взаємного впливу різних параметрів, що впливають на спотворення профілю деталі й диференціація величини найбільш важливих керованих параметрів по глибині отвору [3]. З урахуванням цього були поставлені **завдання** виявлення найбільш важливих вхідних параметрів, що впливають на температурні деформації деталі, величиною яких можна керувати при розробленні технологічних процесів чистового оброблення отворів, та визначення ступеня їх впливу.

Відомо, що одним із основних небажаних наслідків впливу температурних деформацій на точність оброблення отвору є спотворення його профілю, яке приймає характерну бочкоподібну форму. Аналіз складових похибки оброблення отвору показав, що при малих швидкостях різання, характерних для чистових операцій оброблення отвору, сумарна похибка діаметра в довільному перерізі отвору залежить від величини температурних деформацій деталі  $\delta_1$  і інструмента  $\delta_2$ , пружних контактних деформацій деталі  $\delta_3$  і інструмента  $\delta_4$  по задній поверхні інструмента (рис. 1).

В результаті досліджень було встановлено, що параметри  $\delta_3$  і  $\delta_4$  практично постійні по всій довжині отвору, а  $\delta_1$  і  $\delta_2$  мають складну нелінійну залежність від глибини оброблення отвору  $x$ . Пружні зміщення контактних поверхонь інструмента  $\delta_4$  і деталі  $\delta_3$  сприяють усадці отвору, температурні деформації інструмента  $\delta_2$  сприяють розбиттю отвору, а температурні деформації деталі  $\delta_1$  в залежності від товщини стінок можуть викликати як розбиття отвору, так і його усадку. Встановлено також, що овальність профілю на початку

отвору визначається нелінійністю температурних деформацій інструмента й деталі. Бочкоподібна форма в кінці отвору визначається тільки температурними деформаціями деталі.

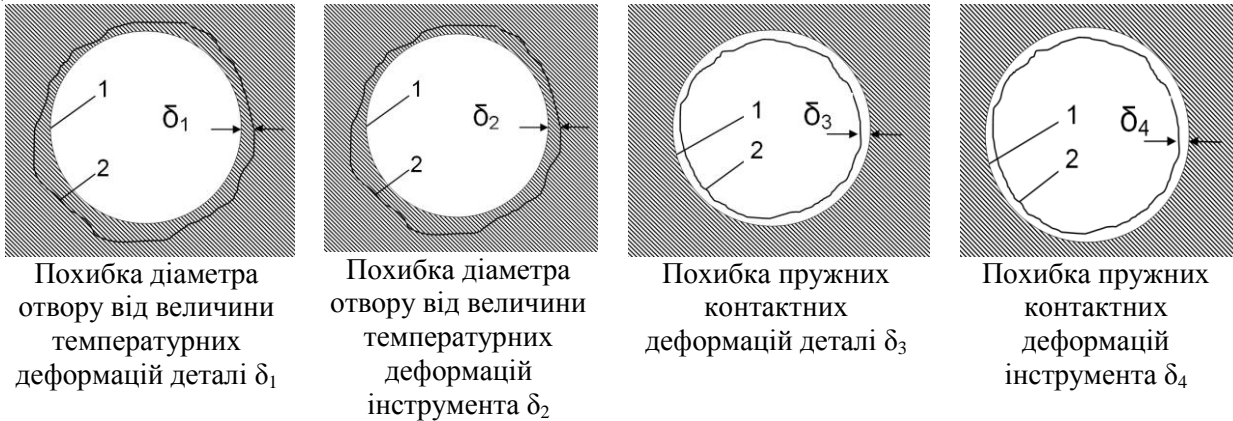


Рис. 1 – Складові похибки оброблення отвору

В ході проведеного дослідження були вирішені поставлені завдання:

- виявлені найбільш важливі вхідні параметри, що впливають на температурні деформації деталі, величиною яких можна управляти під час розробки технологічних процесів чистової обробки отворів – це режими різання: швидкість різання  $V$ , подача  $S$ , глибина різання  $t$ ;
- визначено ступінь їхнього впливу: температурний стан в зоні різання в значній мірі залежить від швидкості різання, в меншій – від подачі і зовсім незначний вплив надає глибина різання.

Невирішеним є питання залежності температурних деформацій від теплофізичних властивостей матеріалу деталі. Насущними і перспективними завданнями подальших досліджень є компенсація взаємного впливу параметрів, що впливають на спотворення профілю деталі й диференціація величини найбільш важливих керованих параметрів по глибині отвору.

#### Список посилань

1. Татьяначенко, А. Г. Особенности развития тепловых процессов при чистовой обработке отверстий комбинированным осевым инструментом [Текст] / А. Г. Татьяначенко, И. Н. Лаппо // Вісник СевНТУ: зб. наук. пр. Серія: Машиноприладобудування та транспорт. – Севастополь. – 2013. – Вип. 140/213. – С. 178-183.
2. Резников, А. Н. Термоупругие деформации изделия и инструмента в процессе развертывания [Текст] / А. Н. Резников, Л. Е. Яценко // Теплофизика технологических процессов: межвед. науч. сб. – Саратов: Изд. Саратовского ун-та, 1973. – Вып.1.– С. 24–35.
3. Татьяначенко, О. Г. Теоретичні основи прогнозування термопружних деформацій осьового інструменту і деталі і їх вплив на точність обробки отворів : автореф. дис. д-ра техн. наук :05.03.01 «Процеси механічної обробки, верстати і інструменти»/ О. Г. Татьяначенко. – Д.: ДонНТУ, 2006. – 36 с.
4. Tatiachenko, A.G. Perspectives of heightening of exactitude fair handlings of holes by the axial instrument / A. G. Tatiachenko, I. N. Lappo, T. M. Brizhan // IX Международная конференция «Strategy of Quality in Industry and Education»: Материалы. В 3-х томах. Международный научный журнал Acta Universitatis Pontica Euxinus. – Варна. – 2013. – Т. 3. - С. 202-207.
5. Малышко, И. А. Температурные деформации детали при обработке отверстий [Текст] / И. А. Малышко, А. Г. Татьяначенко // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: международный сборник научных трудов.– Донецк, 2001. – Вып.17. – С. 45-51.

УДК 621.941 – 229:531.7

Петришин А.І., канд. техн. наук  
Данильченко М.А., асистент

Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», m.p3shka.a.i@gmail.com

**ВРАХУВАННЯ КОНТАКТНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ЗАГОТОВКИ І ІНСТРУМЕНТА ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ДІАГРАМ СТІЙКОСТІ ПРОЦЕСУ ПОЗДОВЖНЬОГО ТОЧІННЯ**

Основною причиною нестійкості різання вважається обробка по попередньому хвилястому сліду з виникненням так званих «регенеративних коливань». Прогнозування стійкості процесу різання проводиться по діаграмам стійкості, побудованих із використанням динамічної передавальної функції  $G(\omega)$  пружної системи ТОС [1]. Значення  $G(\omega)$  визначається жорсткостями систем заготовки та інструменту та їх можливими змінами в процесі оброблення. Однією з причин таких змін при поздовжньому точінні є зміщення точки контактної взаємодії різця з заготовкою, що проявляється у зміні частот власних коливань ТОС [2]. В свою чергу зміна жорсткості призводить до суттєвих змін зон вібростійкого різання [3].

Моделювання діаграм стійкості базується на використанні динамічної моделі токарного верстату [2] з додатковим урахуванням відставання сили різання від товщини зрізу.

Результати моделювання процесу поздовжнього точіння консольно-закріпленої заготовки діаметром 25 мм з виставом 120 мм подано на рис. 1. Контактна взаємодія заготовки та інструменту враховується введенням додаткової жорсткості  $k_p$  у точці їх контакту ( $k_p=0.404$  Н/мкм) [2].

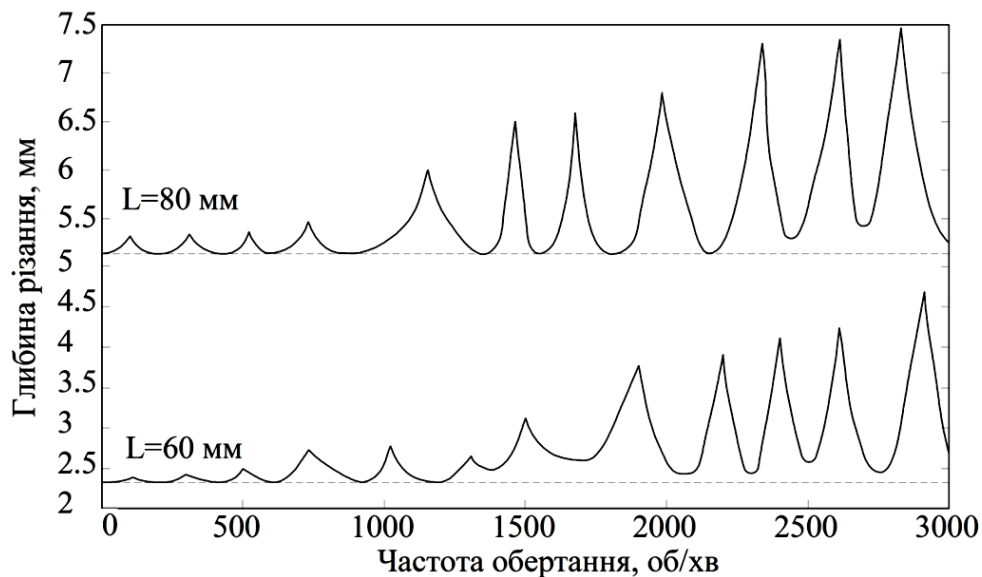


Рис. 1 – Діаграми стійкості на довжинах 60 і 80 мм від торця заготовки.

**Список посилань**

1. Altintas Y. Manufacturing automation: metal cutting mechanics, machine tool vibrations, and CNC design / Altintas., 2012. – 382 p.
2. Данильченко М.А., Петришин А.И. Исследование влияния контактного взаимодействия заготовки и инструмента на динамические характеристики токарного станка / Данильченко М.А., Петришин А.И. // Вісник НТУУ «КПІ», серія Машинобудування. – №77. – 2016. – С.140-146.
3. Milling stability analysis with simultaneously considering the structural mode coupling effect and regenerative effect / [X. J. Zhang, C. H. Xiong, Y. Ding and others]. // International Journal of Machine Tools & Manufacture. – 2012. – №53. – p. 127–140.

УДК 612.317

Квасніков В. П., докт. техн. наук, професор  
 Катаєва М. О., канд. техн. наук, ст. викладач  
 Національний авіаційний університет, м. Київ, kataeva.mariia@gmail.com

### АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ЛІНІЙНИХ РОЗМІРІВ РЕЛЬЄФНИХ НАНОСТРУКТУР

Розвиток нанотехнології нерозривно пов'язане з вимірюванням лінійних розмірів рельєфних елементів на поверхні твердого тіла. В даний час такі вимірювання виконують за допомогою растрових електронних мікроскопів (РЕМ). У світовій практиці застосування РЕМ для цих цілей намітилися два підходи: один з них пов'язаний з використанням низьковольтних мікроскопів (менше 3 кВ), інший - високовольтних мікроскопів (більше 15 кВ).

Запропоновано методіку порівняння процедури вимірювань на різних типах РЕМ, яку можна розбити на три етапи. Перший етап - вибір об'єкта вимірювання і дослідження його на обох типах мікроскопів. Другий етап - розробка методів калібрування цих мікроскопів та методів вимірювання лінійних розмірів на цих типах РЕМ. Третій етап - розрахунок похибки вимірювання.

Як об'єкт вимірювання найкраще підходить рельєфна структура тест-об'єкта МШП-2,0К (міра ширини і періоду, спеціальна, номінальний розмір 2,0 мм, кремнієва), який представляє собою набір рельєфних крокових структур, виконаних на поверхні кремнію за допомогою анізотропного травлення. Міра має трапецієподібну форму профілю, а в якості параметрів, що атестуються виступають крок і ширина лінії елемента рельєфу (виступу).

Сканування трапецієподібних структур з великими кутами нахилу бічних стінок на високовольтних РЕМ, що працюють в режимі реєстрації вторинних повільних електронів, призводить до формування сигналу, форма якого зображена на рис. 1 (штриховими лініями показані параметри сигналу і їх зв'язок з параметрами виступу).

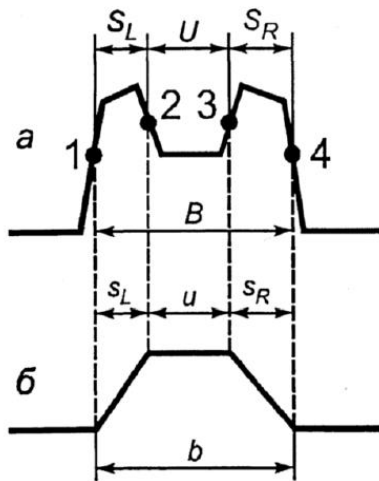


Рис. 1 – Форма сигналу (а), одержаного при скануванні на високо-вольтному РЕМ, виступом (б) з трапецієподібним профілем і великими кутами нахилу бічних стінок.

За умови:

$$u \gg d, \quad (1)$$

де  $d$  – ефективний діаметр електронного зонда РЕМ, сфокусований на поверхню обсягу діаметра електронного пучка.

Зв'язок параметрів виступу та відеосигналів можна описати виразами:

$$\begin{aligned} B &= mB, \\ U &= mU, \\ S_L &= mS_L, \\ S_R &= mS_R, \end{aligned} \quad (2)$$

де  $m$  – розмір пікселя; масштабний коефіцієнт зображення РЕМ, пов'язаний зі збільшенням мікроскопа  $M$  виразом  $m=1/M$ .

З рис. 1 випливає, що нижні межі виступу відповідають точкам 1 і 4 на сигналі, а верхня межа відповідає точкам 2 і 3.

При дотриманні умови (1) автоматично виконуються умови:

$$b \gg d, S_{L,R} \gg d. \quad (3)$$



Тому на відеосигналах положення точок 1 - 4 можна легко визначити. Однак, при малих розмірах верхньої основи виступу, умови (3) будуть виконуватися, а умова (1) - ні. У цьому випадку положення точок 1 і 4 визначити легко, а точок 2 і 3 - важко.

Сучасні нові растрові електронні мікроскопи мають діаметри зондів 10 - 30 нм. Тому для таких РЕМ доступні для дослідження тільки структури з шириною верхньої основи  $u \geq 30$  нм. Тому запропоновано в якості нижньої межі розмірів верхніх основ виступів вибрати значення 30 нм.

Розроблено підхід, який полягає в тому, що параметри виступу пов'язані виразом  $b = u + S_L + S_R$  і вимірявши величини  $b$ ,  $S_L$  і  $S_R$ , можна визначити обсяг верхньої основи виступу:

$$u = b - (S_L + S_R). \quad (4)$$

Значення  $S_L$  і  $S_R$  можна визначити після обробки сигналу, зареєстрованого на РЕМ при скануванні зондом одиночних лівої і правої сходинки рельєфу, якщо вдасться довести, що проєкції стінок з нахилом у одиночних сходинки і у виступів однакові. Слід зазначити, що при використанні цього підходу, за рахунок різницевого методу визначення розміру виступу (4) може виникнути значна похибка вимірювання розмірів верхніх основ виступів.

Тому, запропоновано для зменшення похибки вимірювань використовувати перший підхід (2), але це можливо тільки при виконанні умови (1), а для цього необхідні растрові електронні мікроскопи з ефективними діаметром зондів менше 2 нм, що в даний час неможливо. Кращі РЕМ мають мінімальний розмір ефективного діаметра зонда 10 нм, який може значно погіршуватися у процесі тривалої експлуатації.

Отже, на основі проведеного аналізу, доведено, що конструкція тест-об'єкта вимірювань дозволяє не тільки легко знаходити будь-який елемент крокової структури, а й виділяти на обраному рельєфному елементі один і той самий фрагмент, що дає можливість виключити похибки, пов'язані з неоднаковістю різних елементів, обумовлених технологією виготовлення самого об'єкта.

Вибір в якості об'єкта вимірювань крокової структури дозволяє істотно спростити калібрування обох типів РЕМ. Вимірювання збільшення  $M$  мікроскопа здійснюється в цьому випадку за допомогою атестованого значення кроку структури  $t$  і певного на зображенні значення параметра  $T$ , який характеризує крок на зображенні (сигналі):

$$M = T / t. \quad (5)$$

Доведено, що таке калібрування легко здійснюється як на низьковольтних, так і на високовольтних РЕМ. Методи вимірювання лінійних розмірів рельєфних елементів повністю визначаються фізичними механізмами формування зображень в РЕМ і режимом збору вторинних електронів. Вторинні електрони виникають в результаті взаємодії електронного зонда з досліджуваним об'єктом. Якщо енергія електронів не перевищує 5 еВ, то вони вважаються повільними.

Таким чином, запропоновані моделі формування сигналів растрових електронних мікроскопів правильно враховують вплив параметрів РЕМ на форму сигналів у вторинних повільних електронах, а методи вимірювання лінійних розмірів (ширини ліній) придатні для проведення таких вимірювань на високо- і низьковольтних РЕМ.

#### Список посилань

1. Кононогов, С. А. Исследование измерительных и калибровочных возможностей средств измерений нанометрового диапазона / С. А. Кононогов [и др.] // Законодательная и прикладная метрология. – 2008. – № 3. – С. 19 – 25.
2. Тодуа, П. А. Метрология и стандартизация в нанотехнологиях и nanoиндустрии / П. А. Тодуа // Измерительная техника. – 2008. – № 5. – С. 5 – 7.

**СЕКЦІЯ 2**  
**«СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ОБЛАДНАННЯ, ІНСТРУМЕНТ ТА**  
**ОСНАЩЕННЯ ДЛЯ ДЕРЕВООБРОБКИ ТА МЕБЛЕВОГО**  
**ВИРОБНИЦТВА»**

УДК 691.075.5

Цапко Ю.В., докт. техн. наук, ст. наук. співр.  
Ломага В.В., аспірант

Національний університет біоресурсів і природокористування України, lomaga39@gmail.com

**ЗАХИСТ ДЕРЕВИНИ ВІД ТЕРМІЧНОГО УШКОДЖЕННЯ СУМІШМАМИ**  
**НЕОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН ТА ПОЛІМЕРНИХ КОМПЛЕКСІВ**

Вогнезахист деревини капілярним просоченням, забезпечує високу захисну ефективність і повинен створити умови досягнення необхідної якості захисного покриття і тривалості безпечної експлуатації об'єктів [1].

Для комплексного захисту деревини від загоряння запропоновано невелику кількість препаратів: сульфат амонію, діамонійфосфат і фтористий натрій (вогнезахисна композиція МС), але наявність високо небезпечних речовин у рецептурі вогнезахисного препарату зменшує перспективу його використання. Просочувальні композиції (суміші), зокрема композиція з антипірену (фосфати та сульфати амонію) та антисептика (полігексаметиленгуанідінфосфат) – ДСА-1, після випаровування вологи з деревини утворює полімерну плівку, яка перешкоджає виходу антипірену із деревини на поверхню. Однак при довготривалій експлуатації такої деревини в умовах підвищеної вологості, плівка руйнується і вимивання проходить уже інтенсивно. На теперішній час з'явилися ефективні покривельні композиції з сумішею неорганічних речовин (антипіренів на основі фосфорних солей) і полімерних речовин (модифікований крохмаль), рис. 1. Для встановлення ефективності вогнезахисту були проведені випробування з визначення групи горючості за ГОСТ 12.1-044 [2]



а)



б)

Рис. 1 – Дослідні зразки: а) покритий неорганічною вогнестійкою сумішшю, до спалювання, б) після спалювання

Таким чином, у результаті проведених випробувань встановлено, що під дією температури утворюється спінюючий шар пінококсу, який запобігає горінню, а втрата маси вогнезахисної деревини становила 4,35 %, температура димових газів не перевищувала 160°C.

**Список посилань**

1. Цапко Ю.В. Аспекти моделювання процесу висолювання вогнезахисних композицій з деревини / Ю.В. Цапко, К.І. Соколенко // Науковий вісник УкрНДПБ. – 2005. – №1 (11). – с. 66 – 70.
2. Каталог НД України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://csm.kiev.ua/nd/nd.php?b=2&l=1050>

УДК 674.04

Дацків Г.М., здобувач

Кшिवецький Б. Я., докт. техн. наук, професор

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, bogdan.kshivetskyu@nltu.edu.ua

## ЩОДО МЕТОДИКИ СКЛЕЮВАННЯ ТЕРМІЧНО МОДИФІКОВАНОЇ ДЕРЕВИНИ

Деревина – це технологічний, екологічно чистий, відновлюваний матеріал, що використовується в багатьох галузях життєдіяльності людини. До недоліків деревини відносять незадовільна стійкість до механічних, атмосферних, температурних і біологічних факторів. Це суттєво обмежують сфери її застосування. Існуючі проблеми можна вирішити багатьма методами, серед яких і термічне модифікування.

Під термічним модифікуванням деревини розуміють процес, який направлений на зміну фізико-механічних властивостей деревини, шляхом її витримки при температурі вище 150 °С.

При дії на деревину температури 180 – 240°С в її біологічному складі відбуваються незворотні зміни, які впливають на покращення її формостійкості, стійкості до високих температур, абсолютної стійкості до біологічних уражень, високої вологостійкості, однорідності кольору по всій глибині, довговічності, екологічності, тощо.

Разом з тим, виникає багато проблем що пов'язані із склеюванням термічно модифікованої деревини. У першу чергу це зниження адгезійних властивостей термічно модифікованої деревини, що значно зменшує міцність склеювання. Спеціальних клеїв, які призначені для склеювання термічно-модифікованої деревини на сьогоднішній день немає. Тому постає питання щодо досліджень склеювання такої деревини, і в першу чергу щодо клеїв та методики технологічного процесу склеювання.

Для склеювання термічно модифікованої деревини використовують існуючі клеї. Найбільшого використання набули термопластичні полівінілацетатні клеї, які забезпечують стійкість клейового з'єднання D3 і D4 відповідно до стандарту EN 205.

Разом з тим використання полівінілацетатних клеїв для склеювання термічно модифікованої деревини обмежено її фізико-механічними властивостями після модифікування. А саме низькою адгезією клею до деревини, оскільки при підвищених температурах починається деструкція геміцелюлози, що призводить до погіршення адгезійних властивостей. Крім того змінюється щільність, пористість та вологість деревин. Такі зміни негативно впливатимуть на адгезійну і когезійну міцність деревини.

Тому виникає проблема у виборі клеїв для її склеювання, розробки режимних параметрів та процесів склеювання. Все це потребує розробки певної методики щодо склеювання термічно модифікованої деревини.

На нашу думку при розробці методики склеювання термічно модифікованої деревини необхідно врахувати наступні параметри, а саме: шорсткість поверхні деревини, температура склеювання, питомий тиск склеювання, обробка поверхні, а саме її обезжирення, в'язкість клею, витрата клею, тривалість склеювання тощо. Саме ці параметри певним чином можуть впливати на зміну адгезійної і когезійної міцності при склеюванні термічно модифікованої деревини.

Стан поверхні деревини характеризують мікронерівності тобто шорсткість, яка при склеюванні має становити 32-64 мкм. Тиск в процесі склеювання формує рівномірну плівку на поверхні що склеюється. Міцність клейового з'єднання буде зростати із зменшенням товщини клейового шару. Витрата клею характеризується шорсткістю поверхні, в'язкістю і температурою при якій і відбувається процес склеювання. При збільшенні температури склеювання зменшується витрата клею і покращується змочування ним деревини.

Тому щоб досягти хорошого результату при склеюванні термічно модифікованої деревини – необхідно встановити взаємозв’язок кожного з перерахованих параметрів, та визначити їх оптимальні значення. Це дозволить забезпечити клейовому з’єднанню належну міцність і довговічність та задовольняти потреби споживачів.

#### Список посилань

1. Термопластичні композиції на основі полівінілацетату (ПВА) та їх використання в деревообробній галузі / Б. Я. Кшивецький, В. Р. Солонинка // Науковий вісник НЛТУ України. – 2007. – Вип. 17.6. – С. 92-95.
2. Кшивецький Б.Я. Міцність та довговічність термопластичних клейових з’єднань деревини: монографія / Б.Я. Кшивецький, І.Й. Тивунька. – Львів : ТзОВ Галицька видавнича спілка, 2018. – 232с.
3. Хрулев В.М. Долговечность клееной древесины / В.М. Хрулев. – М. : Изд-во "Лесн. пром-сть", 1971. – 160 с.

УДК 674.684.59

Буйських Н.В., канд. техн. наук, ст. викладач

Національний університет біоресурсів і природокористування України, [nataby@meta.ua](mailto:nataby@meta.ua)

### ДЕЩО ДО ВИЗНАЧЕННЯ МОДУЛЯ ПРУЖНОСТІ ТА РЕОЛОГІЧНИХ КОЕФІЦІЄНТІВ ДЕРЕВИНИ СОСНИ

Практична значущість реологічних досліджень деревини пов’язана з уявою про протікання технологічних процесів, прогнозуванням та оцінюванням експлуатаційних характеристик готової продукції. Для визначення модуля пружності та реологічних коефіцієнтів за стиску вздовж волокон досліджені зразки з восьми колод деревини сосни. Середній розмір сучків становив 52 мм, вологість зразків перевищувала межу насичення клітинних стінок. Випробування проводилися за шестикратного прикладання навантаження. Час випробування становив 4 години, швидкість навантаження була постійною та дорівнювала 0,05 МПа/хв. Верхня межа напруження 12 МПа. Реєстрацію навантаження проводили через кожні 0,75 МПа.



Рис. 1. – Схема розмічання зразків для випробування

Статистична обробка отриманих результатів показала невисокі та однакові коефіцієнти варіації деформації деревини контрольних зразків та зразків з сучками, які відповідають коефіцієнтам варіації показників основних механічних властивостей деревини. Миттєвий модуль пружності окремих зразків міг відрізнятись до 23 %. Під час визначення модулів пружності було встановлено, що в деяких випадках різниця в показниках досягала до 30 %. Найбільш велике зниження миттєвого та довготривалого модуля пружності було відмічено у зразків з самими великими сучками 75-86 мм. У порівнянні з модулем пружності, який визначався за навантаження, яке прикладалося вісім разів, миттєвий модуль пружності контрольних зразків був більшим на 1,8 %, довготривалий модуль пружності меншим на 35,1 %. Миттєвий модуль пружності деревини з сучками менше модуля пружності контрольних зразків на 13,1 %, довготривалий модуль пружності

зразків з сучками менше модуля пружності контрольних зразків на 15,2 %. Час релаксації напружень зразків з сучками у порівнянні з контрольними був більшим на 16,1 %.

Загалом можна зробити висновки, що миттєвий та довготривалий модулі пружності знижуються із збільшенням розмірів сучків. При визначенні реологічних коефіцієнтів за стиску вздовж волокон під дією поступово зростаючого навантаження деформація деревини сосни з сучками більше деформації контрольних зразків на 19,8 %.

УДК 674.815 : 631.572

**Копанський М.М., канд. техн. наук, доцент**

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, mkoransky@ukr.net

## **ВПЛИВ ПИТОМОГО ВМІСТУ РІПАКОВИХ ЧАСТИНОК У ВИХІДНІЙ КОМПОЗИЦІЇ НА МЕХАНІЧНІ ПОКАЗНИКИ ВОЛОКНИСТИХ ПЛИТ**

**Актуальність теми.** Зменшення запасів деревинної сировини, обумовлене інтенсивними і дуже часто некерованими, хаотичними рубками, та зростаючі її потреби у різних галузях промисловості змушує здійснювати пошук альтернативних джерел деревини. Одним із перспективних видів рослинної сировини для виготовлення деревинних композиційних матеріалів є стебла ріпаку. Ріпак – надзвичайно цінна кормова культура, але він також може бути і одним з елементів сировинної бази у виробництві вказаних матеріалів.

**Мета і завдання дослідження.** Нами проводилися дослідження з метою визначення впливу питомого вмісту ріпакових частинок у вихідній композиції на механічні показники волокнистих плит та з'ясування можливості використання ріпаку у їх виробництві.

**Методика досліджень.** Змінними факторами під час проведення досліджень впливу основних технологічних параметрів, сировини і матеріалів на властивості плит прийняті: співвідношення деревинних і ріпакових частинок в різних пропорціях, % (75:25, 50:50, 25:75, 0:100; кількість клею (1,2,3,4,5%), фракційний склад частинок ріпаку.

Процес виготовлення зразків складався з п'яти етапів: підготовки ріпакової сировини, приготування клею, змішування частинок з клеєм, формування брикета і пресування дослідних зразків. Відходи ріпакової сировини подрібнювалися спочатку на лопатевій дробарці для подрібнення органічних матеріалів, пропарювалися і розчеплювалися на волокно на валковому млині. Отримані частинки проклеювалися в спеціальній місткості у водному середовищі. Надлишкова вода видалялася у холодному гідравлічному пресі за тиску 1МПа, а п'езотермічна обробка отриманого брикета здійснювалася з допомогою гарячого преса за температури 190°C і тиску 5 МПа.

Під час виготовлення деревинного композиційного матеріалу застосовувався промисловий клей на основі фенолоформальдегідної смоли марки СФЖ-3414.

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 вверху, 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 ( $\sigma_{32}$ ) в МПа обчислювали за формулою (1):

$$\sigma_{32} = \frac{3 \cdot F \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2}, \quad (1)$$

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 механічні показники волокнистих плит виготовлених з використанням відходів ріпакової сировини.

**Результати досліджень.** Встановлено, що із збільшенням питомої частки ріпакових частинок у вихідній композиції межа міцності волокнистих плит при згині зменшується. Це пояснюється тим, що міцність волокон виготовлених із стебел ріпаку менша за міцність деревинних волокон. У цьому випадку спостерігається зменшення однорідності зв'язків між волокнами та збільшення пористості композиційного матеріалу, що і обумовлює зменшення міцності.

Встановлено, що повна заміна деревинного волокна ріпаковим призводить до погіршення властивостей плит, проте, часткова заміна дає задовільні результати.

Волокнисті плити виготовлені з додаванням більш ніж 22 % частинок наповнювача виготовлених з ріпакової сировини не відповідають існуючим вимогам щодо міцності, але володіють високими теплоізоляційними властивостями і можуть застосовуватися у теплоізоляційних цілях.

Виявлено, що збільшення у вихідній композиції кількості волокон виготовлених із стебел ріпаку зумовлює зростання водопоглинання і набрякання плит та їх теплоізоляційні властивості. Це пояснюється більшою пористістю плит виготовлених з використанням ріпаку.

Встановлено, що повна заміна деревинного волокна ріпаковим призводить до погіршення властивостей плит, проте, часткова заміна дає задовільні результати.

Експериментально доведено, що плити, виготовлені за звичайною технологією, з додаванням до 22 % ріпакових частинок мають механічні показники що відповідають вимогам державного стандарту ДСТУ EN 312-2:2003.

Доведено можливість і доцільність застосування ріпакової сировини для виробництва волокнистих плит.

Волокнисті плити виготовлені з додаванням більш ніж 22 % частинок наповнювача виготовлених з ріпакової сировини мають високі теплоізоляційні властивості і можуть застосовуватися у теплоізоляційних цілях.

**Висновки.** Таким чином, часткова заміна деревинних волокон волокнами, виготовленими із стебел ріпаку 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 і особливо у регіонах України з низьким рівнем лісистості та наявними значними запасами відходів сільського господарства.

#### Список посилань

1. Бехта П. А. Технологія деревинних плит і пластиків. / П.А. Бехта. – К.: Основа, 2004 р. – 780 с.
2. Бехта П.А. Технологія деревинних композиційних матеріалів: Підручник. / П.А. Бехта. – К.: Основа, 2003. – 336 с.
3. Торгашов В.И. Сравнительное исследование условий выделения, морфологии и свойств целлюлозы из стеблей злаковых и масличных культур. / В.И. Торгашов, Е.В. Герт, О.В. Зубец, Ф.Н. Капуцкий // Химия растительного сырья. – Минск. – 2009. – №4

УДК 674.048

Губер Ю.М., канд. техн. наук, доцент  
Копинець З.П., канд. техн. наук  
Миськів Є.М., канд. техн. наук  
Якуба М.М., старший викладач

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, tlsdbv@nltu.edu.ua

## ВПЛИВ УМОВ ЗБЕРІГАННЯ ПИЛОМАТЕРІАЛІВ НА РОЗПОДІЛ ВОЛОГОСТІ ЗА ЇХНЬОЮ ТОВЩИНОЮ

Одним з чинників, які впливають на якість готових виробів є умови зберігання, як пиломатеріалів після сушіння, так і вже готової продукції на складах. Важливим є недопущення зволоження пиломатеріалів після камерного сушіння перед механічною обробкою. Також для вирівнювання вологості за товщиною пиломатеріалів варто їх витримувати в опалюваних провітрюваних приміщеннях деякий час.

Метою роботи є встановлення впливу умов зберігання пиломатеріалів з деревини дуба після камерного сушіння на розподіл вологості за товщиною сортименту.

Проведено дослідження зміни пошарової вологості пиломатеріалів з деревини дуба товщиною 25 мм після камерного сушіння в процесі витримування їх у двох приміщеннях: 1-му –  $t_c=17^\circ\text{C}$ ,  $\varphi=62\%$ ,  $W_p=11,5\%$ , 2-му –  $t_c=11^\circ\text{C}$ ,  $\varphi=75\%$ ,  $W_p=16\%$ .

Пошарову вологість у процесі витримування визначали через певні проміжки часу ваговим способом, випилюючи секції пошарової вологості.

Тривалість процесу зволоження можна визначити за такою формулою [1]:

$$\tau_1 = \frac{S_1^2}{\pi^2 \cdot a'} \cdot \left( 1 + \frac{\pi^2 \cdot a'}{2 \cdot \alpha' \cdot S_1} \right) \cdot \ln \left( \frac{W_{c.c} - W_n}{W_{c.c} - W_k} \right), \text{ год}, \quad (1)$$

де  $S_1$  – товщина пиломатеріалів, см;

$a'$  – коефіцієнт вологопровідності деревини,  $\text{см}^2/\text{с}$ ;

$\alpha'$  – коефіцієнт вологообміну,  $\text{см}/\text{с}$ ;

$W_n$ ,  $W_k$  – відповідно початкова і кінцева вологість пиломатеріалів через певні проміжки часу витримування пиломатеріалів, %;

$W_{c.c}$  – стійка вологість деревини під час сорбції, %.

З цієї формули можна визначити до якої вологості зволожаться пиломатеріали за певних умов витримування в потрібний момент часу. Однак для цього потрібно знати коефіцієнти вологопровідності і вологовіддачі.

Відомо [1], що за температур  $t=20\div 90^\circ\text{C}$  значний вплив на величину коефіцієнта вологопровідності  $a'$  мають такі фактори: температура деревини, умовна (базисна) густина, напрям потоку води відносно волокон (в радіальному напрямку  $a'$  більший ніж в тангенціальному), місце розташування в стовбурі дерева (вологовідність ядра і спілої деревини нижча ніж заболоні). Коефіцієнт вологопровідності можна визначити з кривих розподілу вологості за формулою [2]:

$$a' = \frac{R \cdot \frac{dW}{dt}}{\Delta W}, \text{ см}^2/\text{с}, \quad (2)$$

де  $R$  – половина товщини пиломатеріалу, см;

$\frac{dW}{dt}$  – швидкість сушіння (зволоження) сортименту,  $\%/с$ ;

$\Delta W$  – перепад вологості в поверхневому шарі сортименту, %;

$\Delta t$  – інтервал часу, с.

За даними Серговського П.С. [1] факторами, що мають найбільший вплив на величину коефіцієнта вологовіддачі  $\alpha'$  є температура повітря, швидкість руху повітря по матеріалу і вологість поверхні деревини. Коефіцієнт вологовіддачі є змінним навіть за постійного стану повітря, тому що змінюється вологість поверхні матеріалу. З кривих розподілу вологості можна визначити коефіцієнт вологообміну за формулою [2]:

$$\alpha' = \frac{R \cdot \frac{dW}{d\tau}}{W_n - W_p}, \text{ см/с.} \quad (3)$$

де  $W_p$  – рівноважна вологість деревини, %.

Важливо прораховувати як змінюється розподіл пошарової вологості пиломатеріалів під час зволоження. Для визначення вологовмісту в потрібний момент часу у процесі сушіння за перетином матеріалу користуються формулою наведеною в [3], яку для умов зволоження можна записати так:

$$U_{(x,\tau)} = U_{c.c} + (U_y - U_{c.c}) \cdot \exp\left(-\frac{\pi^2 \cdot Bi' \cdot Fo'}{\pi^2 + 4 \cdot Bi'}\right) \cdot \left(\frac{4 \cdot Bi' \cdot \cos\frac{\pi \cdot x}{2 \cdot R} + \pi^2}{\pi^2 + 4 \cdot Bi'}\right) \quad (4)$$

де  $Bi'$  – масообмінний критерій Біо,  $Bi' = \frac{\alpha'}{a'} \cdot R$  ;

$Fo'$  – критерій Фур'є,  $Fo' = \frac{a' \cdot \tau}{R^2}$  .

У процесі проведення експериментальних досліджень встановлено розподіл пошарової вологості за товщиною пиломатеріалів. Результати оброблення експериментальних даних для умов 2-го приміщення подано на рис. 1, а приклад порівняння експериментальних даних і теоретичних розрахунків щодо розподілу вологості за товщиною пиломатеріалів подано на рис. 2.

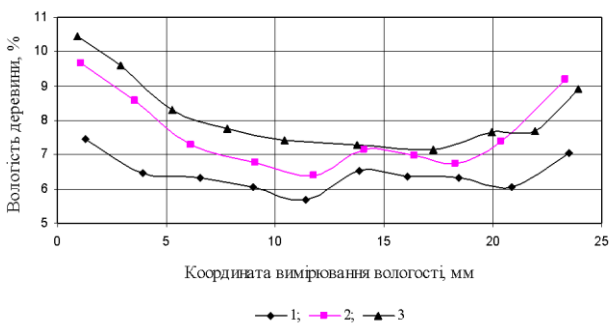


Рис. 1 – Розподіл пошарової вологості за товщиною пиломатеріалів після витримування їх у 2-му приміщенні протягом: 1 – 184 год; 2 – 354 год; 3 – 546 год

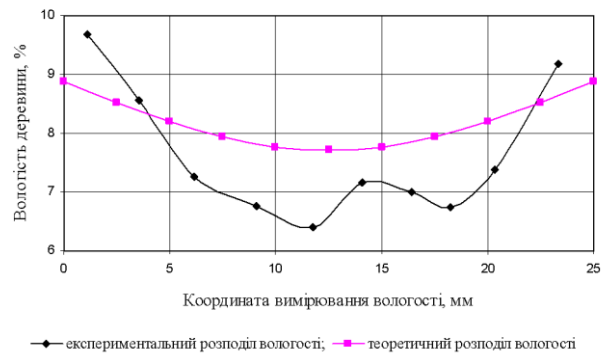


Рис. 2 – Порівняння експериментальних даних і теоретичних розрахунків розподілу пошарової вологості після витримування пиломатеріалів на протязі 354 год у 2-му приміщенні

За результатами експериментальних досліджень пошарової вологості пиломатеріалів з деревини дуба товщиною 25 мм в двох різних приміщеннях уточнено коефіцієнти вологопровідності деревини дуба: за температури  $t_c=17^\circ\text{C}$  –  $1,170 \cdot 10^{-6}$  см<sup>2</sup>/с,  $t_c=11^\circ\text{C}$  –  $1,136 \cdot 10^{-6}$  см<sup>2</sup>/с. Визначено коефіцієнти вологообміну, які становлять для 1-го приміщення  $3,818 \cdot 10^{-7}$  см/с, а 2-го –  $2,628 \cdot 10^{-7}$  см/с. Ці дослідження дають змогу прогнозувати зміну



пошарової вологості пиломатеріалів з деревини дуба під час їхнього зберігання після камерного сушіння.

#### Список посилань

1. Серговский П.С. Расчет процессов высыхания и увлажнения древесины. / П. С. Серговский. – М.-Л.: Гослесбумиздат, 1952. – 78 с.
2. Лыков А.В. Теория сушки / А.В. Лыков. – М.: Госэнергоиздат, 1950. – 416 с.
3. Білей П. Теоретичні основи теплової обробки і сушіння деревини (Монографія) / П. Білей. – Коломия: Вік, 2005. – 364 с.

УДК 674.061

**Маєвський В.О., доктор техн. наук, професор**  
**Копинець З.П., канд. техн. наук**  
**Ференц О.Б., канд. техн. наук, доцент**  
**Сторожук В.М., канд. техн. наук, доцент**  
**Ленцик О.Т., магістр**

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, tlsdbv@nltu.edu.ua

### ДОСЛІДЖЕННЯ ОБ'ЄМНОГО ВИХОДУ ЧОРНОВИХ ЗАГОТОВОК ДЛЯ КЛЕЄНИХ ЩИТІВ З ПИЛОМАТЕРІАЛІВ

Нормування витрати сировини під час виготовлення виробів з деревини має важливе господарське значення, оскільки правильно встановлені нормативи дадуть змогу забезпечити її раціональне використання та конкурентоспроможність продукції.

Нормативи виходу чорнових заготовок з пиломатеріалів, наведені у спеціалізованій науково-технічній літературі, встановлені з врахуванням старої нормативно-технічної документації. Такі нормативи, після переходу з січня 2019 року на європейські стандарти на сировину та пилопродукцію, втратили свою актуальність. Отже, актуальним напрямом досліджень є удосконалення методики проведення експериментальних досліджень зі встановлення нормативів виходу чорнових заготовок з пиломатеріалів та їхня реалізація у виробничих умовах з урахуванням сучасних реалій.

Метою роботи є встановлення витрати сирих необрізних дубових пиломатеріалів на виготовлення чорнових заготовок для клеєних щитів.

Основні етапи методики проведення експериментальних досліджень зі встановлення нормативів виходу чорнових заготовок з пиломатеріалів: облік пиломатеріалів і занесення даних у журнал спостережень; розкрій пиломатеріалів за поздовжньо-поперечною схемою на специфікаційні заготовки; облік заготовок і занесення даних у журнал спостережень; визначення об'ємного виходу чорнових заготовок. Дослідження проводили в формі пасивного експерименту. В основному розпилювали пиломатеріали сортів Q-F 2 та Q-F 3 згідно з ДСТУ EN 975-1-2001.

Відсоток кількісного виходу кожного перетину заготовок встановлювали окремо за формулою:

$$P_{вих} = \frac{V_{з.і}}{V_{п.м.і}} \cdot 100, \% \quad (1)$$

де  $V_{з.і}$  – об'єм заготовок певного перетину, м<sup>3</sup>;

$V_{п.м.і}$  – об'єм пиломатеріалів для отримання заготовок певного перетину, м<sup>3</sup>.

Заготовки перетинами: 29x54 мм, 41x54 мм, 54x54 мм, випилювали з необрізних пиломатеріалів товщиною 54 мм. Встановлено відсоток виходу чорнових заготовок за такими перетинами: 29x54 мм – 69,82 %, 41x54 мм – 66,45 %, 54x54 мм – 67,67 %.

Усереднений відсоток кількісного виходу заготовок з сирих необрізних пиломатеріалів визначали за формулою:

$$P_{сер} = \frac{\sum P_{вихі} \cdot V_{п.м.і}}{\sum V_{п.м.і}}, \% \quad (2)$$

Усереднений відсоток кількісного виходу чорнових заготовок з сирих необрізних дубових пиломатеріалів за досліджуваних умов становить 66,97 %.

Результати виходів чорнових заготовок залежно від поперечного перетину, отриманих у виробничих умовах, можна використати для нормування витрати сирих необрізних дубових пиломатеріалів на виробництво чорнових заготовок для клеєних щитів. Ці результати придатні для застосування як в умовах підприємства, на якому проводили дослідження, так і для інших підприємств, на яких використовують аналогічний технологічний процес.

УДК 621.9-114

Серкіз О.Р., канд. техн. наук, доцент

Бойко М.В., старший викладач

Сокіл Н.І., магістр

Національний університет «Львівська політехніка», ortos@i.ua

### СПЕЦІАЛІЗОВАНА АВТОМАТИЧНА ЛІНІЯ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ КАРКАСНИХ ДЕРЕВ'ЯНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДВОХЯРУСНИХ ДИТЯЧИХ ЛІЖОК

Хоча стрімкий розвиток верстатів з ЧПК в деревообробці набуває своєї апогеї, і за своїми параметрами забезпечення точності та якості обробки не має собі рівних для утворення(обробки) певного класу поверхонь, однак за характеристиками продуктивності, верстати з ЧПК явно уступають спеціалізованим автоматичним лініям. Якщо основний час обробки  $t_{роб.}$  [1], тобто час впродовж якого йде зняття матеріалу, котрий у верстатів з ЧПК та спеціалізованих автоматичних ліній майже однаковий, оскільки регламентується матеріалом(породою деревини) та інструментом і час на холості ходи  $t_x$  (відвід інструменту при цикловій обробці), котрі в обох випадках також майже однакові, то сума часів на допоміжні переходи  $\sum t_p$ , наприклад, переміщення стола за координатами оброблюваних поверхонь чи інші, у верстатів з ЧПК буде явно більшою, оскільки ведеться, як правило, одноінструментальна обробка і тільки в одному напрямі, а при наявності багатьох оброблюваних поверхонь (мова йде про елементарні поверхні – отвори, пази, фаски, котрі лежать в різних площинах та ще й на відстанях до 1500 мм) обробка довгомірних деталей на верстатах з ЧПК стає нерентабельною, в той же час, як встановлена в автоматичному пристрої автоматичної лінії деталь, може піддаватися багато інструментальній обробці в декількох площинах одночасно.

Розроблена авторами спеціалізована автоматична лінія слугує для механічної обробки каркасних дерев'яних елементів двохярусних дитячих ліжок. Базовою деталлю ліжка котра потребує механічної обробки є ніжки-стійки, що мають габарити 40x40x1500 мм, та отримані шляхом зрощування букового бруса і котрі поступають на обробку вже покриті лаком.

Дана деталь обробляється у двох взаємно перпендикулярних площинах. В горизонтальній площині, по осьовій лінії деталі, свердлять 9 наскрізних та 12 глухих (на глибину 20 мм) отворів діаметром 8 мм, при чому глухі отвори свердлять лише з однієї сторони деталі; а у вертикальній площині виконують 8 «замкових» пазів Т-подібною (грибковою) фрезою, котра має різальні леза по торцевій поверхні та двох циліндричних твірних, великого та малого діаметру, та 4 глухі отвори на глибину 20 мм. Найменша відстань між однотипно оброблюваними поверхнями – 40 мм, найбільша – 1205 мм.

Спеціалізована автоматична лінія для механічної обробки вказаних дерев'яних елементів побудована за принципом агрегатно-модульного конструювання, змонтована на зварній станині, що виконана з профільного прокату і складається з наступних основних

модулів: завантажувального модуля з поштучною видачею складованих вручну деталей із бункера-накопичувача; модуля міжопераційного транспортування деталі на позицію обробки; орієнтуючо-фіксуєчого модуля для базування деталі на позиції обробки; двох модулів (супортів) поперечних переміщень, кожен з котрих несе на собі 12 інструментальних цангових головок (шпинделів) для свердління наскрізних та глухих отворів; чотирьох вертикально-поздовжніх здвоєних модулів для виготовлення восьми Т-подібних пазів та двох модулів для виготовлення 4-х вертикальних отворів. Для приведення в рух інструментальних головок використано електропривод з розподільчими механізмами та частотним регулюванням швидкості, для забезпечення лінійних переміщень та фіксації деталі – пневмопривод, пульт керування виконано на базі ПЛК.

#### Список посилань

1. Кодра Ю.В. Технологічні машини. Розрахунок та конструювання: Навчальний посібник/ Кодра Ю.В., Стоцько З.А. за ред. З.А. Стоцька. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2004. – 468 с.

УДК 674.047

Андрашек Й.В., канд. техн. наук, доцент

Кушніт О.М., асистент

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, [joseph.andrashek@nltu.edu.ua](mailto:joseph.andrashek@nltu.edu.ua)

### ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЦЕВОЇ ВОЛОГОСТІ ТЕРМІЧНО МОДИФІКОВАНОЇ ДЕРЕВИНИ ЯСЕНЯ

Термодерешина (термічно оброблена деревина, термічно модифікована деревина, ТМД, Thermally modified timber, ТМТ, Thermally modified wood, ТМВ) – деревина, що пройшла термічну обробку за високих температур (від 180 до 215°C) [2, 3]. Ідея створення термодерешини полягає у використанні безперечних переваг звичайної деревини, як будівельно-оздоблювального матеріалу. До безумовних переваг деревини відносяться: доступність за ціною; екологічність; легкість оброблення; широкий спектр використання і практично невичерпний запас (відновлюваність ресурсів). При цьому використання деревини пов'язане з рядом суттєвих обмежень: незадовільна стійкість до механічних, атмосферних, температурних і біологічних факторів впливу; недовговічність (необхідність заміни або постійного догляду); недостатня художньо-естетична виразність недорогих порід деревини і низька цінова доступність елітних порід. Практично до кінця ХХ-го століття єдиним способом уникнення вище приведених недоліків – глибоке промислове хімічне або біологічне оброблення деревини. Поряд з цим, після такого оброблення деревина вже не може вважатися екологічно чистим матеріалом. Не випадково, що в 2004 році Євросоюз запровадив заборону на використання хімічно обробленої деревини на своїй території. Аналогічна заборона запроваджена і в США, а в майбутньому, напевно, буде запроваджена в глобальному масштабі. За рахунок оброблення в середовищі з температурою 185-215°C новий метод дозволяє на молекулярному рівні змінити структуру деревини і усунути причину виникнення в ній біологічних уражень.

Не зважаючи на те, що на науково-дослідному рівні технологія виготовлення термодерешини, як така що дозволяла б отримати екологічно чистий продукт із задовільними фізико-механічними властивостями та зовнішнім виглядом, розробляється в продовж тривалого часу, при застосуванні її на практиці виникає ряд проблем, що обмежують можливість отримання кінцевого якісного продукту [1]. Однією з них є проблема досягнення необхідної кінцевої вологості термічно обробленої деревини. Це пов'язано з тим що, рівноважна вологість термічно модифікованої деревини в 2-3 рази нижча від натуральної деревини [2] і, як наслідок, кінцева вологість ТМД у виробі, що

експлуатуються в зовнішньому середовищі (терасна дошка, садово-паркові вироби, блок-хаус та інші) повинна становити 4-5 %.

Візуалізація технологічного процесу виготовлення термічно модифікованої деревини ясеня в середовищі перегрітої пари показана на рисунку 1. На початку процесу в термокамері створюється вакуум (розрідження) глибиною 0.2-0,25 бар, в подальшому об'єм камери заповнюється паром випарованої з деревини вологи і тиск в камері швидко піднімається до атмосферного і вище. Далі тиск в термокамері підтримується на рівні 1,05-1,1 бара, а надлишок водяної пари через регулюючий клапан і охолоджувач збирається в ємкість для конденсату. Технологічний процес складається з трьох фаз:

- **фаза 1:** підвищення температури в термокамері з заданою швидкістю до 100°C, в подальшому швидкість зростання температури зменшується і паралельно відбувається сушіння деревини до абсолютно сухого стану (реально до вологості 0,6-1,0%);
- **фаза 2:** зростання температури в термокамері з заданою швидкістю до рівня температури термооброблення і витримка при заданій температурі певний період часу;
- **фаза 3:** охолодження термокамери і кондиціювання (зволоження) термообробленої деревини.

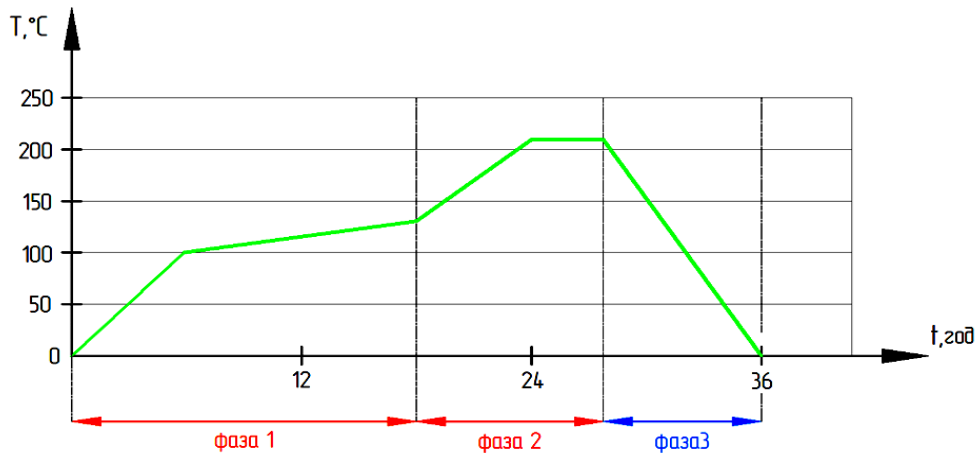


Рис.1 – Графік процесу виготовлення термічно модифікованої деревини ясеня в середовищі перегрітої пари

Визначення кінцевої вологості термічно модифікованої деревини здійснювалося шляхом випилювання секцій вологості товщиною 10 мм, які розколювалися на пластинки товщиною 3-4 мм і встановлювався розподіл вологості за товщиною матеріалу. Визначення вологості здійснювалося ваговим методом з використання вагового вологоміра WPS 110S.

Результати досліджень розподілу кінцевої вологості термічно обробленої деревини ясеня за товщиною заготовки показані на рисунках 2 і 3.

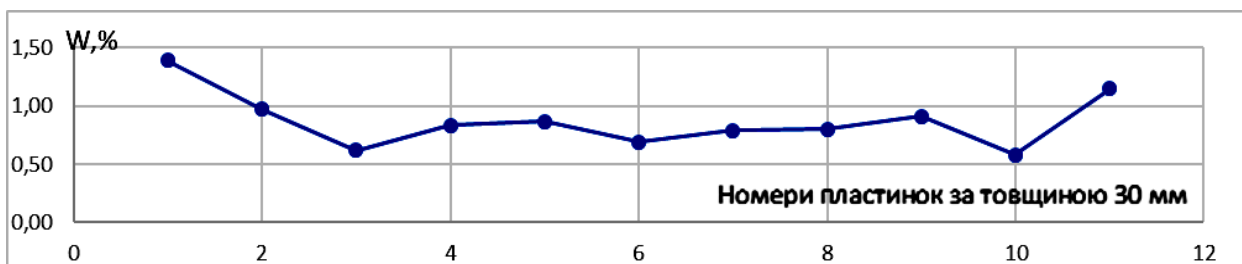


Рис.2 – Розподіл кінцевої вологості термічно модифікованої деревини ясеня за товщиною 30 мм без зволоження в процесі охолодження

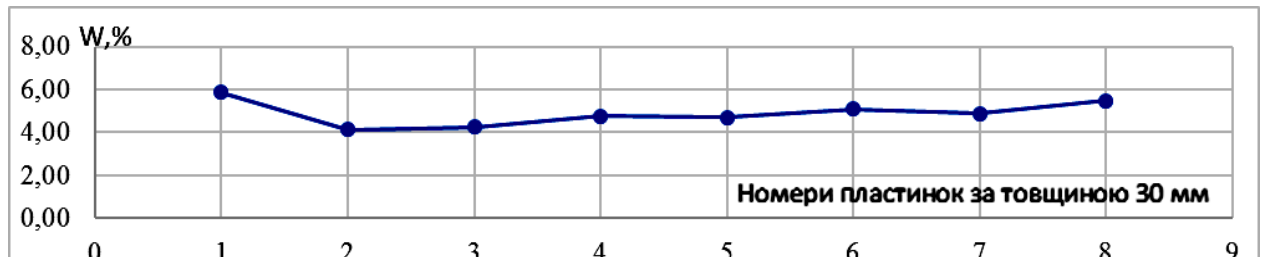


Рис.3 – Розподіл кінцевої вологості термічно модифікованої деревини ясеня за товщиною 30мм зі зволоженням в процесі охолодження

#### Список посилань

1. Andrashek J., Maksymiv V., Pfrieder A., Shchupakivsky R., Clauder L., Kiyko O. Statistical simulation of wood density changes due to thermal treatment. Invitation //XXI. Symposium pokroky vo vyrobe a pouziti lepidiel v drevopriemysle (adhesives in woodworking industry) – Zvolen, 26-28 June, 2013, Slovakia – p. 155-163.1. Antje Wahl – Wood market trends in Europe. Special publication SP-49, Vancouver, 2008.
2. Holger Militz, Professor Dr., Institute for Wood Biology and Wood Technology, University Göttingen, Germany – Heat Treatment Technologies in Europe: Scientific Background and Technological State-of-Art. (In: Proceedings of Conference on "Enhancing the durability of lumber and engineered wood products" February 11-13, 2002, Orlando. Forest Products Society, Madison, US.).
3. Jukka Ala-Viikari, Duncan Mayes - New generation ThermoWood® - How to take Thermowood to the next level. (In: European Conference on Wood Modification 2009).

УДК 674.[419+7]:694.7

**Шатківський М.М., асистент**  
**Маєвський В.О., докт. техн. наук, професор**  
 Національний лісотехнічний університет України, tlsdbv@nltu.edu.ua

### ДОСЛІДЖЕННЯ ФОРМОСТІЙКОСТІ ДЕТАЛЕЙ, ВИГОТОВЛЕНИХ ІЗ ЗАГОТОВОК, СКЛЕЄНИХ З ДЕРЕВИНИ РІЗНИХ ПОРІД

Сучасний споживач, зазвичай, дедалі частіше намагається оточити себе виробами, виготовленими з натуральних матеріалів, зокрема з цільної деревини. Поєднання у заготовках деревини різних порід у тандемі з рисунком, який утворюється під час їхньої механічної обробки, забезпечує отримання елементів виробів з оригінальними естетичними характеристиками. Композиції з поєднанням деревини цінних та малоцінних порід у заготовках, а також використанням кускових відходів цільної деревини, окрім оригінальних естетичних характеристик, дають змогу зменшити їхню собівартість.

Однак, питання дотримання належної формостійкості деталей, виготовлених із заготовок, склеєних з деревини різних порід, є актуальним та малодослідженим.

Метою роботи є експериментальне дослідження формостійкості точених деталей для виробництва столярно-меблевих виробів, виготовлених із заготовок, склеєних з деревини різних порід за умови впливу змінних температурно-вологісних полів впродовж тривалого часу.

Після виготовлення точених деталей, відповідно до розробленої методики, проводили вимірювання величини відхилення форми поверхні від циліндричності. Отримані відхилення від циліндричності вважали результатом обробки заготовки при точінні і при подальших розрахунках приймали за точку відліку. Для визначення відхилень форми поверхні точених деталей від циліндричності виготовлено спеціальну експериментальну установку (рис. 1). Результати вимірювань записували за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення Мікротех УИС-Р1-СОМ. Для створення змінних температурно-

вологісних полів впродовж тривалого часу виготовлено кліматичну камеру. У цій камері здійснювали автоматичний контроль і регулювання відносної вологості та температури середовища за допомогою регулятора температури та вологості РТ-0102 і відповідних датчиків.

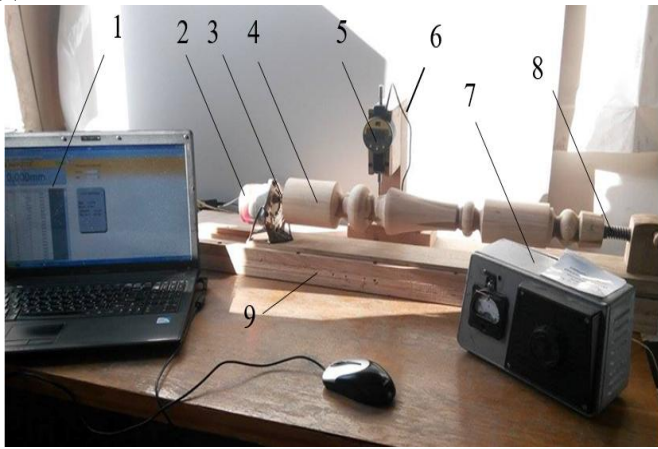


Рис. 1 – Експериментальна установка для дослідження відхилення форми поверхні точених елементів від циліндричності: 1) комп'ютер персональний з ПЗ; 2) електродвигун з внутрішнім редуктором; 3) передній центр установки; 4) деталь точена експериментальна; 5) індикатор електронний ИЧЦ(3)-25-0,01 Мікротех; 6) тримач-штатив індикатора; 7) трансформатор напруги; 8) задній центр установки; 9) основа станина установки

Результати експериментальних досліджень засвідчили, що величини відхилення форми поверхні точених деталей від циліндричності знаходилися в допустимих межах і здебільшого залежали від складності виточеного профілю за інших однакових умов. Окрім цього, встановлено, що кращу формостійкість в середньому мають ті точені елементи, серцевина яких – деревина сосни, а обкладка – деревина дуба.

### СЕКЦІЯ 3 «РОБОЧИ ПРОЦЕСИ ТА СИСТЕМИ ПРОМИСЛОВОЇ ГІДРАВЛІКИ ТА ПНЕВМАТИКИ»

УДК 621.646.94

Андренко П.М., докт. техн. наук, професор,  
Кулініч К.О., магістрант,  
Національний технічний університет «ХПІ», [andrenko1947@gmail.com](mailto:andrenko1947@gmail.com)  
Свинаренко М.С., канд. техн. наук, доцент,  
Харківський національний університет будівництва та архітектури, [maksim@ua.fm](mailto:maksim@ua.fm)

#### УДОСКОНАЛЕНИЙ ПРИСТРІЙ ГАСІННЯ ГІДРАВЛІЧНИХ УДАРІВ

У доповіді розглядаються засоби захисту гідравлічних мереж та систем від гідравлічних ударів, які виникають внаслідок несанкціонованого відключення або позаштатного включення насосів напірних гідросистем, некоректного маневрування запірно-регулюючою арматурою, аварійного спрацьовування відсічних клапанів тощо. Наведена класифікація способів та засобів захисту від гідравлічних ударів [1]. Зазначено, що існуючі засоби захисту від гідравлічних ударів не завжди гарантують надійний захист, особливо при роботі гідравлічних мереж на гетерогенних робочих середовищах. Доведено, що на сьогодні перспективний засіб гасіння гідравлічних ударів повинен бути активним, прямої дії з транспортуванням рідини без її скиду, та застосуванням зворотного клапана та елементів збудованих з використанням гідро- аеродинамічних ефектів і які не містять рухомих частин.

Нами розроблено новий пристрій гасіння гідравлічних ударів, рис. 1, особливістю якого є використання ефектів інтерференції хвиль та вихрового [2].

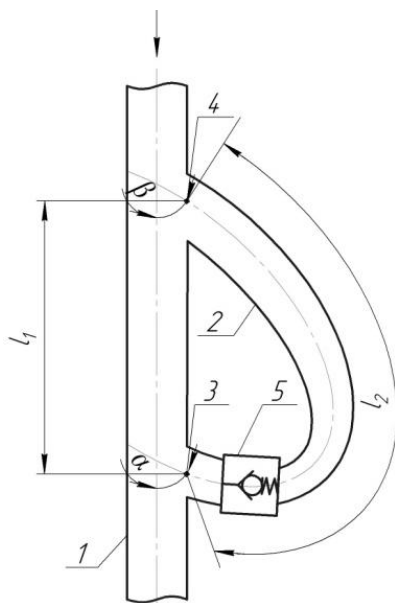


Рис. 1 – Пристрій гасіння гідравлічних ударів: 1 – прямолінійна ділянка труби постійного діаметра; 2 – байпасний канал постійного діаметра; 3, 4 – вхід і вихід байпасного каналу; 5 – зворотний клапан

У байпасному каналі 2 на відстані рівній 2...5 діаметрів від його входу 3 встановлено зворотний клапан 5. Кут  $\alpha$  між віссю труби постійного діаметра і віссю байпасного каналу у місці входу становить 10...30°, а кут  $\beta$  в місці виходу 83...86°. Довжина байпасного каналу 2 –  $l$  дорівнює сумі довжин байпасного каналу від його входу 3 до його виходу 4 –  $l_2$  та еквівалентній довжині байпасного каналу обумовленій місцевим опором

зворотного клапана –  $l_{\text{эф}}$  і які в сумі становлять половину, або трохи більше, хвилі можливого гідравлічного удару –  $l = l_2 + l_{\text{эф}} \geq 1/2 \lambda$ . У зворотному клапані 5 встановлена пружина змінної жорсткості яка дозволяє пропорційно, залежно від підвищення тиску можливого гідравлічного удару його відкривати, змінюючи таким чином еквівалентну довжину байпасного каналу, це дозволяє підстроюватися до параметрів можливого гідравлічного удару. Він може бути вбудований у широку гаму промислового технологічного обладнання без його перероблення.

Оцінку технічного рівня пристрою для гасіння гідравлічних ударів проводили за запропонованим нами критерієм [3]:

$$K = \frac{l \eta \tilde{P} \tilde{C} k_{\text{ext}}}{g L_T C_v k_w D_f \bar{L}_{m \text{ дБА}}}. \quad (1)$$

де  $l$  – характерний розмір, діаметр умовного проходу;

$\tilde{P} \tilde{C}$  – імовірність безвідмовної роботи;

$k_{\text{ext}}$  – критерій надмірного перевантаження

$$k_{\text{ext}} = \frac{P_{\text{max}}}{[n_\sigma] p_H}, \quad (2)$$

де  $p_{\text{max}}$  і  $p_H$  – відповідно максимальний і номінальний тиски;

$[n_\sigma]$  – коефіцієнт запасу міцності;

$L_T$  – характеристичний габаритний розмір;

$C_v$  – швидкісний показник;

$k_w$  – коефіцієнт компактності (маса яка припадає на одиницю об'єму)

$$k_w = \frac{m}{w}, \text{ кг/м}^3, \quad (3)$$

де  $w$  – об'єм який займає гаситель, м<sup>3</sup>;

$D_f$  – добротність гасителя

$$D_f = \frac{2 \pi f_0 E}{P_{\text{роз}}}, \quad (4)$$

Де  $f_0$  – резонансна частота коливань;

$E$  і  $P_{\text{роз}}$  – відповідно енергія яка запасена коливальною системою і потужність яка розсіюється;

$\bar{L}_{m \text{ дБА}}$  – відносний рівень шуму;

$$\bar{L}_{m \text{ дБА}} = \frac{L_{m \text{ дБА}}}{L_{m0 \text{ дБА}}}, \quad (5)$$

де  $L_{m \text{ дБА}}$  і  $L_{m0 \text{ дБА}}$  – відповідно рівень шуму при роботі гасителя і базовий рівень шуму – рівень шуму у конструкторському бюро.

Розрахунки за критерієм (1) показали, що для розробленого гасителя він, як мінімум на 20 % більший ніж для існуючих, а отже його технічний рівень вище.

#### Список посилань

1. Андренко П.М. Перспективні засоби захисту гідравлічних мереж та систем від гідравлічних ударів / П.М. Андренко, К.О. Кулініч, В.В. Ендеко // XVIII Міжнародна науково-технічна конференція АС ПГП «Промислова гідравліка і пневматика». Вінниця 3–6 жовтня 2017 р. : матер. конфер. – Вінниця: ГЛОБУС-ПРЕС, 2017. – С. 58.

2. Пристрій гасіння гідравлічних ударів в трубопроводі. Патент України на корисну модель, F16L 55/045, № 116104. / Єфімов О.В., Андренко П.М., Кулініч К.О., Лебедєв А.Ю.: // заявник і



патентовласник Єфімов О.В., Андренко П.М., Кулініч К.О., Лебедєв А.Ю. – № u201611304; заявл. 08.11.2016; опубл. 10.05.2017, Бюл. №9.

3. Андренко П.М. Новий критерій оцінки технічного рівня елементів систем гідроприводів // Андренко П.Н., Лебедєв А.Ю. / Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2018): матеріали тез доповідей VIII Міжнародної наук.-прак. конф. (10–12 трав. 2018 р., м. Чернігів). – Чернігів: ЧНТУ, Т.1, 2018.– С. 217–220.

УДК 62-82:631.3:621.659

Іванов М.І., канд. техн. наук, професор

Ковальова І.М., асистент

Вінницький національний аграрний університет, [mosgv@ukr.net](mailto:mosgv@ukr.net)

### МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ МЕХАНІЗМУ РЕГУЛЮВАННЯ ПОДАЧІ АКСІАЛЬНОГО РОТОРНОПОРШНЕВОГО НАСОСА ТИПУ PVC

Сучасні тенденції росту рівня гідрофікації сільськогосподарських машин гостро ставлять питання підвищення енергоефективності та економічності гідравлічного обладнання. Найбільш ефективним на даний час є застосування LS-гідросистем, що дає можливість скорочувати кількість гідравлічного обладнання, а також економно використовувати енергетичні можливості самохідної машини.

Одним з основних елементів LS-гідросистеми є регульований аксіальний роторно-поршневий насос, подача якого в процесі роботи самохідної машини автоматично регулюється LS-регулятором у відповідності зі зміною витрати робочої рідини виконавчими гідродвигунами.

Сигнал LS-регулятора керує кутом нахилу похилого диска, а відповідно, і зміною подачі насоса. Умови роботи гідростатичних підшипників опор цапф похилого диска ускладнюються нерівномірністю сил, що діють на цапфи, в результаті чого спостерігається порушення умови рідинного тертя, що, в свою чергу, призводить до неточності кута повороту похилого диска.

Моделювання роботи механізму похилого диска дозволить встановити раціональні параметри системи гідростатичних опор. Розрахункову схему подано на рис. 1.

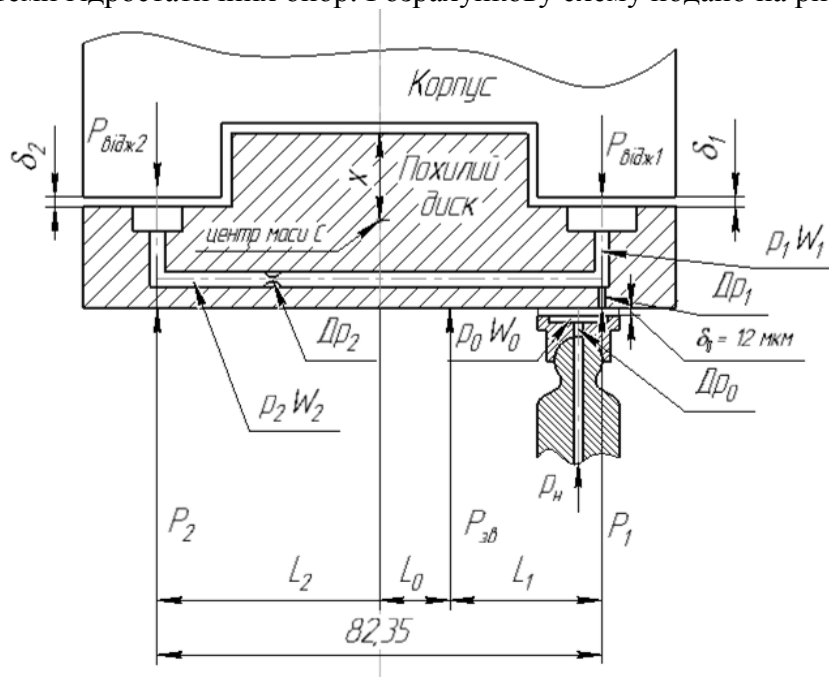


Рис.1 – Розрахункова схема гідростатичного підшипника похилого диска аксіального роторно-поршневого насоса типу PVC 1.63

Запропоновано математичну модель, яка відтворює процес формування зусиль на цапфах похилого диска, що відповідає конструкції насоса типу PVC 1.63. В даному випадку робоча рідина під тиском підводиться до гідростатичних підшипників через осьові отвори у поршнях, п'ятах, отворі на робочій площині похилого диска та каналів у ньому (рис.1). Існуюча система живлення також передбачає періодичне, відповідно до обертання блока циліндрів, з'єднання порожнин гідростатичних підшипників із осьовими каналами у поршнях. Дана обставина вимагає детального вивчення особливостей процесів, які протікають при використанні даного механізму подачі рідини під тиском до гідростатичних підшипників.

Розрахункову схему, за якою складено математичну модель, показано на рисунку 1. В даному випадку прийнято припущення про плоскопаралельний рух похилого диска у площині, перпендикулярній до його робочої поверхні. Математична модель включає три рівняння нерозривності потоків робочої рідини (1) та чотири рівняння сил та моментів (2), які діють на складові конструкції підшипникового вузла похилого диска. Розроблена математична модель має одинадцятий порядок, включає ряд нелінійностей, тому її дослідження проводиться із застосуванням числових методів, а саме – методу Рунге-Кутта. В якості програмного середовища було обрано мову програмування Delphi. Результати роботи програми інтерпретуються в математичному пакеті MathCad.

$$\begin{cases} \frac{dp_0}{dt} = \frac{1}{kW_0} \cdot \mu \cdot f_{op0} \sqrt{\frac{2}{\rho}} \sqrt{|p_n - p_0|} \operatorname{sign}(p_n - p_0) - \mu \cdot f_{op1} \sqrt{\frac{2}{\rho}} \sqrt{|p_0 - p_1|} \operatorname{sign}(p_0 - p_1) - \frac{\delta_0^3 \cdot b_0}{12 \rho \cdot v \cdot l_0} p_0 \\ \frac{dp_1}{dt} = \frac{1}{kW_1} \cdot \mu \cdot f_{op1} \sqrt{\frac{2}{\rho}} \sqrt{|p_0 - p_1|} \operatorname{sign}(p_0 - p_1) - \mu \cdot f_{op2} \sqrt{\frac{2}{\rho}} \sqrt{|p_1 - p_2|} \operatorname{sign}(p_1 - p_2) - \frac{\delta_1^3 \cdot b_1}{12 \rho \cdot v \cdot l_1} p_1 \\ \frac{dp_2}{dt} = \frac{1}{kW_2} \cdot \mu \cdot f_{op2} \sqrt{\frac{2}{\rho}} \sqrt{|p_1 - p_2|} \operatorname{sign}(p_1 - p_2) - \frac{\delta_2^3 \cdot b_2}{12 \rho \cdot v \cdot l_2} p_2 \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \frac{d^2 \delta_1}{dt^2} = \left( \frac{S_{відж1} \cdot p_1 \cdot (L_1 + L_2)}{L_2} - P_{зв} \right) \cdot \frac{2}{m} \\ \frac{d^2 \delta_2}{dt^2} = \left( \frac{S_{відж2} \cdot p_2 \cdot (L_1 + L_2)}{L_1} - P_{зв} \right) \cdot \frac{2}{m} \\ I_1 \cdot \frac{d^2 \beta}{dt^2} = P_{зв} \cdot l_0 + P_{відж2} \cdot l_2 - P_{відж1} \cdot l_1 \\ I_2 \cdot \frac{d^2 \beta}{dt^2} = P_{зв} \cdot (l_1 - l_0) - P_{відж2} \cdot (l_1 + l_2) \end{cases} \quad (2)$$

Дослідження мають за мету визначення умов виникнення зазору між цапфами похилого диска і корпусом (всплиття похилого диска), величини цього зазору, впливу параметрів гідросистеми даного підшипникового вузла на якість роботи системи керування подачею насоса, розроблення заходів по удосконаленню конструкції гідросистеми та вибору раціональних значень її параметрів.

УДК 622.232.72-52

Стаднік М. І., докт. техн. наук, доцент  
Іванов М. І., канд. техн. наук, професор

Моторна О. О., канд. техн. наук

Переяславський О. М., канд. техн. наук, доцент

Вінницький національний аграрний університет, [mosgv@ukr.net](mailto:mosgv@ukr.net)

## ПОКРАЩЕННЯ РОБОТИ РОЗВАНТАЖУВАЛЬНОГО ЗОЛОТНИКА ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОГО РОЗПОДІЛЬНИКА

Вирішується питання поліпшення характеристик моноблочного електрогідравлічного розподільника для систем автоматики в машинах агропромислового комплексу.

Розглядається конструкція спеціального гідророзподільника з електрогідравлічним керуванням з використанням додаткового золотника розвантаження гідросистеми при її роботі на холостому режимі. Важливим питанням роботи гідросистеми є спрацювання розвантажувального розподільника при можливо меншому перепаді тиску між напірної і зливної лініями (не більше 1-1,5 МПа).

Проаналізовано спрацювання розвантажувального золотника при можливо меншому перепаді тиску між напірної і зливної лініями. Проаналізовано два параметра, які впливають на величину перепаду тиску. Це гідравлічний опір в лінії відведення потоку управління з торцевої порожнини розподільного золотника на злив і зменшення витрат з камери управління розподільника. Втрати тиску можливі за рахунок втрат в комутаційних каналах, де режим течії рідини ламінарний, і на дросельній щілині, де режим течії рідини турбулентний.

Знайдено конструктивні рішення, які дозволили зменшити перепад тиску і час спрацювання розвантажувального розподільника. Було виконано візуалізацію розподілу тиску в цьому каналі. Результати моделювання для початкової конструкції показані на рис. 1, а. При виконанні натискної частини нижнього штовхача конічної форми площа кільцевого каналу збільшується і гідравлічний опір проточної частини істотно зменшується (рис. 1, б) у зв'язку з кубічною залежністю витрат від зазору.

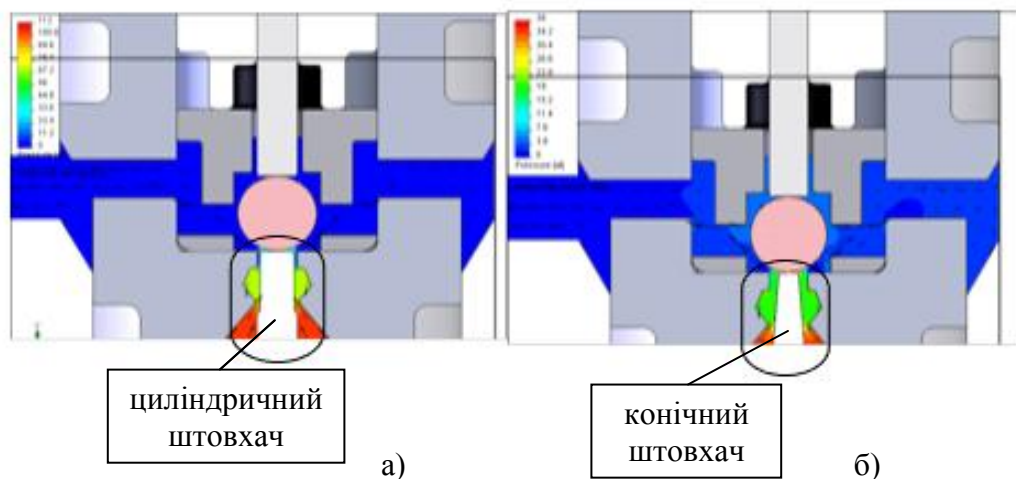


Рис. 2 – Гідравлічний опір проточної частини пілота:  
а) з циліндричним штовхачем, б) с конічним штовхачем

Підготовлений спеціальний стенд для експериментальних досліджень, на якому проведені вимірювання параметрів дослідних зразків електрогідравлічних розподільників. Побудовано залежності часу відключення розвантажувального і лінійного золотників розподільника від величини тиску в лінії розвантаження.

УДК 621; 798.2

Боровець В.М., канд. техн. наук, доцент  
 Боровець Н.В., студент  
 Національний університет «Львівська політехніка», [volbor1@gmail.com](mailto:volbor1@gmail.com)

## ВИКОРИСТАННЯ ПНЕВМАТИЧНИХ ПРИВОДІВ У ПАКУВАЛЬНОМУ ОБЛАДНАННІ

Необхідність створення високопродуктивних і ефективних пакувальних машин вимагає застосування сучасних пневматичних приводів. Аналіз факторів, які впливають на швидкість спрацювання приводних елементів є необхідним для вироблення рекомендацій, якими могли б скористатися розробники і експлуатаційники, що працюють в галузі пакувальної техніки, та в суміжних галузях, де застосовуються пневматичні приводи [1, 2, 3]. Використання надійних сучасних пневматичних приводів, провідних зарубіжних фірм, таких як Festo, SMC і Camozzi, дозволяє забезпечити надійність та стабільність роботи пакувального обладнання.

Використання в сучасних пакувальних автоматах пневмо-механічні системи приводів дозволяє в значній мірі спростити їх конструкцію, забезпечивши необхідний контроль виконання технологічних операцій за допомогою мікро контролерів. Пневматична схема пакувального автомата складається з стандартизованих елементів (рис.1) та керується від контролера системи керування автоматом, що дозволяє швидко переналагоджувати автомат на різноманітні параметри роботи, а саме зміну інтервалів спрацювань елементів згідно циклограми роботи автомата.

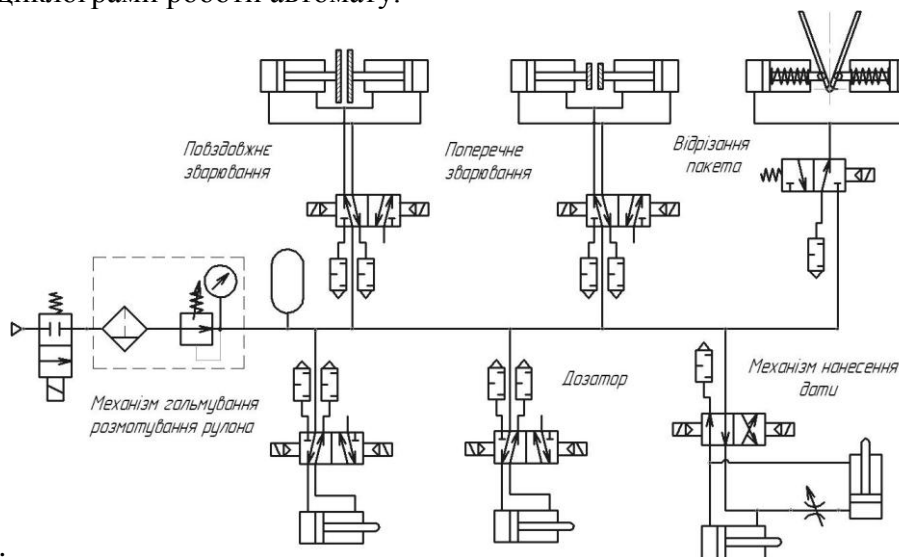


Рис. 1 – Пневматична схема пакувального автомата

Продуктивність пакувального автомата визначається необхідним часом циклу на виготовлення однієї упаковки, що в значній мірі регламентується тривалістю спрацювання пневматичних елементів виконавчих механізмів. Знаючи час, необхідний на виконання кожної технологічної операції, здійснюється точне налагоджування пакувального автомата на задану продуктивність.

Однією із актуальних проблем під час проектування обладнання з використанням пневмоелементів є аналіз динаміки руху пневматичних виконавчих органів. Для цього необхідно розглянути якісну картину зміни тисків в порожнинах наповнення та вихлопу під час прямого ходу пневмоциліндрів пакувального автомата.

Для аналізу роботи пневмоциліндра, а саме руху поршня розіб'ємо час переміщення на достатньо малі відрізки часу  $\Delta t_i$ , приймаючи, що тиски в порожнинах, корисне

навантаження та сили тертя на протязі  $\Delta t_i$  не змінюються та дорівнюють відповідним значенням тисків і сил на початку  $\Delta t_i$ . В кінці  $\Delta t_i$  (на початку  $\Delta t_{i+1}$ ) ці величини змінюються стрибкоподібно. Тоді при відомих  $p_{ni}$ ,  $p_{ei}$ ,  $F_i$ ,  $x_i$ ,  $\dot{x}_i$  на початку відрізка  $\Delta t_i$  прискорення рівне

$$\ddot{x} = \frac{1}{m} [p_{ni} - p_a] S_n - [p_{ei} - p_a] S_e - F_i [p_{ni}, p_{ei}, x_i, \dot{x}_i, t]$$

До кінця відрізка часу  $\Delta t_i$  при дії постійного на відрізка  $\Delta t_i$  прискорення  $\ddot{x}_i$  будуть мати місце наступні прирости швидкості та переміщення:

$$\Delta \dot{x}_i = \ddot{x}_i \Delta t_i,$$

$$\Delta x_i = \dot{x}_i \Delta t_i + \frac{1}{2} \ddot{x}_i \Delta t_i^2$$

Дані процеси представлені графічними залежностями (рис.2) для циліндрів діаметрами 63мм та 50 мм, що використовуються у пакувальному обладнанні.

D=50 мм L=15мм

Результати розрахунків-  
шлях/швидкість/прискорення/тиск

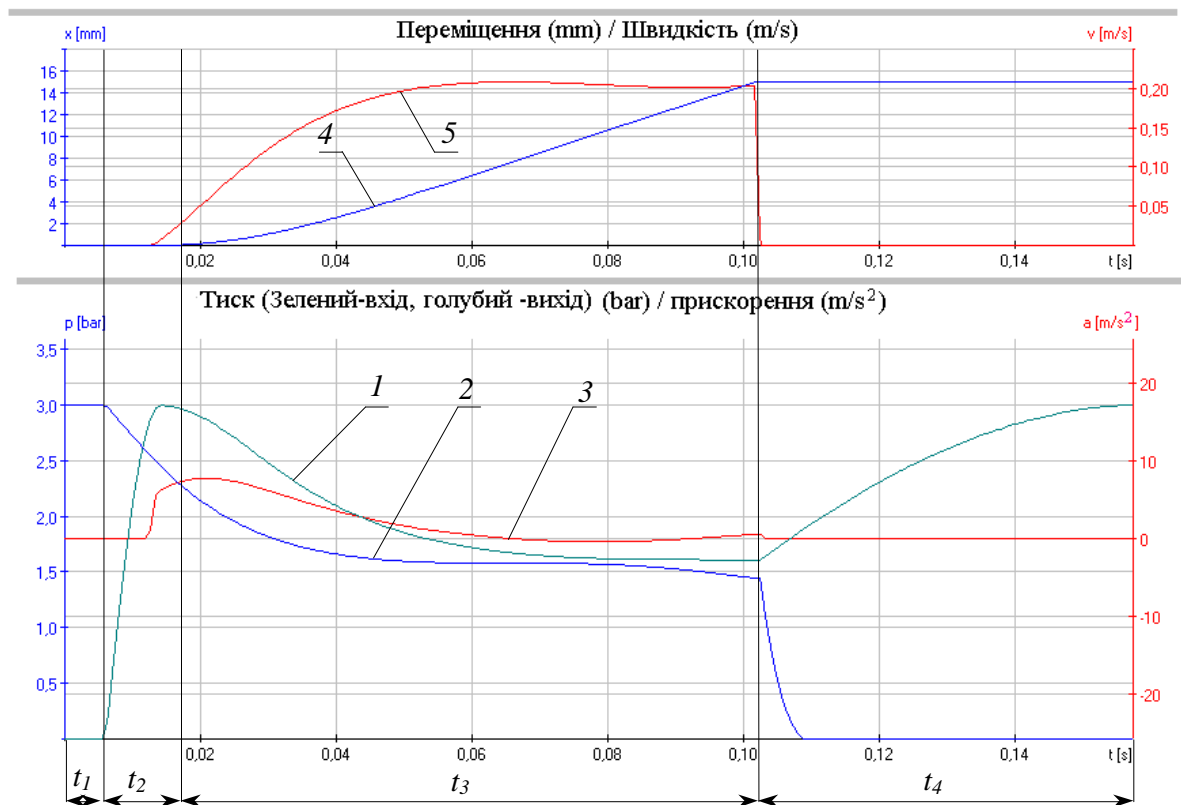


Рис. 2 – Робочі процеси циліндрів пакувального обладнання Ø63мм та Ø50 мм

#### Список посилань

1. Гидравлика, пневматика и гидродинамика. Курс лекцій / [Под ред.. В.М.Филина.] – М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФА – М, 2008. – 320 с.
2. Гавва О.М. Пакувальне обладнання в.3 кн. - 1 кн. Обладнання для пакування продукції в споживчу тару / [Гавва О.М., Безпалько А.П., Волчко А.І. ра ред. О.М. Гавви.] – Київ: ІАЦ «Упаковка», 2008. – 436 с.
3. Пашков Е.В. Промышленные мехатронные системы на основе пневмопривода: Учеб. Пособие/ Е.В. Пашков, Ю.А. Осинский. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2007.– 401 с.

УДК 621.225

Кулініч С.П., канд. техн. наук, доцент  
Гавриленко О.М., магістр  
Сумський державний університет, gavrilenkoan@gmail.com

### МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ГІДРАВЛІЧНОГО ПРИВОДУ З СИНХРОНІЗОВАНИМИ ДВИГУНАМИ

Рух механізмів широкого спектру машин в машинобудуванні, будівельній галузі, хімічній промисловості здійснюється за допомогою декількох робочих органів, що приводяться в дію багатодвигунними приводами [1,2]. Суворе погодження в часі переміщення, швидкості чи прискорення робочого органу (синхронізація роботи декількох робочих органів для забезпечення точного переміщення одного робочого елемента) є основним завданням, що повинно бути вирішено на етапі проектування механізму залежно від умов руху його ланок [3, 4].

Перспективним напрямом синхронізації є використання гідродвигунів, що забезпечують узгодження вихідних характеристик виконавчих механізмів зі змінним навантаженням на їх вході.

Відомі методи проектування подібних приводів враховують конкретний робочий процес і не відрізняються універсальністю. Відсутність універсального підходу до опису робочого процесу синхронного переміщення робочого елемента на даному етапі призводить до необхідності компіляції даних теоретичних і експериментальних досліджень подібних процесів в декількох галузях. Запропонований підхід не завжди є прийнятним (знайти конкретні дані для конкретного процесу не завжди є можливим) і може бути причиною появи помилок в проектуванні.

Паралельно зі створенням математичної моделі роботи багатодвигунних гідравлічних агрегатів для синхронізації руху робочого органу повинна бути розглянута проблема забезпечення енергетичної ефективності здійснення цього процесу. Цій тематиці приділяється особлива увага в світлі зміни «світогляду» проектувальників, відмови від енергозбереження на користь енергетичної ефективності, в тому числі і за рахунок використання енергії стиснутих середовищ [5].

Таким чином, основним завданням роботи є розроблення математичної моделі приводу (яка в подальшому стане базою для оптимізаційного розрахунку енергетичних витрат на забезпечення руху механізму), який забезпечить синхронний рух робочих органів механізму з урахуванням особливостей роботи гідравлічних циліндрів і нелінійності характеристик елементів приводу.

Завдання синхронізації полягають в забезпеченні припустимих значень непогодженості руху двох або більше робочих органів.

Умовою абсолютної синхронізації є пропорційність переміщення (лінійних переміщень або кутів повороту) гідродвигунів за часом.

Отримана в ході роботи математична модель дозволяє провести теоретичні дослідження динамічних характеристик гідравлічного приводу для синхронних переміщень, робочими органами якого є гідравлічні циліндри, з двохпотоківим дільником дросельного типу.

#### Список посилань

1. G.Q. Huang, Y. Chen, J. Yu. Simulation Analysis in Cylinder Hydraulic Synchronous Control System of Main Drive System of Heavy Forging Hydraulic Press / Advanced Materials Research, 2013, Vols. 765-767, pp. 1899-1902.
2. X. Lu, M. Huang. Modeling, Analysis and Control of Hydraulic Actuator for Forging. – Springer, 2017, 228 p.
3. L. Miková, M. Kelemen, P. Ujhelský, A. Gmitterko. The Simulation of Hydraulic Synchronous Lift of Heavy Loads / American Journal of Mechanical Engineering, 2014, Vol. 2, Is. 7, 191-194.

4. L.Y. Qiu. Design on Synchronization Control of Dual-motor in Crane / Journal of Applied Science and Engineering Innovation, 2015, Vol. 2, No.3, 71-73.

5. Y.L. Dong, Z.S. Qian. A Research on Dual Hydraulic Motor Synchronizing Driving System with Pressure Coupling / Applied Mechanics and Materials, 2015, Vol. 779, pp. 175-181.

УДК 621.512

**Начовний І.І., канд. техн. наук, доцент**  
**Немчинов С.І., канд. техн. наук, доцент**

Український державний хіміко-технологічний університет, м. Дніпро, [dekan\\_meh@ukr.net](mailto:dekan_meh@ukr.net)

## **ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПЛАСТИН КІЛЬЦЕВИХ КЛАПАНІВ ПОРШНЕВИХ КОМПРЕСОРІВ**

Поршневі компресори широко використовуються в самих різних галузях промисловості і вони є найбільш розповсюдженими з всього компресорного парку. Одними з відповідальних вузлів поршневого компресора є самодіючі клапани. Витрати потужності на подолання опору клапанів доходять до 30% загальної потужності.

До одних з основних показників роботи клапана відносяться їх надійність, яка пов'язана з напруженнями, які виникають в запірному елементі, і герметичність.

Об'єктом дослідження є запірний елемент – кільцева пластина – кільцевого самодіючого клапана.

Метою роботи було дослідження напружень в пластині і переміщень по ширині пластини.

Розрахунки виконано для пластин різної ширини і товщини.

Розрахункова схема – кільцева пластина вільно оперта на опори по внутрішньому і зовнішньому контуру.

Напружено-деформований стан кільцевої пластини досліджено з використанням програмного комплексу скінченно-елементного аналізу. Матеріал пластини – легована сталь, для якої  $\sigma_m = 620$  МПа,  $\sigma_{мц} = 723$  МПа,  $\mu = 0,28$ ,  $E = 2 \cdot 10^{11}$  МПа. В результаті дискретизації отримано 57013 елементів.

За результатами дослідження встановлено: еквівалентні напруження, які обчислені за енергетичною теорією міцності Губера-Мізеса, набувають максимальних значень посередині ширини клапана (наприклад, при ширині пластини 12 мм і тиску 1 МПа  $\sigma_{екв} = 4,6$  МПа); максимальні за величиною осьові напруження також спостерігаються посередині ширини кільця, але характер їх зміни суттєво відрізняється від характеру зміни еквівалентних напружень. Результати розрахунків напружень, отриманих за методом скінченних елементів і розрахунковими формулами, суттєво не відрізняються.

При дослідженні деформованого стану пластини визначались переміщення по ширині посадочного пояса пластини: на внутрішньому і зовнішньому контурах і по середині посадочного пояса. Встановлено, що повні переміщення  $u$  по зовнішньому контуру суттєво не змінюються. Так, для ширини пластини 12 мм і тиску 1 МПа величини переміщень змінюються в межах 0,0195 – 0,0205 мм.

В роботі також було проведено дослідження впливу ширини пластини на щільність її прилягання до посадочних поясів сідла клапана. Встановлено значення ширини пластини, при якій спостерігається відрив пластини від пояса сідла клапана з обпиранням тільки по внутрішньому контуру пластини, тобто немає прилягання пластини до пояса. А це негативно відбивається на герметичності клапана.

Установлено вплив товщини пластини на відрив країв пластини від посадочного пояса сідла клапана.

Таким чином, при призначенні ширини кільця та його товщини необхідно ув'язувати їх за умовою не відриву країв пластини від посадочного пояса сідла клапана.

УДК 62-82:631.3:621.659

Іванов М. І., канд. тех. наук, професор,  
Гречко Р. О., аспірант,  
Вінницький національний аграрний університет, [mosgv@ukr.net](mailto:mosgv@ukr.net)

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ОБ'ЄМІВ ГІДРОЛІНІЙ НА РОБОТУ ГІДРОСТАТИЧНОЇ ТРАНСМІСІЇ ТИПУ ГСТ90

Сучасний стан розвитку машинобудування відображає перспективність використання гідрооб'ємного привода, а саме гідростатичної трансмісії (ГСТ) на самохідних машинах. Застосування такого типу трансмісій є прогресивним в машинобудуванні сільськогосподарської, дорожньо-транспортної та будівельної техніки [1]. Застосування ГСТ дає можливість досягти стійкої роботи в широкому діапазоні зміни частоти обертання, реалізувати безступінчасте регулювання швидкості, що дає можливість найбільш ефективно використовувати потужність двигуна. Однак при роботі гідростатичної трансмісії на різних режимах виникають процеси, які можуть призвести до виходу з ладу всієї гідросистеми. Тому виникає необхідність дослідження роботи ГСТ та пошуку оптимальних параметрів системи.

Для дослідження роботи гідростатичної трансмісії типу ГСТ90 було розроблено розрахункову схему та відповідно до неї математичну модель, яка включає рівняння, що описують зміну кожної узагальнюючої координати. Результати дослідження математичної моделі гідростатичної трансмісії ГСТ90 дозволяють аналізувати характер зміни в часі тиску у гідролініях і порожнинах гідросистеми, витрати, переміщення запірно-регулювальних елементів клапанів та розподільників [2]. Конструктивно основними елементами гідростатичної трансмісії є реверсивний регульований аксіальний роторнопоршневий насос і реверсивний нерегульований аксіальний роторнопоршневий гідромотор, які з'єднані між собою всмоктувальною і напірною гідролініями. В ході досліджень було виявлено вплив об'ємів гідроліній на роботу гідростатичної трансмісії.

Останнім часом значно розширилось використання гідростатичних трансмісій не тільки у приводах ходу мобільних технологічних машин, але і у якості приводів різноманітних робочих органів стаціонарних та самохідних машин, наприклад, авто міксерів бетоновозів. При цьому в процесі компонування конструкцій виникає необхідність у зміні довжини гідроліній, що впливає на величину їх об'ємів. Дана обставина за умови, що при використанні гідротрансмісій при різних компоновочних рішеннях виникають автоколивальні режими роботи, визначає актуальність дослідження впливу величини об'ємів гідроліній на якість роботи таких гідроприводів.

В процесі моделювання роботи гідростатичної трансмісії об'єми гідроліній змінювались від 200 см<sup>3</sup> до 1200 см<sup>3</sup>. Виявлено, що збільшення об'єму гідроліній збільшує граничне значення величини інерційного навантаження, при зміні якого виникають автоколивальні режими роботи гідростатичної трансмісії. Показано, що при використанні гідростатичних трансмісій типу ГСТ90, ГСТ112, становить відповідно 68,3 та 78,7 кВт, виникнення автоколивань призводить до автоколивань із значною амплітудою всієї машини. Очевидною є необхідність проведення подальших досліджень та розроблення заходів по поліпшенню характеристик ГСТ90 та окремих її вузлів.

### Список посилань

1. Петров, В. А. Гидрообъемные трансмиссии самоходных машин / В. А. Петров. – М.: Машиностроение, 1988. – 244 с.
2. Іванов, М. І. Моделювання роботи гідростатичної трансмісії типу ГСТ90 / М.І. Іванов, О.М. Переяславський, І.М. Ковальова, Р.О. Гречко // Промислова гідравліка і пневматика. – 2018. – №4(62). – С. 51–61.



УДК 62-82:681.587.34

Медведєв С.В.

Державне підприємство «АНТОНОВ», [s.medvedev.v@gmail.com](mailto:s.medvedev.v@gmail.com)

## КРИТЕРІЇ ПРОЕКТУВАННЯ ТА ФОРМУВАННЯ ВИГЛЯДУ СИСТЕМИ ВИДАЛЕННЯ ВІДХОДІВ ЛІТАКА

Розробка сучасного літака складний ітераційний процес що супроводжується великою варіантністю прийнятих рішень та пов'язаних з цим оптимізації показників.

Важливим етапом створення літака є проектування, де вирішуються та приймаються основні концептуальні та принципові рішення щодо структури, параметрів та характеристик майбутніх систем зведених у єдиний комплекс – літак. Одним з надважливих завдань при розробці сучасних складних систем є показник часу, вартість розробки, а також якість проектування.

Для розробки будь-якої технічної системи потрібно вироблення вимог чи граничних умов в рамках котрих повинна функціонувати система, а також визначення оптимальних значень (цільових функцій) системи.

При розробці сучасного пасажирського літака до його обладнання і систем висувуються вимоги щодо забезпечення перебування пасажирів на борту літака з максимальною безпекою та комфортом. Однією з таких систем є система видалення відходів, що забезпечує життєдіяльність людини. На теперішній час на пасажирських літаках більше перспективним типом системи видалення відходів є система видалення відходів вакуумного типу.

Принциповою особливістю проектування системи є складність визначення єдиного критерію ефективності функціонування і наявність зазвичай декількох критеріїв, кожен з яких може стати переважним в залежності від зовнішніх умов і виконання системи. Тому доводиться обмежуватися аналізом критеріїв для різних умов функціонування системи, кожен раз визначаючи необхідні для оптимізації параметри.

Організація проектування передбачає узгодження технічних рішень і термінів виконання всіх робіт по створенню системи, а також розподіл матеріальних і трудових ресурсів, що забезпечує виконання завдань у встановлені терміни.

Створення системи видалення відходів сучасного літака вимагає урахування різних вимог до обладнання та системи в цілому. Таким чином система повинна відповідати:

- основним вимогам що пред'являються літаку (норми АП, FAR, CS та ін.) які формуються згідно сертифікаційного базису майбутнього літака;
- вимог замовника, вимоги які є специфічними або унікальними для виробу;
- загальних вимог на розробку (фізіологія, зручність, ергономічність, екологічність, масштабованість);
- технічних вимог до системи, до підсистем та компонентів (функціональність, безпека, надійність, експлуатабельність, мінімальна вага, зовнішні впливові фактори, тощо).

Розглянуті основні критерії формування вигляду системи видалення відходів, які є критичними для створення системи та характеристики котрі впливають на якісні показники системи.

Різноманітність та різноспрямованість критеріїв та вимог до системи обумовлюють необхідність на етапі проектування системи видалення відходів узагальнення та пошуку оптимальних рішень які б задовольнили усім заявленим умовам, а також враховували ключові фактори, що роблять істотний вплив на умови функціонування реальної вакуумної системи.

### Список посилань

1. Джонс Дж. К. Методы проектирования [Текст]/ Дж. К. Джонс; [Пер. с англ. Т. П. Бурмистровой, И. В. Фриденберга] – 2-е изд., доп. – М.: Мир, 1986. – 326 с.

2. Егер, С.М. Проектирование самолетов: Учеб. для вузов [Текст]/ С.М. Егер, В.Ф. Мишин, Н. К. Лисейцев и др.; 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1983. – 616 с.

УДК 621.65

Панченко В.О., ст. викладач  
Сумський державний університет, [pan\\_va@ukr.net](mailto:pan_va@ukr.net)

## РОЗРАХУНОК НАПОРУ ВІЛЬНОВИХРОВОГО НАСОСА

Для перекачування багатозфазних сумішей зі значним вмістом твердих включень широко використовують вільновихрові насоси, в яких робоче колесо має основний диск та прямі радіальні лопаті.

Недоліком насосів такого типу є більш низьке значення коефіцієнту корисної дії порівняно з відцентровими насосами. З метою покращення економічності насосів вільновихрового типу було розроблено конструкцію насоса, у якому частина лопатей робочого колеса було висунуто у вільну камеру насоса.

Основним рівнянням ВВН є залежність напору від геометричних розмірів проточної частини.

Під час розрахунку було прийнято наступні припущення:

- рідина нестискувана;
- розподіл швидкостей між звичайними лопатями РК (ділянки I) не залежить від кута  $\varphi$ ;
- розподіл швидкостей між звичайною та видовженою лопатями залежить від кута  $\varphi$ , причому характер розподілення при переході від звичайної лопаті до видовженої та від видовженої до звичайної (ділянки II) є симетричним відносно видовженої лопаті.

Застосувавши рівняння моментів кількості руху до рідини, яка знаходиться усередині робочого колеса, отримуємо наступний вираз для напору вільновихрового насоса:

$$H = H_I + H_{II} = \frac{Z - 2Z_1}{Z} \cdot 2\pi \cdot \frac{\omega}{g} \cdot \frac{\eta}{\eta_{MEK}} \cdot \frac{1}{Q} \int_{R_1}^{R_2} V_{uI} V_{zI} r^2 dr +$$

$$+ \frac{2Z_1}{Z} \cdot 2\pi \cdot \frac{\omega}{g} \cdot \frac{\eta}{\eta_{MEK}} \cdot \frac{1}{Q} \int_{R_1}^{R_2} \int_0^{2\pi/z} V_{uII} V_{zII} dr d\varphi, \quad (1)$$

де  $H_I$  – напір, створюваний за рахунок передачі енергії на ділянках між звичайними лопатями;

$H_{II}$  – напір, створюваний за рахунок передачі енергії на ділянках між звичайними та видовженими лопатями;

$Z$  – загальна кількість лопатей робочого колеса;

$Z_1$  – кількість лопатей робочого колеса, висунутих у вільну камеру насоса.

Перша частина рівняння (1) розв'язується за відомою методикою [1] і набуває вигляду:

$$H_I = \frac{Z - 2Z_1}{Z} \cdot 2\pi \cdot \frac{\omega^2}{g} \cdot \frac{\eta}{\eta_{MEK}} \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot D_2^2, \quad (2)$$

де  $F_1$  – функція, що залежить від геометричних розмірів робочого колеса;

$F_2$  – функція, яка враховує вплив інтенсивності поздовжнього вихрового руху в насосі.

Для розв'язання рівняння (1) необхідно знати закон зміни швидкостей  $V_u$  і  $V_z$  вздовж лопаті робочого колеса у функції від кута  $\varphi$ .

### Список посилань

1. Герман В. Ф. Свободновихревые насосы / В. Ф. Герман, И. А. Ковалев, А. И. Котенко; под общ. ред. А. Г. Гусака. - 2-е изд., доп. и перераб. – Сумы: Сумский государственный университет, 2013. – 159 с.

УДК 655.326.1+655.3.062

Шостачук О.П., асистент

Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського», o.shostachuk@gmail.com

## ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПНЕВМАТИЧНИХ СИСТЕМ У ФЛЕКСОГРАФІЧНИХ ДРУКАРСЬКИХ МАШИНАХ

Флексографічний друк є одним із найбільш широко використовуваним у сучасному поліграфічному виробництві. За допомогою флексографічного друку задруковують гнучке пакування із поліетиленової та поліпропіленової плівки, фольги. Флексографічний друк дозволяє друкувати на рулонних матеріалах, одержуючи вироби достатньої якості, порівняно невисокої собівартості, при цьому із високою швидкістю.

Пневматична система є важливою складовою флексографічної друкарської машини, коректне функціонування якої забезпечує безперебійну роботу машини та якість продукції, яка виготовляється. Типи та функції пневматичних систем у флексодрукарських машинах наведено на рис. 1. Флексографічні друкарські машини обладнують пневматичними системами, які загалом можна розподілити на два типи: 1) пристрої високого тиску (6-8 бар), призначені для створення натягу стрічки задрукованого матеріалу (ЗМ), а також пневматичного увімкнення деяких конструктивних елементів машини; 2) пристрої низького тиску (400 мбар) для керуючих кіл та для датчиків обриву стрічки ЗМ.

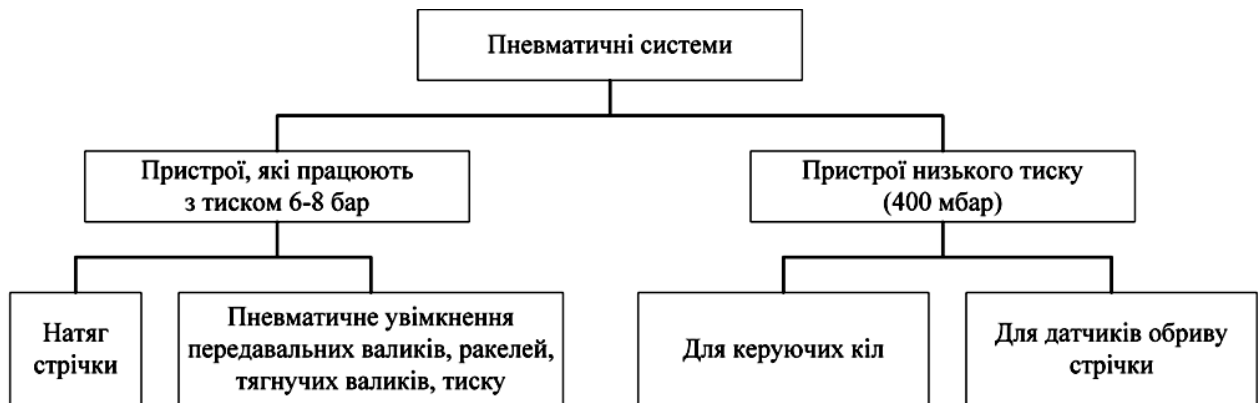


Рис. 1 – Типи та функції пневматичних систем у флексодрукарських машинах

На рис. 2 зображена схема, яка ілюструє складові флексографічної друкарської машини та особливості експлуатації її пневматичної системи. Пневматична система складається з компресора, пристрою підготовки стиснутого повітря і фільтра тонкого очищення, з'єднаного з автоматичним зливом конденсату. У свою чергу, пристрій підготовки стиснутого повітря містить вхідний фільтр з відділювачем конденсату; редукційний клапан тиску, який регулює і підтримує сталим робочий тиск; розпилювач мастила, який подає в робочу установку робоче повітря з дозованою кількістю мастила. У деяких випадках встановлюють осушувач повітря біля вхідного отвору компресора.

Під час експлуатації пневматичних систем важливо контролювати рівень води у відділювачі конденсату. Переповнення водою відділювача конденсату приводить до недостатнього звільнення стиснутого повітря від вологи, що, у свою чергу, веде до: 1) виникнення корозії на робочих поверхнях циліндрів, що викликає втрату тиску та необхідність заміни циліндрів; 2) підвищення опору руху повітря у трубопроводах, що викликає зниження тиску повітря, яке надходить до споживачів; 3) виникнення перешкод у механічних частинах системи стиснутого повітря, що може викликати зупинку машини.

Окрім вищевказаного, для коректної роботи розпилювача мастила необхідно регулярно здійснювати контроль рівня мастила у системі.

Слід зазначити, що постійні споживачі стиснутого повітря мають працювати з встановленим робочим тиском, оскільки перевищення робочого тиску призводить до пошкодження елементів системи. Тому важливим також є контроль рівня тиску у споживачах стиснутого повітря.

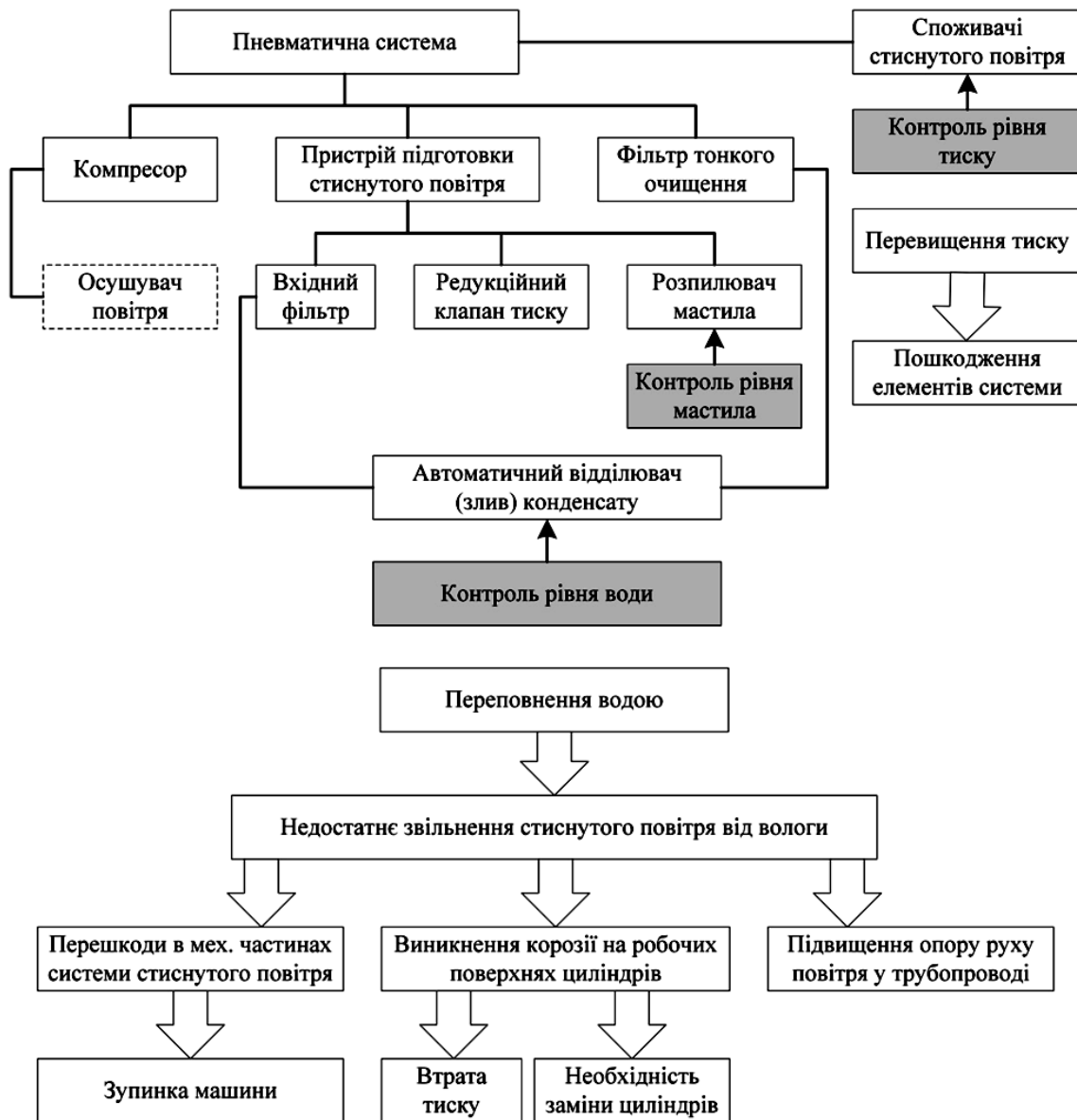


Рис. 2 – Складові пневматичної системи та особливості її експлуатації

Таким чином, розглянуто типи пневматичних систем, які використовуються у флексографічних друкарських машинах, та визначено їхні функції. Розглянуто склад пневматичної системи. Визначено особливості експлуатації складових частин пневматичної системи. Встановлено наслідки, до яких може призвести неналежне обслуговування пневматичної системи флексодрукарської машини.

#### Список посилань

1. Крауч Дж. Основы флексографии / Дж. Крауч. – М.: Изд-во МГУП, 2004. – 165 с.
2. Техника флексографской печати: Учебное пособие / Пер. с нем.; под ред. В. П. Митрофанова, Б. А. Сорокина. – М.: Изд-во МГУП, 2000. – 192 с.
3. Флексография. Принципы и практика / Пер. с англ.; под ред. Е. И. Касперской. – К.: Техника, 1973. – 272 с.
4. Ярема С. М. Флексографія: Обладнання. Технологія: Навч. посібник / С. М. Ярема. – К.: Либідь, 1998. – 312 с.

## **НАУКОВЕ ВИДАННЯ**

**IX Міжнародна науково–практична конференція**

**«Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем»**

**14 – 16 травня 2019 року**

**Том 1**

**Чернігів, ЧНТУ**

Відповідальний за видання	А.М. Єрошенко
Коректор	С.М. Ющенко
Комп'ютерна верстка і макетування	С.П. Сапон
Друк	Н.А. Тестова

Прийнято 06.05.2019. Здано до друку 07.05.2019 р.  
Формат 60x84/16 Папір офіс. Гарнітура Times New Roman.  
Друк - цифровий.  
Ум.-друк. арк. 15,25. Обл.-вид. арк. 16,37  
Наклад 100 прим. Зам. № 1839.050.018

Чернігівський національний технологічний університет  
14027 м. Чернігів, вул. Шевченка, 95

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи  
до державного реєстру видавців,  
виробників і розповсюджувачів видавничої продукції  
серія ДК № 4802 від 01.12.2014 р.