



НОВІ ТА НЕТРАДИЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В РЕСУРСО- ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕНІ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ СЕМЕНА КУЗНЕЦЯ
ВСЕУКРАЇНСЬКА ГРОМАДСЬКА ОРГАНІЗАЦІЯ АСОЦІАЦІЯ
ТЕХНОЛОГІВ-МАШИНОБУДІВНИКІВ УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ НАДТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ ІМ. В.М. БАКУЛЯ НАН УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ
ТОВ ХК «MICRON»
ПАТ «ОДЕСЬКИЙ КАБЕЛЬНИЙ ЗАВОД «ОДЕСКАБЕЛЬ»
ТЕХНІЧНИЙ ЦЕНТР «ВАРІУС»
ТОВ «ІМПЕРІЯ МЕТАЛІВ»

НОВІ ТА НЕТРАДИЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В РЕСУРСО- ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕНІ

Матеріали міжнародної науково-технічної конференції

11-12 грудня 2024 року

Одеса – 2024

Нові та нетрадиційні технології в ресурсо- та енергозбереженні:
матеріали тез доповідей Міжнародної науково-технічної конференції
(м. Одеса, 11–12 грудня 2024 р.) / Одеський національний морський
університет [та ін.] – Одеса: Одеський національний морський
університет, 2024. – 197 с.

ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦІЇ

- 1 Перспективні технології та виробничі процеси майбутнього
- 2 Наукові питання галузевого машинобудування
- 3 Сучасні ресурсозберігаючі технології
- 4 Високопродуктивні інструменти та процеси у матеріалообробці
- 5 Автоматизація технологічних та виробничих процесів
- 6 Метрологічне забезпечення нових та нетрадиційних технологій
- 7 Динаміка і міцність машин
- 8 Технологічна динаміка
- 9 Методологічні питання вищої освіти у галузі нових технологій
- 10 Архітектура та будівництво

Матеріали представлені в авторській редакції.

© Одеський національний морський університет
© Харківський національний економічний університет
імені Семена Кузнеця
© Всеукраїнська громадська організація Асоціація
технологів-машинобудівників України

ЗМІСТ

Новіков Ф.В.

До 100-річчя видатного вченого-технолога професора Якимова Олександра Васильовича 8

Амелін М.М., Іванов В.О.

Порівняльний аналіз структур технологічних процесів для виготовлення деталей типу вилки шарнірного з'єднання 12

Аносов В.Л., Богданова Л.М.

Проектування металорізального інструменту засобами інформаційних технологій 14

Бабенко М.О., Артюх А.В.

Верстатне забезпечення технологічних процесів обробки різанням дрібних деталей 16

Бабенко М.О., Сердюк В.А.

Автоматизація обробки сферичних поверхонь в умовах одиничного виробництва 17

Бабченко В.В., Яровий Ю.В.

Розробка оптимального методу гасіння коливань вантажу при пересуванні вантажного візка причального контейнерного перевантажувача 19

Басов А.С., Орлов Р.О., Кушніров П.В., Гриценко О.О.

Дослідження залежності відцентрових сил від кількості обертів фрези 21

Бахман С.О., Мельничук П.П.

Дослідження щодо підвищення ефективності технологічних процесів відновлення залізничних колісних пар: досвід Sandvik Coromant 22

Бахман С.О., Мельничук П.П.

Щодо новітніх технологічних процесів відновлення залізничних колісних пар 24

Борисенко О.С., Автухов А.К.

Вдосконалення конструкцій та матеріалів теплообмінників для підвищення ефективності опалювальних систем агропромислового комплексу 25

Бубнов Ю.О., Вислоух С.П.

Підвищення точності позиціонування робота маніпулятора методами машинного навчання 27

Бугай Л.А., Рязанцев А.О., Нечаєв В.П.

Удосконалення процесу обробки фасонних поверхонь вільним абразивом 29

Буковський О.М., Вислоух С.П.

Дослідження впливу температури на стан ізоляції міжблокових електричних з'єднань 31

Vasylykiv Vasyly, Makovynskyi Nazarii, Parastiuk Bohdan, Korniev Oleksandr

Application of the analytic hierarchy process for selecting the required metal-cutting equipment .. 33

Володченков Д.М., Нечаєв В.П.

Огляд методик моніторингу несправностей обертючих елементів електроприводу шляхом аналізу вібраційних сигналів 35

Герула Б.А., Цивінда Н.І.

Дослідження поверхневої обробки для підвищення зносостійкості чавунних деталей 36

Гнатюк Олена

Ефект вібраційного захоплення обертання дебалансного віброзбудника 38

Гнелицький М., Набока О.В.

Удосконалення контролю зубчатих з'єднань за стандартами ISO 40

Голобородько Г.М., Перпері Л.М., Майданик С.В.

Аналіз рушничних свердел під навантаженням у програмному середовищі Autodesk Inventor 41

<i>Голубовський А.В., Мельничук П.П.</i> Оброблюваність нержавіючих сталей торцевими фрезами при плоскому фрезеруванні	44
<i>Гугнін В.П., Бабенко І.А.</i> Віртуальне моделювання контролю рівня рідини	46
<i>Данилова Л.М., Мухаммад У.У.</i> Вплив геометрії свердла та умов різання на утворення задирок при свердлінні	47
<i>Димерцов Д.О.</i> Моделювання теплових процесів у газодинамічному тепло-холодильному акустичному генераторі гартмана-шпренгера.....	49
<i>Дуденко О.С., Пікільняк А.В.</i> Аналіз похибок обробки при швидкісному торцевому фрезеруванні	51
<i>Жовтобрюх В.О.</i> Industry 4.0: розумний інструмент для розумного виробництва	52
<i>Жовтобрюх В.О.</i> Розроблення методики розрахунку оптимальних режимів високошвидкісного різання твердосплавними інструментами зі зносостійкими покриттями за критерієм найменшої собівартості обробки.....	54
<i>Зуєв І.О, Цивінда Н.І.</i> Дослідження інноваційних методів обробки поверхонь деталей з ковкого чавуну.....	56
<i>Івашиура А.А.</i> Екологічний підхід до технологічного відродження Харківської області в післявоєнний період.....	57
<i>Калініченко В.В.</i> Резерви зниження енерговитрат на процес токарної обробки на важких верстатах.....	59
<i>Калюжний О.Б., Марченко М.М., Платков В.Я.</i> Дослідження комбінування пороутворювачів NaCl та NaHCO ₃ на структуру і властивості пористих політетрафторетиленів	61
<i>Калюжний О.Б., Могильченко Д.А.</i> Наукові аспекти застосування пористого фторопласту у машинобудуванні	63
<i>Карпенко В.С., Автухов А.К.</i> Відновлення властивостей електротехнічної сталі після процесу лазерного різання	65
<i>Кисилевська А.Ю., Завгородній В.В.</i> Оцінка відповідності технічного стану автомобілей з краново-маніпуляторною установкою	67
<i>Клименко С.А., Манохін А.С, Клименко С.Ан., Мельничук Ю.О., Чумак О.А., Копецькіна М.Ю.</i> Залишкові напруження в покриттях на зразках із ПКБН.....	69
<i>Коваленко Я.П., Євглевський С.С.</i> Комп'ютерне моделювання силових характеристик при торцевому фрезеруванні загартованих сталей інструментом, що оснащений ріжучими пластинами із ПКНБ без покриттів та з покриттям	71
<i>Козлова О.Б., Тришин П.Р., Левченко А.В.</i> Дослідження динамічної системи процесу кінцевого фрезерування	74
<i>Коломієць В.В.</i> Економічне оцінювання результатів впровадження різців із гексаніта-Р під час точіння покриттів, наплавлених порошковими дробами	75
<i>Кохановський В.О., Маруніч В.В.</i> Програма діагностування та налаштування друкарських машин	77

<i>Кохановський В.О., Семеніщева А.Д.</i> Переваги застосування машин цифрового друку в сучасних умовах.....	78
<i>Кравцова Д. Ю., Нечаєв В.П., Володченков Д.М.</i> Ауксетики як перспективний метаматеріал для вібродемпфування електроприводу	80
<i>Кравченко О.С., Ляшенко В.М.</i> Аналіз ефективності використання цифрових технологій у фізкультурно-оздоровчій діяльності.....	81
<i>Крайнюк М.Ю., Щербак О.В.</i> Метрологічні аспекти впровадження автоматизованих систем моніторингу шуму в дорожньо-будівельній техніці	84
<i>Крайнюк О.В., Буц Ю.В.</i> Інтелектуальні підходи до метрологічного забезпечення моніторингу виробничих умов праці з використанням штучного інтелекту	86
<i>Красота Артем, Шепеленко Ігор, Красота Михайло</i> Застосування ФАБО для підвищення ресурсу автомобільних деталей.....	88
<i>Лапковський С.В., Фролов В.К., Приходько В.П., Данилова Л.М., Ярова І.А.</i> «Прив'язка» випадковим чином базованої заготовки до системи координат фрезерного верстата.....	90
<i>Larshin V.P., Lymarenko O.M.</i> Review on distance educational technology	93
<i>Larshin V.P., Verpivskyi S.M., Lishchenko N.V.</i> Teaching model in the formal education.....	95
<i>Ларишин В.П., Лисий О.В.</i> Мехатронна мобільна турель для виявлення та відстеження літальних об'єктів	98
<i>Лещенко С.В., Іванов В.О.</i> Індустрія 4.0 як інструмент розвитку сучасної інженерії	100
<i>Mykhailova E.</i> Chemical methods of plastic waste recycling	102
<i>Монастирський Ю.А., Борис Д.С.</i> Необхідність розробки засобів комплексної механізації свердловинної гідротехнології підземного видобутку залізних руд.....	103
<i>Монастирський Ю.А., Панченко А.К.</i> Електрифікація кар'єрних самоскидів у Криворізькому залізорудному басейні.....	105
<i>Морозенко О.С.</i> Цифрові двійники у PLM-системах: розвиток управління життєвим циклом металорізальних інструментів.....	106
<i>Немировський Я.Б., Отаманський В.В., Цісельський Д.С., Шепеленко І.В.</i> Оптимізація схеми формоутворення при деформуючому протягуванні, як основа відновлення зношених деталей.....	108
<i>Нечаєв В.П., Рязанцев А.О., Реброва С.В.</i> Контактні явища в зоні різання при плазмово-механічній обробці.....	110
<i>Нечаєв В.П., Рязанцев А.О., Реброва С.В.</i> Визначення якості поверхневого шару деталей в залежності від параметрів процесу плазмово-механічної обробки.....	112
<i>Ніколаєв О.Л., Поліщук В.А., Новошицький А.В.</i> Дослідження процесів глибокого свердління та розробка оснастки з метою забезпечення дроблення стружки при вібраційному свердлінні отворів.....	114

<i>Новіков Д.Ф.</i> Забезпечення ефективного управління технологіями виробничих підприємств – важливий чинник підвищення якості та конкурентоспроможності продукції, соціальної відповідальності та збільшення прибутку	115
<i>Новіков Ф.В.</i> Теоретико-імовірнісний підхід до розрахунку та аналізу параметрів шорсткості обробленої поверхні в процесі абразивної обробки	120
<i>Новіков Ф.В.</i> Теоретичне визначення температури шліфування та умов її зменшення	124
<i>Олесьюк О.В., Погорєлов А.І., Перпері Л.М.</i> Імітаційне моделювання системи вимірювання напруги для цифрового мультиметра в середовищі SCILAB.....	128
<i>Пірогов Д.О., Воронцов Б.С.</i> Особливості оброблення заготовок із титанового сплаву Ti-6AL-4V отриманих за технологією 3D друку металів.....	130
<i>Полянський В.І., Новіков Ф.В.</i> Забезпечення умов підвищення точності та продуктивності механічної обробки	132
<i>Пошванюк В.А.</i> Моделювання явищ у зоні різання як ефективний інструмент вивчення процесу обробки	135
<i>Приходько В.П., Данилова Л.М., Лапковський С.В., Фролов В.К.</i> Прогнозна оцінка точності розмірів при обробленні на верстатах з ЧПК.....	137
<i>Приходько В.П., Данилова Л.М., Лапковський С.В., Фролов В.К.</i> Проблеми оцінки точності технологічних розмірів при обробленні на верстатах з ЧПК.....	140
<i>Радкевич С.І., Глембоцька Л.Є., Мельничук П.П.</i> Залежність сил різання від параметрів різання при фінішному торцевому фрезеруванні плоских поверхонь виробів із чавунів з вермикулярним графітом	142
<i>Савченко М.Ф., Невешкін Ю.О., Мягков В.Ю.</i> Імпульсні технології штампування та їх використання в умовах сьогодення.....	143
<i>Савченко М.Ф., Невешкін Ю.О., Савченко М.М.</i> До розробки мобільних пристроїв для дистанційного гасіння пожежі	144
<i>Смоквина Володимир, Ільницька Галина, Олійник Нонна, Петасюк Григорій, Лавріненко Валерій, Тимошенко Вікторія, Сизоненко Ольга</i> Дослідження умов флотаційного розділення алмазного шліфпорошку абразивного призначення та впливу на нього високовольтних електричних розрядів	145
<i>Соколов О.С, Іванов В.О.</i> Адаптивне керування на основі цифрового двійника свердлильного верстата	147
<i>Степанов М.С., Іванова Л.П., Літовченко П.І., Іванова М.С.</i> Аналіз теплових потоків, що діють на шліфувальну бабку круглошліфувального верстату	149
<i>Стрельчук Р.М.</i> Вплив електроерозійного алмазного шліфування на залишкові напруження і зносостійкість твердосплавних інструментів	154
<i>Тіхенко В.М., Ганусовський В.О.</i> Аналіз методів діагностики електродвигунів технологічних машин та обладнання.....	156
<i>Tonkonogiy V.M., Larshin V.P., Buchka Y.V.</i> Distance learning technological process	159

<i>Топтун А.В.</i> Аналіз стабільності генерації сучасних відновлювальних джерел енергії в Україні	162
<i>Третьак В.В., Нижник С.М., Морозов М.І.</i> Можливості програмного формування маршрутного технологічного процесу деталі типу «Корпус» для групового технологічного процесу з використанням стуктурно-аналітичної моделі	164
<i>Фасахов О.М., Мельничук П.П.</i> Термічна обробка латунних безсвинцевих сплавів для покращення оброблення різанням.....	166
<i>Фоменко В.О., Пікільняк А.В.</i> Оптимізація впливу режимів різання на шорсткість оброблюваної поверхні деталей із марганцевої сталі	168
<i>Фролов В.К., Лапковський С.В., Приходько В.П., Данилова Л.М., Ярова І.А.</i> Безконтактне визначення габаритних розмірів деталей	170
<i>Khavin G.L</i> Model of wearing wc-co tools with planted polymer composite materials	172
<i>Хомяк Ю.М., Кібаков О.Г., Жеглова В.М.</i> Способи підвищення навантажувальної здатності блоку циліндрів аксіально-поршневих гідромашин	173
<i>Цапко Ю.В., Бондаренко О.П., Цапко О.Ю., Ющенко А.В</i> Дослідження захисту текстильних матеріалів від дії вогню	176
<i>Цапко Ю.В., Бондаренко О.П., Цапко О.Ю., Ющенко А.В</i> Особливості захисту виробів з очерету інтумесцентним покриттям від дії вогню.....	178
<i>Чумаченко Т.В., Ніколаєва Т.В., Пасєка І.В., Беспалова А.В.</i> Дослідження стійкості ріжучого інструменту після обробки холодом.....	180
<i>Shevchenko S.M., Khizhnyak B.O.</i> Application of complex ion nitridation for strengthening of instrument steel CHX12MOV	182
<i>Шевченко С.М., Степанов М.С., Погрібний М.А., Новіков Ф.В., Дитиненко С.О.</i> Дослідження електро-ерозійного алмазного шліфування як зміцнювального методу.....	184
<i>Шкрабало М.С., Яровий Ю.В.</i> Аналіз та визначення варіативних конструктивних параметрів систем врівноваження порталних кранів.....	185
<i>Яровий Ю.В., Фролов В.К., Лапковський С.В., Сапон С.П., Медведєв В.В.</i> Використання керованих верстатних пристроїв на горизонтальних фрезерних верстатах з ЧПК	186
<i>Голобородько В.В., Оборський Г.О., Перпері Л.М.</i> Застосування тепловізора для вимірювання температури в зоні різання при токарній обробці	188
<i>Новіков Ф.В., Новіков Д.Ф.</i> Вийшли у світ навчальні посібники та монографія, присвячені сучасним проблемам створення технологій.....	191

ДО 100-РІЧЧЯ ВИДАТНОГО ВЧЕНОГО-ТЕХНОЛОГА ПРОФЕСОРА ЯКИМОВА ОЛЕКСАНДРА ВАСИЛЬОВИЧА

Вирішення складних проблем технології машинобудування щодо підвищення якості та надійності машин і систем нерозривно пов'язано із ім'ям видатного вченого-технолога, теплофізика, механіка та матеріалознавця, Заслуженого діяча науки України, Лауреата Державної премії України, академіка Інженерної Академії Наук України, почесного професора НТУУ «Київський політехнічний інститут», доктора технічних наук, професора Одеського національного політехнічного університету, засновника всесвітньо відомої наукової технологічної школи **ЯКИМОВА ОЛЕКСАНДРА ВАСИЛЬОВИЧА**. Завдяки його науково-практичній творчості розроблено нові технологічні процеси виготовлення машин та систем, які підкорили виробництво найвищим рівнем якості, точності та продуктивності, а його рішення із теплофізики та механіки абразивної та алмазно-абразивної обробки визнані класичними, вони розширили наші уявлення відносно загальної теорії теплопровідності твердих тіл та механіки систем, що деформуються. Олександр Васильович Якимов своїми теоретичними та практичними роботами зробив величезний внесок у створення нових ефективних технологій машинобудування, які широко використовують у виробництві. Він вдало поєднував у собі якості вченого-технолога теоретика та практика. Високий рівень математичної підготовки, фундаментальні знання із теплофізики, механіки, матеріалознавства та інших природничих наук дозволили йому отримати принципово нові теоретичні рішення щодо теплових та механічних процесів під час механічної обробки та сформулювати нові наукові концепції розвитку технології машинобудування як самостійної прикладної науки.

Створений ним новий науковий напрям, заснований на управлінні нестационарними термодинамічними процесами, що протікають у зоні контакту різального інструменту із оброблюваним матеріалом, відкрив нові можливості інтенсифікації виробництва, забезпечення високоякісної обробки відповідальних виробів авіаційної та ракетно-космічної техніки. Під його керівництвом успішно вирішено низку принципово важливих для вітчизняного машинобудування проблем щодо підвищення якості обробки відповідальних деталей машин шляхом вилучення припикань, мікротріщин та інших температурних дефектів на оброблюваних поверхнях. Їм вперше у світовій практиці створено надзвичайно ефективний метод переривчастого шліфування, який кардинально вирішує проблему зниження температури у зоні різання та покращення якості поверхневого шару оброблюваного матеріалу, підвищує надійність та довговічність роботи деталей машин. Метод переривчастого шліфування став зразком вирішення задач металообробки завдяки можливості

суттєвого зниження сили і температури різання та забезпечення високоякісної бездефектної обробки деталей машин без зменшення продуктивності обробки.

Запропонована Олександром Васильовичем Якимовим ідея відносно пульсуючого нагрівання оброблюваної деталі з мікроскопічними інтервалами охолодження завдяки періодичному перериванню контакту ріжучого інструменту із деталлю із метою вилучення теплового насичення поверхневих шарів оброблюваного матеріалу і зниження температури різання отримала широке практичне втілення у прогресивних конструкціях абразивних і алмазно-абразивних інструментів із переривчастою робочою поверхнею, які активно використовують у різних галузях промисловості. У даний час важко уявити обробку високоміцних сталей і сплавів, твердих порід каменю та інших важкообробних металевих і неметалічних матеріалів без застосування переривчастих кругів (у тому числі відрізних) і шліфувальних стрічок із переривчастою робочою поверхнею, а також методів нанесення «масляних кишень» на поверхні, що працюють в умовах тертя, розроблених професором Якимовим О. В. Так, завдяки застосуванню переривчастого шліфування успішно вирішено проблеми обробки складно-фасонних високоточних деталей сучасних реактивних та турбогвинтових авіаційних двигунів, наприклад, зубчастих коліс, що працюють із окружними швидкостями 80...100 м/с та передають навантаження близько 8000...10000 Н/см, газотурбінних та компресорних лопаток із жароміцних та титанових сплавів тощо.

Періодичне переривання процесу шліфування кругом із переривчастою робочою поверхнею зменшує температуру різання та збуджує високочастотні коливання у пружній системі, зменшуючи, тим самим, енергоємність процесу та забезпечуючи безперервне правлення круга. В умовах переривчастого шліфування зменшення температури різання відбувається за двома каналами: шляхом переривання процесу різання до того моменту, поки температура не досягла квазістаціонарного стану, і шляхом створення гострого різального рельєфу круга. Жоден із відомих методів шліфування не має такого подвійного



Професор Якимов Олександр Васильович

фізичного ефекту обробки. За цим напрямом під науковим керівництвом Олександра Васильовича Якімова виконано та захищено більше 50 кандидатських та докторських дисертаційних робіт.

Олександр Васильович був справжнім ПЕДАГОГОМ. За своє довге життя він підготував тисячі інженерів-технологів, і за кожним із них стоїть велика і кропітка

праця, найвищий професіоналізм Учителя. У ньому завжди вражало постійне прагнення нового – нових завдань і рішень. Вражали глибокі фізико-математичні знання, які, зазвичай, не властиві вченим-технологам. Захоплювала лаконічність його наукової думки – написаний ним текст відрізнявся чіткістю та ясністю і був справжнім взірцем для наслідування. Як Учитель, він відкривав своїм учням новий світ знань, допомагав виробляти стратегію наукового пошуку, за що вони йому дуже вдячні.

Олександр Васильович до останніх днів свого життя працював на кафедрі «Технологія машинобудування» Одеського національного політехнічного університету. До останніх днів життя він залишався вірним своїм ідеалам: НАУЦІ, яку він любив і якій присвятив усі свої прекрасні роки, ВИРОБНИЦТВУ, яке він збагачував практичними розробками та доводив до світових стандартів, ОСВІТІ, якій віддавав усі свої сили, знання та багатий життєвий досвід.



Якимов Олександр Васильович із сином Олексієм Олександровичем

Значним вкладом у розвиток теплофізики механічної обробки та технології машинобудування стали наукові праці професора Якімова Олексія Олександровича – сина Олександра Васильовича. Він продовжив справу, розпочату батьком. Закінчив Одеський політехнічний інститут і аспірантуру за спеціальністю «Технологія машинобудування». У 1991 році захистив кандидатську дисертацію на тему: «Підвищення ефективності переривчастого шліфування деталей, загартованих до високої твердості», а у 2015 році – докторську дисертацію на тему: «Технологічне забезпечення якості поверхневого шару зубів високоточних зубчастих коліс при шліфуванні», отримав вчене звання професор. Працював завідувачем кафедри «Інформаційних

технологій проектування в машинобудуванні» (ІТПМ) Одеського національного політехнічного університету.



*Професор Якімов Олексій
Олександрович*

Під час підготовки докторської дисертації показав високий математичний рівень, довів розв'язання складних диференціальних рівнянь теплопровідності щодо процесу шліфування до чисельних розрахунків, до розроблення практичних рекомендацій та їх впровадження у виробництво. Сформулював принципово новий науковий напрям із підвищення якості та продуктивності обробки в умовах переривчастого шліфування на основі управління тепловими процесами. Ця робота відкрила нові горизонти сучасного вдосконалення технологій зубошліфування, якими його батько – Олександр Васильович починав займатися ще в роки своєї молодості, працюючи на машинобудівному заводі.

На жаль, доля не подарувала Олексію Олександровичу довгого життя – прожив лише 62 роки. Але за ці роки він багато чого досяг, залишив глибокий слід у серцях та умах всіх, хто його знав і з ким він працював. Він був працьовитим, дисциплінованим, дуже вимогливим до себе, ерудованим не лише із технічних і технологічних питань, а й із питань мистецтва, музики, культури, історії ... Із трепетом зберігав пам'ять про свого батька – Олександра Васильовича. Підготував серію книг про нього, про його наукову діяльність та про дуже цікавий рід Якимових, багато представників якого стали широко відомими у різних напрямках професійної діяльності.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СТРУКТУР ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ ВИЛКИ ШАРНІРНОГО З'ЄДНАННЯ

Процес виготовлення деталей типу вилки шарнірного з'єднання є багатоваріативним і залежить від конструкторсько-технологічних параметрів деталі та наявного технологічного обладнання на підприємстві, що їх виготовляє. Аналіз існуючого технологічного процесу [1], який складається з 8 технологічних операцій, включаючи 4 операції, які потребують застосування металорізального обладнання, свідчить, що спочатку треба обробити торці отворів у вушках, приймаючи технологічними базами хвостовик і діаметральні необроблювані зовнішні поверхні вушок. Потім, використовуючи зовнішні діаметральні поверхні вушок, як технологічну базу, можна обробити отвори у вушках, далі –зовнішню або внутрішню поверхню хвостовика. При обробленні на кожній операції проводиться обов'язкова вивірка положення деталі, що призводить до збільшення підготовчо-завершального та допоміжного часу. Це знижує продуктивність та збільшує собівартість виготовлення деталі, що в умовах сучасного виробництва неприпустимо. Крім того, більша кількість операцій технологічного процесу вимагає застосування верстатних пристроїв для кожної технологічної операції. Це призводить до збільшення витрат часу на проектування та виготовлення верстатних пристроїв під час технологічної підготовки виробництва, а також вимагає додаткових фінансових витрат, які матимуть негативний наслідок у собівартості деталі. Таким чином, зменшення кількості технологічних операцій сприятиме зменшенню одиниць технологічного обладнання та верстатних пристроїв.

Розглянутий варіант технологічного процесу не повною мірою охоплює варіативність деталей типу вилки шарнірного з'єднання та спроектований для простих варіантів деталей, що не враховують складні конструктивні елементи (внутрішні або зовнішні шліци, пази, прорізи, лиски та ін.). Розроблено новий технологічний процес виготовлення деталей типу вилки шарнірного з'єднання, використовуючи принцип інтенсифікації і введення технологічної операції «Комплексна на оброблювальному центрі з ЧПК» [2]. Запропоновано застосовувати метод ротаційного протягування, що дозволяє забезпечити оброблення внутрішньої шліцьової поверхні із заданими показниками точності. Враховуючи рекомендації виробників ротаційних головок щодо технологічних обмежень за довжиною та діаметром оброблюваних поверхонь, запропоновано два варіанти технологічного процесу. Для деталей, у яких довжина оброблення менше 60 мм, запропоновано технологічний процес, де ротаційне протягування виконується на позиції 1 технологічної операції «Комплексна на оброблювальному центрі з ЧПК». Для деталей з довжиною оброблення більше 60 мм у структуру технологічного процесу додано додаткову операцію

«Протяжна» з метою протягуванням внутрішньої шліцьової поверхні. Для реалізації запропонованого технологічного процесу базування заготовки здійснюється з позбавленням 6 ступенів вільності, тобто заготовка повністю орієнтована у просторі під час оброблення. Базовими поверхнями є циліндрична поверхня хвостовика і зовнішні торцеві поверхні вушок. Закріплення заготовки здійснюється за тими ж поверхнями. Таким чином, забезпечується інструментальна доступність до усіх поверхонь, які потребують оброблення. Операція «Комплексна на оброблювальному центрі з ЧПК» виконується на багатокоординатному верстаті у трьох позиціях. На першій позиції фрезерується торець хвостовика, виконується свердлення та зенкерування отвору у ньому. Після цього методом ротаційного протягування обробляються шліци. Останнім переходом на цій позиції є фрезерування торців кріпильного отвору. На другій позиції фрезеруються торці зовнішні та внутрішні отвори вушок, та внутрішні поверхні деталі між вушками, оброблення ступінчатого кріпильного отвору (свердління, цекування, зенкування). На третій позиції виконується свердлення отворів у вушках із подальшим зенкеруванням і розгортанням.

Порівняльний аналіз структур технологічних процесів за трудомісткістю для партії деталей 150 шт. підтвердив, що запропонований технологічний процес забезпечує істотне скорочення непродуктивних витрат часу під час виконання операцій на металорізальному обладнанні. Зокрема спостерігається скорочення за допоміжним часом на 67,7%; за додатковим часом на 55,1%; за часом на відпочинок та особисті потреби на 61,8%; за підготовчо-завершальним часом на 75%; за штучним часом на 60,1%; за штучно-калькуляційним часом на 59,9%. Внаслідок зміни структури технологічного процесу частка основного часу збільшилася на 15% порівняно з типовим технологічним процесом. Перерозподіл часу відбувся за рахунок скорочення частки підготовчо-завершального часу з 80% до 65%. Це обумовлено скороченням кількості технологічних операцій та зменшенням непродуктивних витрат часу на кожній із них. Як висновок, розроблено технологічний процес виготовлення деталей типу вилки шарнірного з'єднання, особливістю якого є можливість механічного оброблення усіх поверхонь деталі на одній операції без перезакріплення. Такий підхід забезпечує скорочення кількості операцій у структурі технологічного процесу, що сприяє скороченню операцій механічного оброблення з 4 до 1 операції, що виконується на багатокоординатному верстаті з ЧПК.

ЛІТЕРАТУРА

1 Ivanov, V., Dehtiarov, I., Evtuhov, A., Pavlenko, I., Ruban, A. (2021). Multiaxis Machining of Fork-Type Parts: Fixture Design and Numerical Simulation. In: Karabegović, I. (eds) New Technologies, Development and Application IV. NT 2021. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 233. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-75275-0_17

2 Інтенсифікація процесів механічної обробки: монографія/ В.Є. Карпусь, В.О. Іванов, О.В. Котляр та ін.; за ред. В.Є. Карпуся. - Суми: Сумський державний університет, 2012. – 436 с.

ПРОЕКТУВАННЯ МЕТАЛОРІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ ЗАСОБАМИ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Ефективність процесу механічної обробки багато в чому визначається раціонально обраними варіантами конструкцій інструменту і експлуатаційними характеристиками матеріалу ріжучої частини. Це може бути розв'язано за допомогою визначення зон найбільш ефективного використання конкретної конструкції інструменту – технологічних ніш (ТН), що вимагає широкого аналізу багатовимірних виробничих даних про експлуатацію інструменту [1].

Одним з таких засобів є використання кластеризації на основі карт ознак, що самоорганізуються – карт Кохонена. Вони являють собою не тільки ефективний алгоритм кластеризації, а й дозволяють представляти її результати у вигляді двовимірних зображень, де відстані між об'єктами відповідають відстані між векторами в багатовимірному просторі, а самі значення ознак відображаються різними відтінками. Таким чином двовимірна карта дозволяє за рахунок різних колірних відтінків показувати три виміри [2].

Завдання вирішувалося для торцевих фрез. При проектуванні необхідні дані про заготовку, деталь, режими обробки, верстат. Потрібно також враховувати і інформацію про минулий досвід експлуатації інструменту через те, що на виробництві діє велика кількість випадкових чинників і їх вплив врахувати важко.

Необхідні для аналізу виробничі дані містять масиви по прецедентам механічної обробки деталей фрезами, отримані методами моментних та довготривалих спостережень в умовах виробництва. На основі цих даних проводиться побудова розподілів щільності по вагомим факторам. Це надає можливість виконати попередній аналіз варіаційного ряду для необхідного параметру з виключенням випадваючих даних, побудувати емпіричний розподіл, підібрати найбільш відповідний закон теоретичного розподілу, на його основі визначити максимальні, мінімальні, найбільш вживані значення параметру. Вивчення комплексу технологічних завдань підприємств-споживачів, функцій інструменту, визначає потребу у кількості інструменту конкретних типорозмірів.

Інструментальний засіб аналізу даних умов експлуатації фрез аналітична платформа Deductor Studio 5.0 версії Academic. Вона має можливості побудови самоорганізаційних карт Кохонена за алгоритмом: завдання початкових векторів, навчання нейронної мережі, обчислення помилки віднесення до класу, візуалізація результатів кластеризації [2].

При цьому кожен нейрон являє собою n -мірний вектор-стовпець $w = [w_1, w_2, \dots, w_n]^T$, де n – визначається розмірністю вхідних векторів. При подачі на вхід мережі вектору перемагає той нейрон, вектор якого менше відрізняється від вхідного. Для нейрона-переможця виконується наступне співвідношення: $d(x, w_j) = \min d(x, w_i)$, $1 < i \leq n$, де n – кількість нейронів, j - номер

нейрону переможця, $d(x, w)$ – відстань між векторами x та w . Після пред'явлення достатнього числа вхідних векторів синаптичні ваги мережі Кохонена стають здатні визначити кластери. В розглянутому випадку на виході формуються кластери, тобто технологічні ніші, що дозволяють визначитися з типом конструкції фрези і її типорозміром на основі розмірів ріжучої пластини.

Параметри карти Кохонена, що самоорганізується було підібрано з урахуванням високої якості візуалізації та інтерпретації результатів. Розмірність карти – 20×20 шестикутних осередків, вузли якої представлені штучними нейронами. Якість навчання нейромережевої моделі – 100% розпізнаних прикладів на навчальній множині.

Для ініціалізації карти (завдання початкових значень вузлів мережі) використовувалися значення з власних векторів, рівномірно розподілені в діапазоні значень вхідних даних. Навчання проводилося кілька разів з різними значеннями параметрів навчання – варіювалися радіуси сусідства для обох етапів навчання і для кожного набору значень параметрів навчання використовувалося кілька варіантів випадкової початкової ініціалізації. Для навченої карти проводилася візуалізація, тобто процедура постановки у відповідність всіх векторів, що подаються на вхід відповідним їм вузлам нейронної мережі.

Нейронні мережі працюють лише з числовими даними, тому важливим етапом при підготовці даних є перетворення і кодування даних.

Після пред'явлення достатнього числа вхідних векторів синаптичні ваги мережі Кохонена стають здатні визначити кластери. В нашому випадку на виході формуються кластери, тобто технологічні ніші, що дозволяють визначитися з типом конструкції фрези і її типорозміром на основі розмірів ріжучої пластини.

В результаті роботи алгоритму отримані наступні карти: карта входів нейронів: характер поверхні, глибина різання, швидкість різання, марка матеріалу пластини; спеціальні карти: матриця відстаней, матриця помилок квантування і кластери. Всі дані були розділені на 26 кластерів, які після аналізу за подібністю характеристик об'єднано в 5 груп і надано рекомендації з вибору конструкцій, які сформував експерт, на основі результатів розподілу.

Таким чином, ґрунтуючись на властивості карт Кохонена проектування багатовимірного простору в простір з нижчою розмірністю, вирішуємо дві задачі: формування технологічних ніш для визначення ефективного використання відповідних типів конструкції фрези і обґрунтування типорозмірів її пластини. Отриману навчену карту Кохонена можна використовувати для пошуку ТН в масивах даних експлуатації для інших матеріалів деталей, для яких є той же набір вхідних даних. Змістовний аналіз отриманих кластерів дозволяє виявити закономірності і аномалії. Відносячи новий об'єкт до одного з кластерів, можна прогнозувати поведінку або властивості об'єкту.

ЛІТЕРАТУРА

1 Automated designing and manufacturing of products with the use of CAD/CAM/CAE-systems: monograph / L.V. Vasil'eva O.F. Tarasov, A.V. Altukhov, P.I. Sagayda, V.L. Anosov. – Kramatorsk: TsTRII "Printing House", 2017 – 239 p.

2 Руденко О.Г., Борянський Є.В. Штучні нейронні мережі: Навчальний посібник. – Харків: ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. – 404с.

ВЕРСТАТНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ОБРОБКИ РІЗАННЯМ ДРІБНИХ ДЕТАЛЕЙ

Дрібні деталі застосовуються в медицині, приладобудуванні, аерокосмічній та військовій промисловості. Наприклад, серед основних компонентів, які використовуються в дентальній хірургії, виділяються наступні: дентальні імпланти, абатменти, аналоги, мультиюніти, формувачі, трансфери (рис. 1) [1].

Маленькі деталі зазвичай мають жорсткі допуски на розміри, оскільки найменше відхилення може призвести до порушення функціональності готового виробу. Виготовлення дрібних деталей часто здійснюється з міцних і зносостійких матеріалів, таких як титан, нержавіюча сталь, алюмінієві та латунні сплави.

Технологія виготовлення дрібних деталей вимагає застосування високоточного обладнання та спеціалізованих технологій, які забезпечують точність і стабільність розмірів.



Рисунок 1 – Дрібні деталі медичної галузі [1]

Обробка різанням дрібних деталей на сучасних автоматах передбачає мінімальне втручання оператора, оскільки більшість процесів програмується заздалегідь і контролюється системами числового програмного керування. Завдання оператора полягає лише в завантаженні матеріалів і періодичному контролі якості продукції. Це дозволяє уникнути помилок, пов'язаних із ручним налаштуванням, і підвищити якість продукції.

Для обробки надточних дрібних деталей, які вимагають ретельного дотримання розмірів і співвісності, рекомендуються верстати швейцарського типу (Swiss Type) [2]. Такі верстати спеціально створені для обробки заготовок діаметром від 1 до 25 мм при довжині, що перевищує діаметр у декілька разів. Особливість обробки полягає в тому, що заготовка переміщується вперед і назад вздовж осі шпинделя, а інструменти обробляють заготовку, коли він зафіксований у шпинделі. Таке вирішення дозволяє досягти високої точності при обробці, а також скоротити час на виготовлення завдяки можливості одночасного виконання декількох операцій.

Системи подачі заготовок є важливими елементами, які впливають на безперервність процесу обробки. Використання барфідера дозволяє автоматично подавати пруток з різними діаметрами і формами до верстата, зменшуючи час простою.

Ще однією важливою особливістю обробки дрібних деталей є наявність контршпинделя, який дозволяє обробляти заготовку з обох сторін без переміщення її з одного шпинделя на інший. Це зменшує витрати часу на переустановка деталі, підвищує продуктивність та точність обробки.

ЛІТЕРАТУРА

1 Продукція заводу ABM Technology. URL: <https://abmt.com.ua/ua/produksiya/> (дата звернення: 23.11.24).

2 Токарний верстат з ЧПУ швейцарського типу. URL: <https://ua.swisstypelathes.com/swis-lathe/swiss-type-cnc-lathe.html> (дата звернення: 25.11.24).

Бабенко М.О., Сердюк В.А.

Донецький національний технічний університет

АВТОМАТИЗАЦІЯ ОБРОБКИ СФЕРИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ В УМОВАХ ОДИНИЧНОГО ВИРОБНИЦТВА

Деталі зі сферичними поверхнями набули найбільшого розповсюдження у сферичних кінематичних парах із трьома ступенями свободи. Серед прикладів застосування: шарнірні кульові з'єднання, кутові шарнірні з'єднання, кульові шарніри ковзання (рис. 1). В процесі експлуатації таких шарнірних з'єднань поверхні взаємодіючих деталей працюють в умовах тертя при граничному змащуванні, а деякі з них випробовують на собі динамічні навантаження. Тому надійність роботи шарнірного вузла залежить від забезпечення високої якості та фізико-механічних властивостей взаємодіючих сферичних поверхонь.

Забезпечення якості сферичних поверхонь відбувається рівнем технології їх виготовлення. Зазвичай маршрут виготовлення деталей зі сферичними поверхнями складається із послідовної чорнової та чистової лезвійної обробки та подальших операцій з підвищення показників якості, точності та механічних властивостей поверхні сферичного елемента.



Рисунок 1 – Вироби зі сферичними конструктивними елементами

Обробку різанням здійснюють на токарних або фрезерних верстатах. Токарна обробка може здійснюватися:

- 1) стандартними різцями з комбінуванням ручної поперечної та повздовжньої подачі;
- 2) стандартними різцями з використанням програми на верстатах із ЧПК;
- 3) стандартними різцями з використанням спеціальних верстатних пристосувань з коловою подачею або повідкових пристосувань;
- 4) стандартними різцями за допомогою копіювальних пристроїв;
- 5) фасонними різцями.

Серед означених способів економічно вигідними для одиничного виробництва є перших два. Інші не застосовуються із-за причини додаткових витрат на пристосування або інструмент. Проте недоліком токарної обробки сферичних поверхонь є отримання недостатніх показників якості та точності [1].

Підвищення якості обробки можливе на фрезерних верстатах при використанні торцевих або спеціальних фрез. При цьому відмічається підвищення продуктивності за рахунок можливості збільшення подачі та швидкості обертання інструмента. Проте лезвійна обробка фрезеруванням не забезпечує необхідних вимог до якості сферичних поверхонь і потребує подальшого шліфування або обробки поверхнево-пластичним деформуванням. Збільшення кількості верстатів для реалізації технологічного процесу в умовах одиничного виробництва збільшує допоміжний час на встановлення та транспортування заготовки і значно відбувається на зниженні продуктивності праці.

Перевагою втілення автоматизації при реалізації технологічних процесів у машинобудуванні є підвищення продуктивності за рахунок скорочення показників трудомісткості. Рівень і засоби автоматизації у значному ступеню зумовлюється типом серійності виробництва та вимогами щодо гнучкості. Так, в умовах одиничного виробництва рекомендовано застосовувати універсальні верстати (багатофункціональні оброблювальні центри), витрати на придбання та обслуговування яких виправдовуються їхніми широкими можливостями щодо механічної обробки [2].

З урахуванням вищезначеного для обробки деталі зі сферичними поверхнями в умовах одиничного виробництва запропоновано використання багатофункціональний токарно-фрезерний оброблювальний центр із функцією п'яти-осьового зв'язку [3]. Це уможливило виконання усіх етапів обробки заготовки на одному робочому місці: спершу виконується токарна операція з попередньої обробки сферичної поверхні, потім шляхом фрезерування відбувається чистове оброблення сферичної поверхні, завершальною здійснюється операція вигладжування із досягненням необхідних показників точності розмірів і якості поверхні.

Перевагами такого способу автоматизації є: зменшення часу на переустановка і транспортування заготовки, підвищення точності за рахунок реалізації принципу постійності баз, зменшення кількості задіяних працівників, зменшення зайнятих робочих площ.

ЛІТЕРАТУРА

1 Косіюк М.М., Костюк С.А., Формоутворення неповних сферичних поверхонь на універсальних верстатах токарної групи. Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. Хмельницький, 2017. № 3. С. 47–52.

2 Навчальний посібник до вивчення дисципліни «Проектування автоматизованих верстатних роботизованих комплексів» для студентів денної та заочної форм навчання освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності 131 «Прикладна механіка» / уклад. Л. П. Калафатова, С. О. Вірич, М. О. Бабенко. – Луцьк-Покровськ: ДВНЗ «ДонНТУ», 2023. – 252 с.

3 A method of special surface machining with turn milling compound machining center. URL: <https://www.eltcncmachine.com/info/a-method-of-spherical-surface-machining-with-t-55532318.html> (дата звернення: 20.10.2024).

Бабченко В.В., Яровий Ю.В.

Одеський національний морський університет

РОЗРОБКА ОПТИМАЛЬНОГО МЕТОДУ ГАСІННЯ КОЛИВАНЬ ВАНТАЖУ ПРИ ПЕРЕСУВАННІ ВАНТАЖНОГО ВІЗКА ПРИЧАЛЬНОГО КОНТЕЙНЕРНОГО ПЕРЕВАНТАЖУВАЧА

У сучасних умовах інтенсивного розвитку транспортної інфраструктури та зростання обсягів міжнародних вантажоперевезень підвищуються вимоги до ефективності роботи портової техніки, зокрема причальних контейнерних перевантажувачів. Однією з ключових проблем, яка значно впливає на продуктивність таких перевантажувачів, є коливання вантажу під час його переміщення. Неконтрольовані коливання не тільки збільшують час виконання операцій, але й підвищують ризики пошкодження вантажу, крана та загрозу безпеці персоналу.

Існуючі методи гасіння коливань, що використовуються в контейнерних перевантажувачах, мають низку недоліків. Деякі з них не забезпечують достатньої точності позиціонування вантажу, інші вимагають значних витрат енергії або призводять до підвищеного зносу обладнання. Це створює необхідність у розробці нових підходів, які дозволили б оптимізувати процеси вантажних операцій, зменшити енергетичні витрати та забезпечити безпеку роботи перевантажувача.

Розглянуто два метода гасіння коливань вантажу при пересуванні вантажного візка причального контейнерного перевантажувача: традиційний та оптимальний [1-3].

Традиційний метод зменшення коливань вантажу, який широко використовується в автоматизації контейнерних перевантажувачів, спрямований на зменшення динамічних навантажень і покращення стабільності під час переміщення вантажного візка. Основна ідея цього методу полягає в розгоні візка до такої швидкості, при якій коливання вантажу зменшуються до мінімуму або повністю усуваються [2]. Процес реалізації цього методу включає кілька

ключових етапів. По-перше, задається початкова швидкість розгону візка. Потім, з урахуванням величини шляху, визначаються тривалості етапів розгону та гальмування, що дозволяють візку переміститися на задану відстань. Математичні моделі системи використовуються для інтегрування рівнянь руху з обраними параметрами, що дає змогу розрахувати величину залишкових коливань вантажу після зупинки візка.

Оптимальний метод гасіння коливань вантажу представляє собою вдосконалений підхід до традиційних технологій і спрямований на досягнення максимальної стабільності вантажного візка під час його переміщення. Основна концепція цього методу полягає в застосуванні адаптивного управління, яке автоматично коригує параметри розгону та гальмування в залежності від фактичних умов руху вантажу [3].

Результати проведених досліджень підтвердили, що оптимальний метод гасіння коливань вантажу виявляється значно ефективнішим у порівнянні з традиційним методом. При використанні оптимального методу для заданих параметрів вантажний візок проходить визначену відстань за 18,6 секунди, тоді як традиційний метод потребує 20 секунд. Це свідчить про явні переваги оптимального підходу, який не лише зменшує тривалість робочого циклу, а й суттєво підвищує загальну ефективність роботи перевантажувача.

Застосування оптимального методу забезпечує надійну та просту систему гасіння коливань, що веде до значного зниження динамічних навантажень на металоконструкції та механізми перевантажувача. В результаті цього підвищується довговічність обладнання, що, у свою чергу, зменшує частоту необхідних ремонтних робіт і витрати на їх проведення. Також важливо зазначити, що зменшення динамічних навантажень позитивно впливає на загальний стан інфраструктури та знижує ризики, пов'язані з можливими аваріями.

Оптимальний метод завдяки адаптивному керуванню швидкістю розгону та гальмування дозволяє більш ефективно контролювати коливання вантажу. Це, в свою чергу, сприяє точному позиціонуванню вантажу, що істотно підвищує безпеку вантажних операцій. Впровадження цього методу має позитивний вплив на загальну продуктивність і надійність системи перевантаження, роблячи її більш конкурентоспроможною на сучасному ринку. Додатково, підвищення точності позиціонування вантажу може також позитивно впливати на якість обслуговування клієнтів, оскільки швидкість та безпека операцій є критично важливими аспектами в цій сфері. Таким чином, оптимальний метод гасіння коливань стає ключовим чинником, що сприяє покращенню якості та ефективності перевантажувальних процесів.

ЛІТЕРАТУРА

- 1 Бойсгенс Г. Електромеханічні системи для гасіння коливань вантажу в підйомних механізмах – Гамбург: Verlag, 2015. – 150 с.
- 2 Дяченко В.В., Овсянніков О.С. Методи гасіння коливань вантажу у перевантажувальних механізмах – Харків: ХНУ, 2019. – 180 с.
- 3 Чернишев О.В., Соловійов С.А. Автоматизація гасіння коливань в портових кранах – Дніпро: Дніпровський національний університет, 2019. – 240 с.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ВІДЦЕНТРОВИХ СИЛ ВІД КІЛЬКОСТІ ОБЕРТІВ ФРЕЗИ

Торцеві фрези, що застосовуються для механічного оброблення плоских поверхонь, можуть містити ріжучі ножі у вигляді циліндричних різальних вставок. Ці різальні вставки в корпусі фрези встановлюються у відповідні отвори та закріплюються гвинтами по бічним лискам. У ході обертання фрези на різальні вставки діють відцентрові сили, які намагаються висунути ці вставки назовні.

Для фрези діаметром 315 мм та оснащеної надтвердими матеріалами, було проведено дослідження впливу кількості обертів на величину відцентрової сили, що виникає при обертанні (рис. 1). Як видно з діаграми, величина відцентрової сили залежить від діаметра різальної вставки, що в свою чергу впливає на масу вставки. Для різальної вставки діаметром 12 мм найбільших значень (300Н) відцентрові сили досягають при приблизно 40 обертах за секунду.

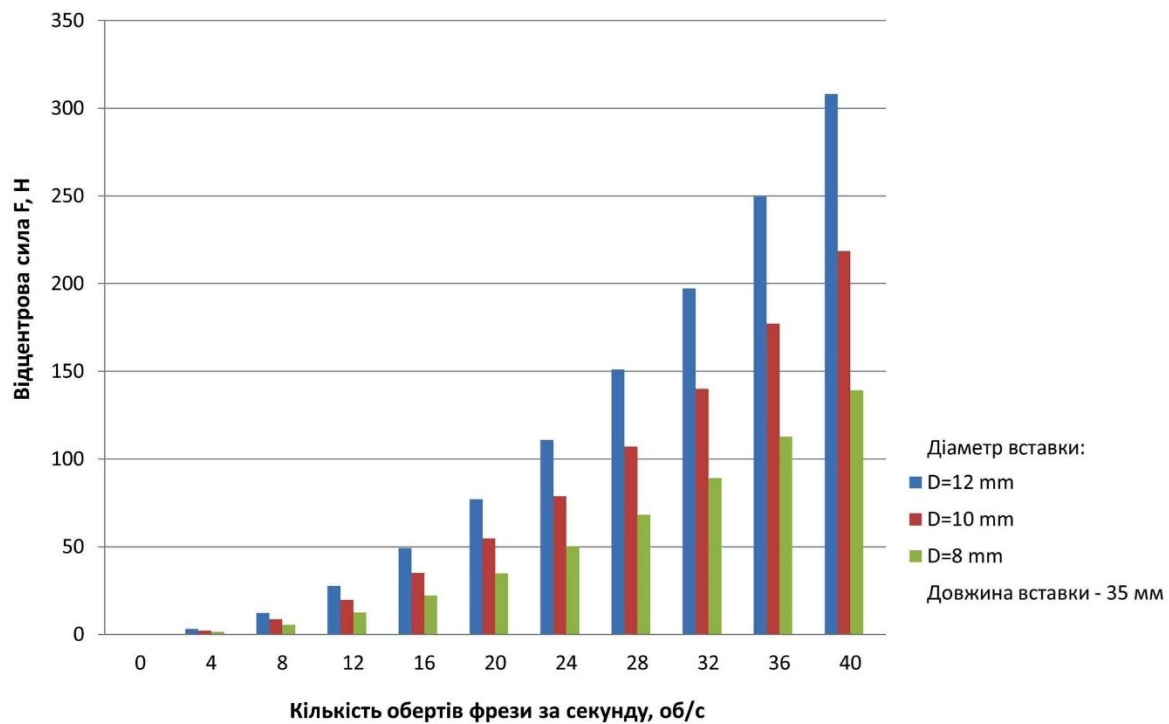


Рисунок 1 – Залежність відцентрових сил від кількості обертів фрези

Таким чином, в результаті дослідження проаналізовано вплив кількості обертів торцевої фрези на відцентрові сили, що діють на різальні вставки. Показано, що в чистових фрезах, що працюють на високих частотах обертання, відцентрові сили мають досить великі значення, що потребує додаткових заходів для підвищення безпеки роботи обертового інструмента. Насамперед це стосується підвищення надійності кріплення різальних вставок в корпусі фрези.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВІДНОВЛЕННЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ КОЛІСНИХ ПАР: ДОСВІД SANDVIK COROMANT

Процес точіння залізничних коліс являє собою обробку великогабаритних компонентів із застосуванням значної глибини різання на спеціалізованих верстатах. Конструктивні особливості та вимоги до таких коліс значною мірою залежать від типу рухомого складу. Зокрема, для операцій з переточування Sandvik Coromant рекомендує застосування інструментальних державок і ріжучих пластин, які забезпечують стабільність процесу та високу якість обробки зношених поверхонь [1-4].

Аналіз основних чинників, які впливають на якість переточування, є необхідним для досягнення оптимального результату. Матеріалами для виготовлення залізничних коліс у більшості випадків є нелегована або легована сталь. Проте, стандарти матеріалів можуть суттєво різнитися залежно від географічного ринку, включаючи варіації у показниках твердості, які коливаються в межах від ER1 до ER9. Найпоширенішими є сталі категорій ER6–ER9 [1-4].

Підхід Sandvik Coromant до переточування залізничних коліс. Для переточування коліс, які зазнали незначного зносу, рекомендується використання ріжучих пластин типу С. Вони забезпечують ефективне дроблення стружки та контроль її видалення під час обробки гребеня колеса. Одним із оптимальних виборів є сплав GC4215 [1-4]. Зазначені інструменти також можуть бути застосовані на портальних верстатах за умови невеликої глибини різання. Для важких умов експлуатації, коли обробка обода вимагає зменшення швидкості різання, адаптація режимів різання є ключовою. Параметри різання, такі як швидкість і подача, повинні бути скориговані для забезпечення ефективності роботи навіть у випадках значного ступеня зносу. Використання інструментів, таких як державки R175.32-5050M, касети R175.32-3223-19 і ріжучі пластини LNMX 19 19 40-PM, показує високу надійність у подібних випадках (табл. 1) [1-4].

При обробці сильно пошкодженого обода зазвичай доводиться зменшувати швидкість різання наполовину. Необхідно також адаптувати подачу до умов різання (табл. 2).

Таблиця 1 – Перелік пластин та схеми обробки

Використовувані інструменти	Схема обробки
Державка: R175.33-5050 Різева касета: R175.32-3223-1911 Ріжуча пластина: CNMX 19 11 40 -PF	
Державка: R175.33-5050 Різева касета: R177.32-3219-1911 Ріжуча пластина: CNMX 19 11 40 -PF	
Режими різання: $v_c = 70 \dots 80 \text{ м/хв}$ (230...300 фут/хв); $f_n = 0,5 \dots 1,5 \text{ мм/об}$ (0,02...0,059 дюйм/хв)	

Таблиця 2 – Перелік пластин та схеми обробки у важких умовах
(сильний ступень зносу коліс)

Використовувані інструменти	Схема обробки
Державка: R175.32-5050M Різева касета: R175.32-3223-19 Ріжуча пластина: LNMX 19 19 40 -PM	
Державка: R175.32-5050M Різева касета: R175.32-3223-19 Ріжуча пластина: LNMX 19 19 40 -PM	
Державка: R175.32-5050M Різева касета: R177.32-3219-19 Ріжуча пластина: LNMX 19 19 40 -PM	
Режими різання: $v_c = 70 \dots 80 \text{ м/хв}$ (230...300 фут/хв); $f_n = 0,5 \dots 1,5 \text{ мм/об}$ (0,02...0,059 дюйм/хв)	

ЛІТЕРАТУРА

- 1 <https://coromantstrgprod.blob.core.windows.net/files/sitecollectiondocuments%2Fdownloads%2Fglobal%2Ftechnical%20guides%2Fru-ru%2Fc-1020-019.pdf> (дата звернення: 26.11.2024)
- 2 <https://www.sandvik.coromant.com/en-gb> (дата звернення: 26.11.2024)
- 3 https://cdn.sandvik.coromant.com/files/sitecollectiondocuments/downloads/ru/catalogues/sandvik_katalog.pdf (дата звернення: 26.11.2024)
- 4 New turning tools: Каталог / Sandvik Coromant. – Розроб. «Sandvik Coromant». – Швеція, 1996. – 35 с.

ЩОДО НОВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВІДНОВЛЕННЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ КОЛІСНИХ ПАР

Одним із перспективних напрямків у сфері відновлення зношених колісних пар є поєднання ретельної підготовки поверхонь із застосуванням інноваційних ресурсозберігаючих та екологічно чистих технологій, зокрема наплавлення. Цей метод дає змогу суттєво скоротити обсяги металевих відходів, що виникають під час механічного обточування обода, а також забезпечити підвищену зносостійкість завдяки використанню матеріалів із заздалегідь заданими характеристиками. Однак, сучасні технології не завжди враховують комплексний вплив факторів на надійність відновлених компонентів [1, 2].

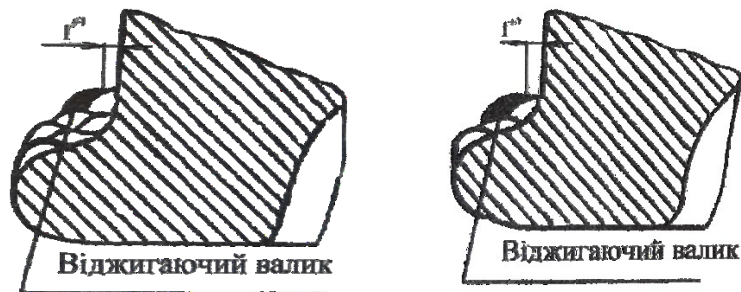


Рисунок 1 – Послідовність наплавлення

Таблиця 1 – Параметри наплавлення

№ п/п	Найменування параметру	Од. виміру	Значення
1	Спосіб наплавлення	–	Електродугова під шаром флюсу
2	Кількість одночасно працюючих дуг	шт.	2
3	Рід зварювального струму	-	Постійний
4	Полярність	-	Пряма та зворотна
5	Діаметр електродного дроту	мм	2.0
6	Напруга на дузі	В	30-34
7	Виліт 1-го електроду	мм	22
8	Виліт 2-го електроду	мм	24
9	Величина струму на 1-й дузі	А	190-250
10	Величина струму на 2-й дузі	А	290-330
11	Швидкість подачі 1-го електроду	м/год	118
12	Швидкість подачі 2-го електроду	м/год	217
13	Частота обертання колеса	об/хв	0.14
14	Швидкість наплавлення	м/год	24-25
15	Гранична відстань між осями електродів	мм	55 [±] 1
16	Поперечне зміщення між осями електродів	мм	3 [±] 0.5
17	Температура гребеня колісної пари перед наплавленням, не менше	°С	200

Перед наплавленням гребінь колісної пари піддається низці підготовчих операцій, включно з очищенням до металевого блиску, механічною обробкою на колісно-токарному верстаті, контролем на цілісність і електронагріванням. Для забезпечення якості процесу час між завершенням нагрівання та початком наплавлення не повинен перевищувати п'яти хвилин. Наплавлення виконується у 1-2 проходи залежно від ступеня зносу гребеня, із залученням двох дуг, що працюють одночасно. Перша дуга створює валик шириною до 8 мм, висотою 3-4 мм і глибиною проплавлення 0,5-1 мм. Друга дуга переплавляє наплавлений валик, виключаючи прямий контакт з основним металом. Завдяки цьому частка основного металу у напавленому шарі обмежується 12-15 %. Остаточний шар формується з шести концентричних валиків і одного віджигаючого [3]

Перший шар наплавлення включає три концентричні валики з перекриттям. Четвертий (відпалюючий) валик накладається другим електродом таким чином, щоб відстань до поверхні кута кочення складала 1-2 мм. Важливо, щоб віджигаючий шар не контактував з основним металом. Загальна товщина напавленого металу, отриманого дротом діаметром 2 мм, становить 7-8 мм. У разі потреби наплавлення другого гребеня всі процедури повторюються після охолодження попередньо обробленого шару в спеціальній камері. Фінальна стадія включає обточування та контроль якості.

ЛІТЕРАТУРА

1 Гайворонський О.А. Умови забезпечення якості відновлених наплавленням залізничних коліс. Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2016, №5(65), – с. 136-151

2 Технологія відновлення залізничних колес дуговим наплавленням <https://files.nas.gov.ua/NASDevelopmentsBook/PDF/2019/0919.pdf>

3 Комплект документів на технологічний процес ремонту гребеня колісної пари електродуговим наплавленням на установці КТ-003.00.00.000. АО «Укрзалізниця», 2023р. – 46 с.

Борисенко О.С., Автухов А.К.
Державний біотехнологічний університет

ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ ТА МАТЕРІАЛІВ ТЕПЛООБМІННИКІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОПАЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ АГРОПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ

Сучасні Опалювальні системи є ключовим елементом агропромислового комплексу, забезпечуючи стабільний температурний режим, необхідний для ефективного функціонування теплиць, птахофабрик та інших виробничих приміщень. Надійність цих систем безпосередньо залежить від теплообмінника, який є центральним елементом котла, відповідального за передачу теплової енергії для обігріву. Оптимізація конструкцій і матеріалів теплообмінників є

важливим напрямком для покращення їхньої ефективності, довговічності та адаптивності до складних умов експлуатації.

Основними матеріалами для виготовлення теплообмінників є чавун, мідь, нержавіюча сталь та сучасні композитні матеріали. Чавун характеризується високою стійкістю до корозії та довговічністю, однак має велику вагу та обмежену теплопровідність. Мідь забезпечує кращу теплопередачу й меншу вагу, але її використання вимагає високих витрат і захисту від корозії. Нержавіюча сталь поєднує корозійну стійкість із відносною легкістю, однак поступається міді у швидкості теплопередачі. Композитні матеріали дозволяють об'єднати легкість і міцність, але потребують складного виробничого процесу [1].

Конструкції теплообмінників включають трубчасті (рис. 1, а), пластинчасті (рис. 1, б) та спіральні (рис. 1, в) варіанти, кожен із яких має свої переваги й недоліки. Трубчасті теплообмінники прості в конструкції й надійні, але займають більше місця та можуть засмічуватися. Пластинчасті теплообмінники є компактними й ефективними, проте чутливими до корозії й потребують ретельного обслуговування. Спіральні конструкції вирізняються високою ефективністю за компактних розмірів, але їхнє виробництво є складним.



Рисунок 1 – Конструкції теплообмінників: а – трубчастий теплообмінник; б – пластинчастий теплообмінник; в – спіральний теплообмінник.

Для підвищення ефективності трубчастих теплообмінників пропонується застосування внутрішніх ребер у трубах, які збільшують площу контакту між теплоносієм і поверхнею теплообміну [1]. Таке вдосконалення дозволяє підвищити коефіцієнт теплопередачі, зменшити габарити конструкції та покращити циркуляцію теплоносія, запобігаючи утворенню застійних зон. Виробництво таких труб може бути реалізоване за допомогою сучасних методів холодного прокату або 3D-друку. Матеріали для реалізації такого проекту можуть включати нержавіючу сталь або мідь, що забезпечить необхідну міцність і теплопровідність.

Для вдосконалення трубчастих теплообмінників пропонується застосування внутрішніх ребер у трубах, що дозволяє збільшити площу контакту між теплоносієм і поверхнею теплообміну [2]. Це сприяє підвищенню коефіцієнта теплопередачі, зменшенню габаритів конструкції й поліпшенню циркуляції теплоносія. Використання сучасних матеріалів, таких як нержавіюча

сталь або мідь, у поєднанні зі спеціальними покриттями або легуючими добавками може значно покращити експлуатаційні характеристики теплообмінників [3].

Удосконалення конструкцій і матеріалів теплообмінників є актуальним завданням, адже від їхньої ефективності залежить стабільність температурного режиму, енергоефективність та економічність опалювальних систем агропромислового комплексу. Інноваційні рішення, зокрема інтеграція ребер у конструкцію труб, сприяють зниженню енергоспоживання й збільшенню терміну служби обладнання, що є важливим для сталого розвитку агропромислового сектору.

ЛІТЕРАТУРА

1 Corson L. Cramer, Edgar Lara-Curzio, Amy M. Elliott, Trevor G. Aguirre, Material selection and manufacturing for high-temperature heat exchangers: Review of state-of-the-art development, opportunities, and challenges, 2024, DOI:10.1002/ces2.10230

2 Buddila Wijeyesekera, Efficiency improvement of a shell and tube heat exchanger, 2019, DOI:10.13140/RG.2.2.26425.39528.

3 Anand Patel, Heat Exchanger Materials and Coatings: Innovations for Improved Heat Transfer and Durability, 2023, DOI:10.9790/9622-1309131142.

Бубнов Ю.О. Вислоух С.П.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ПОЗИЦІОНУВАННЯ РОБОТА МАНІПУЛЯТОРА МЕТОДАМИ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Вступ. Галузь машинобудування продовжує стрімко розвиватись і щодалі потребує більш інноваційних рішень задля покращення умов роботи підприємств та підвищення їх ефективності. Роботи-маніпулятори, як одна з ключових частин будь-якого автоматизованого виробництва, відіграють важливу роль у налаштуванні робочого та технологічного процесів. Саме тому впровадження нових технологічних рішень для підвищення їх ефективності на виробництві і точності є важливою частиною технологічного прогресу і цим не варто нехтувати.

Постановка задачі. На сучасних машинобудівних виробництвах роботи маніпулятори виконують широкий перелік завдань і саме тому впровадження новітніх технологій, як і покращення старих, є важливою ланкою у підвищенні ефективності виробництв. Інтегрування коботів у виробничі процеси і підвищення точності їх позиціонування та повторюваності позиції за рахунок новітніх технологій дозволить автоматизувати та здешевити задачі що виконуються на виробництві.

Мета роботи – підвищення точності повторюваності позиції сучасних коботів за рахунок використання алгоритму на основі штучного інтелекту, що

буде в реальному часі виправляти похибки позиціонування на основі вимірюваних даних.

Основа частина. Згідно з доступними даними, одним з найбільш прогресивних напрямків, що стрімко розвивається у робототехніці є колаборативна робототехніка. Коботи (колаборативні роботи) займають дедалі більшу частину ринку і активно використовуються на сучасних виробництвах завдяки суттєвим перевагам які вони пропонують. Можливість безпосередньої співпраці з людиною дозволяє оптимізувати процеси, коли люди виконують складніші завдання, а коботи – рутинні операції, створюючи ефективну синергію. Також, у різноманітні сучасних виробництв, де часто потрібна робота з малими серіями продукції або швидка зміна виробничих завдань, то коботи легко адаптуються до нових операцій, що робить їх ідеальними для таких умов, на відміну від звичайних роботів, які зазвичай краще підходять для масового виробництва.

У той самий час коботи часто бувають економічно вигідними незважаючи на більшу ціну за звичайну альтернативу, адже завдяки вбудованим системам безпеки, коботи автоматично зупиняються або змінюють траєкторію при наближенні до людей, що робить їх безпечними для спільної роботи. Це знижує витрати на встановлення захисних огорож та інших механізмів безпеки, необхідних для звичайних роботів-маніпуляторів.

Таким чином, широке впровадження коботів на сучасних виробництвах є логічним кроком до покращення умов роботи та підвищення ефективності виробництва.

Іншою ключовою ланкою для широкого використання коботів та виконання все більше складних операцій за їх допомогою є підвищення точності позиціонування або повторюваності позиції. Існує багато методів для підвищення точності але широкий спектр можливостей сучасних коботів та високий рівень їх програмного забезпечення дозволяють використати ШІ (Штучний Інтелект) для автоматизованого корегування похибок позиціонування на основі наявних даних про робочий процес.

Існує взаємозв'язок між певними параметрами роботи кобота та вихідною різницею між фактичним та цільовим положенням і за допомогою штучного інтелекту стає можливим знайти закономірності у вимірюваних даних що призводять до похибок. Серед вимірюваних даних що призводять до похибок можна зазначити такі як: час роботи з моменту останнього калібрування, температури на з'єднаннях кобота, швидкості переміщення робочої частини, сили струму на з'єднанні, тощо.

Після встановлення відповідних закономірностей стає можливим створення програми що зможе запобігати цим похибкам у реальному часі, використовуючи вимірюванні дані. Це дозволить значно покращити повторюваність позиції за рахунок автоматичного усунення похибок.

Висновок. Впровадження сучасних технологій, таких як штучний інтелект, у процеси керування коботами має значний потенціал для підвищення точності їх роботи. Автоматичне коригування похибок позиціонування на основі

аналізу вимірюваних даних може суттєво покращити повторюваність позиції коботів, що є критично важливим для виконання складних і точних завдань. Такі рішення сприяють підвищенню ефективності виробництва, зменшенню витрат та оптимізації виробничих процесів. Таким чином, інтеграція новітніх технологій є важливим кроком у розвитку колаборативної робототехніки та забезпечує конкурентоспроможність сучасних машинобудівних підприємств.

Бугай Л.А., Рязанцев А.О., Нечаєв В.П.
Криворізький національний університет

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ ФАСОННИХ ПОВЕРХОНЬ ВІЛЬНИМ АБРАЗИВОМ

У сучасному машинобудуванні усе більш широке застосування знаходять методи обробки деталей у абразивних робітничих середовищах. Гарна продуктивність, висока якість обробки деталей складної конфігурації з різних матеріалів, широкі технологічні можливості дозволяють успішно використовувати їх на операціях шліфування, полірування, поверхневого зміцнення, скруглення гострих крайок, видалення задирків і облою. Однак складність явищ, що відбуваються в зоні обробки, велика кількість факторів, що впливають на результати процесу (характеристики робітничих середовищ, режими обробки, конструктивні параметри встаткування, механічні властивості оброблюваних матеріалів), утрудняють проектування технологічних процесів, що гарантовано забезпечують задану якість поверхневого шару оброблених деталей.

Метод магнітно-абразивної обробки заснований на реалізації одночасного ударно-фрикційного і магнітного впливу порошкового інструменту на оброблювану поверхню. Переваги даного методу перед традиційними методами механічної абразивної обробки обумовлені особливими властивостями робочого тіла, яке використовується при обробці, а саме магнітноабразивного інструменту, який формується з феромагнітного порошку зі спеціальними властивостями в магнітних зазорах верстатів. Ці властивості – рухомо-скоординований стан порошкового середовища, відсутність жорсткого зв'язку, здатність нівелювати щодо оброблюваної поверхні дозволяють здійснювати рівномірну, продуктивну і високоефективну механічну обробку деталей простої та складної просторової форми, в тому числі виготовлених з складно оброблюваних матеріалів [1].

Спосіб магнітно-абразивної обробки (розроблений авторами) зовнішніх циліндричних і фасонних поверхонь обертання включає вплив порошку на деталь, та відрізняється від відомих методів тим, що з метою розширення технологічних можливостей і поліпшення параметра шорсткості обробленої поверхні магнітному індуктору за допомогою стрикційного вібратора

повідомляють коливання в діапазоні 20 Гц...20 кГц, внаслідок чого може бути досягнута швидкість різання в межах 1...3 м/с. Спосіб включає чистову обробку деталі шляхом обертання її між парою полюсних наконечників магнітної системи кутової форми на основі постійних магнітів, яким повідомляють осьову осциляцію з різною частотою та з амплітудою, що перевищує крок мікронерівностей на поверхні деталі від попередньої абразивної обробки в 1,1...1,2 рази. Магнітопроводи мають кутову форму, що дозволяє, при обертанні оброблюваної деталі, забезпечити найбільше значення магнітної індукції в робочому зазорі, у зоні виходу ділянки деталі із зони контакту з індуктором. У робочі зазори подають магнітно-абразивний порошок, причому розмір зерна магнітно-абразивного матеріалу перевищує висоту мікронерівностей на поверхні деталі в 1,1...1,3 рази. Виконання даної умови приводить до гарантованого зрізання вершин мікронерівностей і не дозволяє абразивному зерну досягати ріжучими гранями дна западини, що, в іншому випадку, могло б збільшити її розміри та погіршити параметр шорсткості. Даний спосіб забезпечує значення шорсткості в межах $Ra = 0,02 \dots 0,08$ мкм, що, у підсумку, приводить до підвищення продуктивності обробки в 2-3 рази.

Пристрій складається із двох протилежно один до одного встановлених індукторів на базі постійних Sm-Co магнітів. Магнітний індуктор являє собою пакет, який складається з магніту та сталевих магнітопроводів, розміщених у полюсних бічних поверхнях магніту. На опорній площадці розміщені регульовальна гвинтова передача з блоком індукторів, з'єднана система осциляції, яка складається з концентратора, генератора коливань.

Проводилася магнітно-абразивна обробка циліндричних зразків, виготовлених зі сталі Р6АМ5 (HRC 63-65), діаметром 40 мм. Вихідна шорсткість поверхні зразків $Ra = 0,9 \dots 1,1$ мкм.

Пристрій для магнітно-абразивної обробки встановлювали на поперечних напрямних супорта токарно-гвинторізного верстата мод. 1А625.

Застосовували змащувально-охолоджуючу рідину, що 5 приготовлена на основі 1%-ого розчину Аквол-10. Як магнітно-абразивний матеріал використовувався порошок Ферабраз-3. Для забезпечення оптимальної шорсткості та продуктивності, магнітно-абразивна обробка проводилася на наступних мінімальних режимах:

- частота коливань стрикційного вібратора – 250 Гц;
- амплітуда коливань – 0,05 мм;
- швидкість різання – 1,1 м/с;
- подача – 2,5 мм/об;
- магнітна індукція в робочих зазорах – 1,5 Т;
- робочий зазор (кутовий клин) – 1...5 мм;
- час обробки – 600 с.

При обробці досліджувалися параметри шорсткості поверхні та профіль поперечного перерізу зразка. Реалізація зазначеного способу розширює технологічні можливості методу шляхом вибору раціональних кінематичних

параметрів процесу магнітно-абразивної обробки з одночасним поліпшенням шорсткості обробленої поверхні.

ЛІТЕРАТУРА

1 Пат. 147075 Україна, МПК В24В 5/20. Криворізький національний університет. – № u 2020 07510; заявл. 25.11.20 ; опубл. 07.04.21, Бюл. №14. – Спосіб магнітно-абразивної обробки зовнішніх циліндричних поверхонь обертання.

Буковський О.М., Вислоух С.П.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ НА СТАН ІЗОЛЯЦІЇ МІЖБЛОКОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ З'ЄДНАНЬ

Контроль стану ізоляції міжблокових електричних з'єднань є ключовим елементом у забезпеченні надійності та безпеки електричних систем та вагомим питанням в приладобудуванні. Підвищені вимоги до електричних установок та важливість якісних використовуваних і них ізоляційних матеріалів мають вирішальне значення для безпечного та ефективного застосування обладнання. Зниження характеристик ізоляції, що спричинене температурними змінами та струмів навантаження, а також вищими гармоніками, що провоковані нелінійними навантаженнями, може призводити до виходу з ладу обладнання. Сучасні методи контролю ізоляції електричних з'єднань, які базуються на ручних вимірюваннях, часто не відповідають вимогам до оперативності і точності, що підвищує ризик появи поломок. Тому розробка адаптивних систем контролю, здатних адаптуватися до динамічних умов експлуатації, є нагальною задачею. Це дозволить не тільки своєчасно виявляти дефекти, але й покращити технологію моніторингу якості електричних з'єднань.

Один з головних аспектів, який треба розглядати в контексті контролю стану ізоляції – це вплив температури. Надмірні температури можуть знижувати електричні характеристики матеріалів, призводячи до їх деградації. Струми навантаження, які протікають через міжблокові з'єднання, викликають нагрівання ізоляції і воно може виходити за межі допустимих норм, якщо не вжити відповідних заходів контролю. Для уникнення перегріву ізоляції необхідно забезпечити безперервний моніторинг температури з'єднань протягом усього періоду їх експлуатації [1].

Крім того, існує необхідність оцінки впливу вищих гармонік, які формуються внаслідок роботи нелінійних навантажень в електронних пристроях. Гармонічні струми можуть посилювати втрати активної потужності, що, в свою чергу, додатково нагрівають електричні з'єднання. Важливо виявити підвищені втрати потужності, які викликані вищими гармоніками, що дозволить розробити стратегії зменшення впливу цієї проблеми [2].

Не менш важливим є також контроль наявності струмів нульової послідовності, які можуть виникати у трифазних системах. Струми нульової послідовності, які не мають фазового зсуву, призводять до підвищення температури в нульовому проводі й можуть викликати нерівномірне навантаження фаз. Це підвищує ризик появи локального перегріву та деградації ізоляційних матеріалів. Ця задача стає особливо актуальною в умовах тривалого навантаження та потребує строгого моніторингу і керування.

В той же час, адаптивні системи контролю можуть вирішити цю задачу, забезпечуючи динамічний моніторинг та аналіз стану ізоляції. Вони дозволяють оперативно реагувати на зміни в умовах експлуатації, коригуючи параметри моніторингу відповідно до реальних навантажень і температур. Використання таких систем дозволить підвищити безпеку та надійність електричних систем, а також зменшити ймовірність виникнення дефектів.

Застосування новітніх математичних моделей для оцінки електричного опору жил та втрат потужності в ізоляційних системах дозволить забезпечити більш точні дані для використання оптимальних параметрів в системах управління. Інтеграція таких розрахунків у контрольні процеси дозволить забезпечити високий рівень точності і своєчасності виявлення аномалій.

Такі підходи створюють можливість не лише поліпшити якість контролю, але й впровадити нові технології у виробничі процеси виготовлення кабельно-провідникової продукції. Поліпшення контролю якості ізоляційних матеріалів дозволяє підвищити довговічність продукції та зменшити витрати на їх обслуговування [2]. Таким чином, комплексний підхід до моніторингу стану ізоляції міжблокових електричних з'єднань, що враховує численні фактори – від температури з'єднань до їх електричних навантажень, дозволяє підвищити надійність систем електричної притягуваності в умовах сучасного приладобудування. Інтеграція адаптивних систем контролю в процеси перевірки міжблокових електричних з'єднань стане запорукою досягнення високої якості та надійності продукції. Це, у свою чергу, відкриває нові можливості для поліпшення технологій виготовлення та обслуговування кабельної продукції.

У результаті проведеного дослідження підтверджено, що контроль стану ізоляції міжблокових електричних з'єднань є складною, але важливою задачею в приладобудуванні. Впровадження адаптивних систем моніторингу, що враховують зміни температури, електричних навантажень та вплив вищих гармонік, дозволяє забезпечити високий рівень надійності та безпеки електричних систем. Формулювання і реалізація нових підходів до контролю якості ізоляційних матеріалів сприятиме зменшенню ризиків, пов'язаних із їх деградацією, а також підвищить загальні експлуатаційні характеристики виготовленого обладнання. Це не лише відкриває нові горизонти для технологічних інновацій, але й забезпечує інтеграцію найкращих практик в управлінні якістю в приладобудуванні.

ЛІТЕРАТУРА

1 Буковський, О.М., Вислоух, С.П. Automation of the Process of Monitoring the Parameters of Interblock Electrical Connections. Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки, 2024, №331.1.– С. 325-329.

2 King, M. S., & Iannello, C. J. (2011). Evaluation of Cable Harness Post-Installation Testing. NASA Technical Reports Server.

*Vasyl Vasylkiv, Nazarii Makovynskyi, Bohdan Parastiuk,
Oleksandr Korniev*
Ternopil Ivan Puluj National Technical University

APPLICATION OF THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS FOR SELECTING THE REQUIRED METAL-CUTTING EQUIPMENT

In modern conditions of rapid development of industrial technologies and increasing competition, enterprises face the need to make effective decisions regarding the selection of metal-cutting equipment. In this context, the implementation of a new technological process often requires solving tasks related to determining the list of objects for acquiring new technological equipment or selecting from the existing assortment at a machine-building enterprise. The correctness of this choice determines productivity, product quality, economic efficiency of production, and competitiveness in the market. Such a choice is made based on established practices and the experience of technical personnel or the development of an economic-mathematical model [1].

One of the most powerful and flexible tools for making rational technical decisions is the Analytic Hierarchy Process (AHP), proposed by the American mathematician Thomas Saaty. It allows for structuring a complex decision-making problem, breaking it down into sub-tasks, and evaluating possible alternatives based on clear criteria. This approach ensures logical transparency in the decision-making process and takes into account both quantitative and qualitative factors, making it particularly useful in situations where it is necessary to reconcile different viewpoints or preferences. Therefore, in our opinion, the aforementioned AHP is appropriate for selecting metal-cutting equipment (Fig. 1).

The first hierarchical level characterizes the goal. Generally, at the second and third levels of such a hierarchy, we identify the following criteria: Technical characteristics: power, processing accuracy, productivity, range of materials processed, maximum processing diameter, maximum processing length, type of CNC system, versatility, suitability for use in standard, group, or modular technological processes. Economic characteristics: equipment cost, maintenance cost, tooling expenses, energy efficiency, payback period, training costs for personnel. Reliability and durability: wear resistance of components, repair frequency, warranty period. Ergonomics and safety: ease of operation, level of automation, operational safety, noise level. Innovativeness: presence of innovative features, integration with CAD/CAM systems, flexibility of settings, novelty (used or new equipment). Support and service:

availability of service, quality of technical support, accessibility of spare parts. Other criteria: equipment dimensions (space required), weight, environmental friendliness, brand popularity, user reviews.

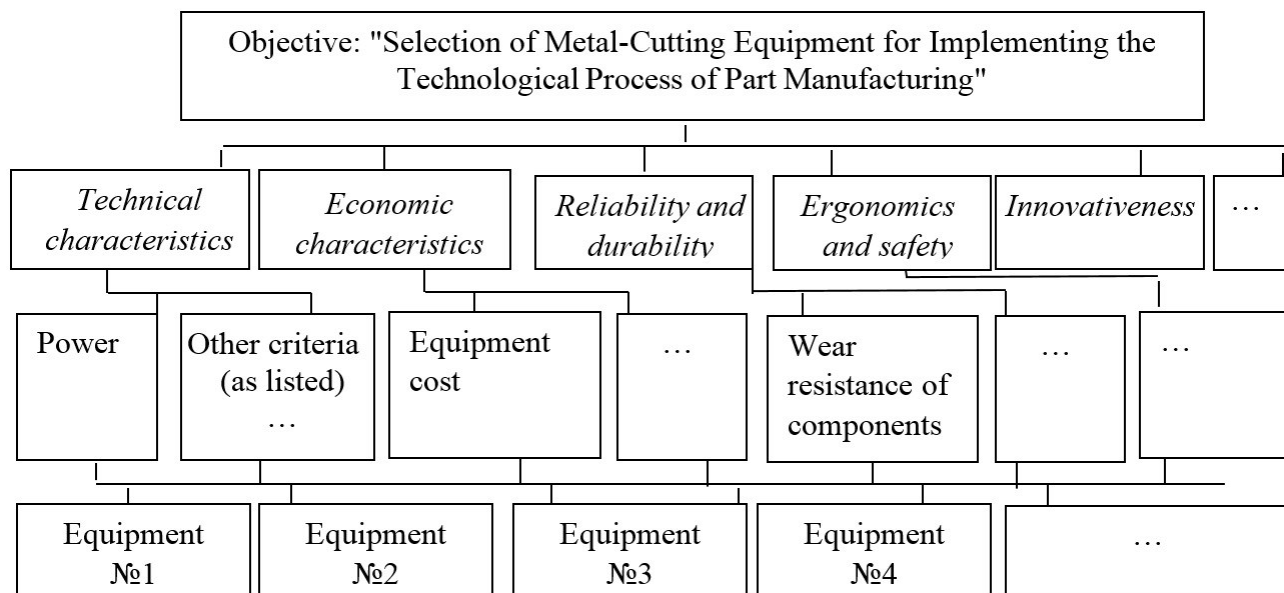


Figure 1 – Fragment of the hierarchy for selecting rational equipment to Implement the technological process of part manufacturing

Depending on the number of criteria, the second and third hierarchical levels can be combined into a single level. To minimize calculation errors at each hierarchical level, the number of alternatives and criteria should not exceed the optimal Miller's number (5-9 elements).

As is well known, the Analytic Hierarchy Process involves comparing criteria with one another and alternatives for each criterion based on a nine-point relative importance scale. Due to the complexity of this procedure, software products such as MPRIORITY 1.0 are often used for automated implementation of this method. However, considering the psychological characteristics of humans in working with numerical and visual data, we have developed a specialized computer program.

The unique feature of this program is that the preference of one object over another is determined by adjusting the height of a diagram by dragging its outer edge with the cursor. The height of the diagram corresponds to the relative importance scale. The height of one diagram reflects the degree of preference for the first object over the second, while the adjacent diagram represents the preference of the second object over the first.

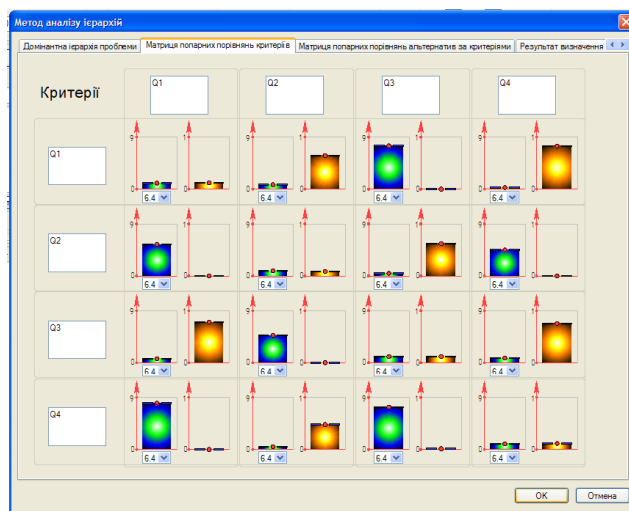


Figure 2 – Dialog box for setting the relative importance of alternatives and criteria

The result of the program's calculations is the creation of a priority diagram for the options of metal-cutting equipment (Fig. 2) as well as a diagram of consistency indices.

The proposed method allows taking into account the specific needs and possibilities of production and can be used in different industries.

REFERENCE

1 Васильків В.В. Розвиток науково-прикладних основ розроблення технологій виробництва гвинтових і шнекових заготовок з використанням уніфікації: автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.02.08 Львів, 2015. 48 с.

Володченко Д.М.

АТ «Південний гірничо-збагачувальний комбінат»

Нечаєв В.П.

Криворізький національний університет

ОГЛЯД МЕТОДИК МОНІТОРИНГУ НЕСПРАВНОСТЕЙ ОБЕРТОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ШЛЯХОМ АНАЛІЗУ ВІБРАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ

Впровадження діагностики системи електроприводу дозволяє виявляти пошкодження компонентів двигуна вже на початковій стадії їх розвитку. Зазвичай вихід з ладу одного з компонентів призводить до подальших несправностей. Моніторинг дозволяє спланувати заміну пошкодженої деталі та запобігти виходу з ладу наступних компонентів. Відповідна діагностика гарантує безпечну експлуатацію та продовжує термін служби компонентів електроприводу.

Підшипники кочення є найбільш пошкоджуваними компонентами двигунів змінного струму середньої потужності; зокрема, на них припадає близько 40% усіх відмов електричних машин. Виявлення пошкоджень підшипників кочення можливе за кількома діагностичними сигналами: збільшений струм статора, зменшення швидкості обертання ротора, механічні вібрації, значне нагрівання підшипникових щитів із подальшим плавленням і витіканням змащувального матеріалу.

Автори [1] показали, що використання додаткового методу обробки сигналу, заснованого на перетворенні Гільберта, фільтри Teager-Kaiser energy operator (ТКЕО) або перетворенні абсолютної величини, дозволяє краще контролювати стан підшипників. Відносна амплітуда спостережуваних характеристичних частот збільшувалася у кілька десятків і сотень разів, а у випадку ТКЕО навіть у кілька тисяч разів, що спростило розпізнавання наявних несправностей.

У роботі [2] автори описали власний лабораторну установку для знімання вібраційного сигналу з підшипника, що застосовується в електроприводі. Також

автори розробили власний алгоритм аналізу вібраційного сигналу та ввели індекс здоров'я досліджуваного елемента механічної системи, отриманий за допомогою методу *difusion mapping*. Індекс успішно відображає стан підшипника під час роботи, а прогнозування терміну служби розроблене на основі методу *Least-square support vector machine* показало високу відповідність між фактичним і прогнозованим терміном служби підшипника. Методика, запропонована в цьому дослідженні, застосована до підшипника, але автори стверджують, що дану методологію можна застосувати і до інших компонентів машин, таких як лопатки турбіни, коробки передач і вали.

ЛІТЕРАТУРА

1 Skora, M., Ewert, P., Kowalski, C.T. Selected Rolling Bearing Fault Diagnostic Methods in Wheel Embedded Permanent Magnet Brushless Direct Current Motors. *Energies* 2019, 12, 4212. <https://doi.org/10.3390/en12214212>

2 Sharma, A., Amarnath, M. & Kankar, P.K. Life assessment and health monitoring of rolling element bearings: an experimental study. *Life Cycle Reliab Saf Eng* 2018, 7, 97–114. <https://doi.org/10.1007/s41872-018-0044-x>

Герула Б.А., Цивінда Н.І.

Криворізький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕРХНЕВОЇ ОБРОБКИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ЧАВУННИХ ДЕТАЛЕЙ

Ковкі чавуни як конструкційний матеріал мають широкий спектр застосування у гірничо-металургійній промисловості, наприклад для виготовлення корпусів. Для підвищення службових характеристик деталей із чавунів, що відрізняються як за структурою, так і за призначенням, використовують нанесення покриттів, поверхневе гартування струмами високої частоти (СВЧ), хіміко-термічної обробки, лазерне гартування, мікроплазмова обробка (МПО).

В результаті аналізу досліджень та практичних застосувань мікроплазмова обробка для поверхневого зміцнення ковкого чавуну була визначена як спосіб досягнення глибокої зміцненої поверхні без порушення основних механічних властивостей матеріалу. Вимоги до зміцнення поверхонь, такі:

- залежно від характеристик зміцнювальних поверхонь вибирається один з варіантів зміцнення: з оплавленням або без оплавлення.

- при зміцненні з оплавленням поверхня деталі виходить шорстка та повинна мати подальше тонке розточування, або шліфування, а оскільки глибина проникнення невелика, складності подальшої обробки можуть полягати в забезпеченні мінімальних геометричних похибок верстату;

- при зміцненні без оплавлення поверхня не повинна мати грубої шорсткості, тобто необхідна попередня чистова обробка;

- забезпечення постійних властивостей по всій поверхні досягається шляхом перекриття плазмової дуги зміцненої доріжки на величину половини плазмової плями;

- забезпечення стабільної роботи дуги і попередження розбризкування частинок рідкого металу на поверхні сприяє подача захисного газу до сопла плазмотрона.

Мікроплазмова технологія відноситься до числа локальних методів термообробки. Сутність процесу мікроплазмового зміцнення чавунів полягає у високошвидкісному нагріванні ($102...105\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$) мікроплазмовою дугою ділянок поверхневого шару і його охолодження ($102...104\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$) за рахунок інтенсивного відводу тепла у масу деталі, що забезпечує умови для формування дрібнодисперсних структур, які мають високу зносостійкість за рахунок утворення дрібнодисперсного мартенситу та ледебуриту.

Істотною перевагою мікроплазмового зміцнення, в порівнянні з плазмовим, газоплазмовим, СВЧ і електроконтактним способом нагрівання, є отримання великої диференціальної густини потужності (більше $10^3\text{ Вт}/\text{см}^2$) при малій інтегральній тепловій потужності (менш 8 кВт), що зумовлює малий рівень термічних напруг при обробці.

При цьому термін служби зміцненого шару майже вдвічі більший, ніж у необробленого, що безпосередньо пов'язане з утворенням мартенситної мікроструктури.

Стиснення дуги звичайно досягається інтенсивним її охолодженням аксіальним, радіальним або вихровим потоком газу, а також рідиною. Обжимання стовпа дуги дозволяє значно стабілізувати анодну пляму, зменшивши її переміщення по оброблюваній поверхні, значно підвищити густину енергії в анодній плямі.

Результати дослідження структури поверхневого шару чавунного корпусу після мікроплазмового зміцнення показали, що зміцнюючий ефект досягається в результаті подрібнення (до розмірів 5 мкм) перлітових утворювань проти вихідного 50...60 мкм, підвищеної щільності дефектів кристалічної будови, утворення дрібнодисперсного мартенситу і ледебуриту.

При обробці мікроплазмовою дугою в режимі оплавлення можливо виділити наступні зони:

– перша зона – оплавлення, яка складається із структури дрібнодисперсного ледебуриту, ділянок із аустеніту, що розплавився, і мартенситу;

– друга зона – перехідна, яка складається із дрібнодисперсного ледебуриту, який утворюється на місці цементиту і навколо графітових включень;

– третя зона – загартування на мартенсит;

– четверта зона – часткових фазових перетворень.

Геометричні розміри зон залежать від технологічних параметрів зміцнення і виконання чавуна. При зміцненні з нагріванням до температур загартування з твердо-рідкого стану поверхні в структурі присутні останні три зони. Обробка

мікроплазмовою дугою, яка забезпечує зміцнення з твердого стану поверхні, обумовлює утворення двох останніх зон.

Рентгенівський фазовий аналіз показав наявність в поверхневому зміцненому шарі $\alpha-Fe$, $\gamma-Fe$ (аустеніт) і карбідів Fe_3C . Найбільша кількість аустеніту спостерігається в першій зоні. Збільшення мікротвердості корелюється зі збільшенням параметру решітки аустеніту.

Промислові дослідження зміцнених чавунних корпусів показали збільшення напрацювання в 1,3...1,5 рази по порівнянню з деталями поточного виробництва. Збільшення напрацювання пояснюється структурними змінами, які відбуваються після МПО обробки чавунних поверхонь.

Розрахунки показують, що максимально досяжна глибина зміцненого шару з оплавленням і без оплавлення поверхні відповідно дорівнює 1,4 і 1,0 мм. При цьому твердість оплавленої поверхні досягає 820 HV, а без оплавлення 650 HV.

Олена ГНАТЮК

Житомирський агротехнічний фаховий коледж

ЕФЕКТ ВІБРАЦІЙНОГО ЗАХОПЛЕННЯ ОБЕРТАННЯ ДЕБАЛАНСНОГО ВІБРОЗБУДНИКА

Вібраційне захоплення обертання незрівноваженого ротора під дією коливань його осі є важливим нелінійним ефектом, який лежить в основі принципу дії низки вібраційних машин та пристроїв. Ефект успішно використовується в конусних інерційних дробарках, вібраційних грохотах, млинах та живильниках, а також у вібраційних перетворювачах руху [1, 2].

Розглядається динаміка неврівноваженого ротора з вібруючою віссю підвісу (рис. 1) і приводом від електродвигуна асинхронного типу обмеженої потужності [3]. Досліджуються стаціонарні (навколо стаціонарні) режими обертання ротора з частотою, яка дорівнює частоті вібрації осі. В роботі використано підхід вібраційної механіки та метод прямого розділення руху [1].

Наводиться пояснення ефекту вібраційного захоплення обертання неврівноваженого ротора.

Запропонована механічна інтерпретація ефекту дозволяє глибше усвідомити класичні результати та висновки [1]. Отримана умова існування стаціонарного режиму дає змогу оцінити інтервал захоплення частоти ротора.

Розглянуто випадок, коли режим вібраційного захоплення обертання не встановлюється. Для такого випадку одержано вираз для вібраційного моменту (додаткового динамічного навантаження на ротор внаслідок вібрації його осі). Звертається увага на можливість виникнення у досліджуваних режимах руху повільних (порівняно з частотою обертання) коливань ротора із значними амплітудами.

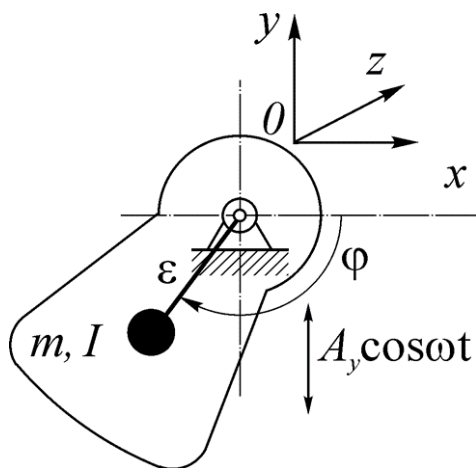


Рисунок 1

Продemonстровано, що крім обертання ротора з середньою частотою, яка дорівнює частоті вібрації, характерними ознаками режиму вібраційного захоплення є: встановлення певного зсуву фаз між рухом ротора і коливаннями осі; в середньому, конкретна (гальмуюча або обертова) дія вібрації на ротор; передача (не обмін) енергії від неврівноваженого ротора до джерела вібрації, чинавпаки; лише високочастотні коливання ротора.

Показано, що при виникненні режиму вібраційного захоплення обертання можуть збуджуватися повільні (маятникові) коливання швидкості ротора з власною частотою. Початкові амплітуди таких коливань можуть бути достатньо великими.

Вібрація осі ротора з частотою близькою (рівною) частотою його обертання призводить: до стабілізації частоти незрівноваженого ротора, при незначних змінах діючого навантаження (має здатність саморегулювання режиму); до зменшення коливань швидкості незрівноваженого ротора.

У разі встановлення вібраційного захоплення може виникнути режим руху, який характеризується повільними (пульсуючими) коливаннями швидкості ротора (динамічного моменту) з великими амплітудами. Такий режим руху становить небезпеку для приводу механізмів, що містять незрівноважений ротор.

Теоретичні результати підтверджуються чисельним моделюванням явища вібраційного захоплення обертання незрівноваженого ротора.

ЛІТЕРАТУРА:

1 Blekhman I.I. (2000) Vibrational mechanics – Nonlinear dynamic effects, General approach, Applications. Singapore et al.: World Scientific: 400.

2 Потураев В.Н., Франчук В.П., Червоненко А.Г. Вибрационные транспортирующие машины (основы теории и расчета). М.: Машиностроение, 1964. 272 с.

3 Yaroshevich NP, Lanets OS, Yaroshevych OM (2022) Slow Oscillations in Systems with Inertial Vibration Exciters. In: Balthazar, J.M. (eds) Nonlinear Vibrations Excited by Limited Power Sources. Mechanisms and Machine Science. Cham: 116: 29-42.

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНТРОЛЮ ЗУБЧАТИХ З'ЄДНАНЬ ЗА СТАНДАРТАМИ ISO

Вступ. У розвитку машинобудування України важливе місце займає напрямок удосконалення якості трансмісій, які лежать в основі будь-якого транспорту.

Актуальність теми. Якість трансмісій залежить від її вузлів, а значить від редукторів і від деталей з зубчатим з'єднанням. Для підвищення якості модернізації вітчизняних редукторів, промисловість ставить нові завдання для метрології по удосконаленню контролю якості деталей зубчатого з'єднання.

Для вирішення цього завдання слід опиратись на досвід виробників, які використовують більш точні стандарти для виробництва продукції високої якості.

Відповідно до державних стандартів України, на відміну від ISO, для контролю можна використовувати будь-які з переліку показники, вимірювання яких може бути забезпечено технологічними можливостями та наявністю контрольно-вимірювальних приладів та оснащення на конкретному підприємстві. Це полегшує завдання метрології, але негативно впливає на якість кінцевої продукції. Вітчизняній метрології слід використовувати більше параметрів деталей зубчатого з'єднання для їх більш точного контролю.

Результати дослідження. ISO 5725 «Точність методів і результатів вимірювань» [1] свідчить про те, що на точність результатів вимірювань, також впливає методика проведення вимірювань. ISO 1328 «Циліндричні зубчасті передачі» [2], на відміну від державних стандартів встановлює більшу кількість параметрів які необхідно контролювати у деталях зубчатого з'єднання. Опираючись на положення стандартів слід розробити чіткі методики вимірювань, більшої кількості параметрів, і суворо дотримуватись їх.

Для використання цих методик на практиці, необхідно використовувати сучасне матеріально-технічне забезпечення високої якості. Цю проблему можуть вирішити координатно-вимірювальні машини і безконтактні датчики. Координатно-вимірювальні машини з високою точністю та швидкістю можуть вимірювати дійсні розміри деталей, та порівнювати їх з відхиленням номінальних розмірів, що значно покращує якість роботи метрологічних систем. Безконтактні датчик можна застосовувати не лише у координатно-вимірювальній техніці, але і на верстатах з числовим програмним управлінням, це дає можливість метрологічним службам контролювати розміри деталей навіть на етапах виробництва, та вчасно внести зміни у процес їх виготовлення. Результатом роботи такої техніки є протоколи, які візуально відображають відхилення виміряних параметрів.

Висновки. Перехід до виробництва зубчатих з'єднань високої якості, буде залежати від матеріально-технологічного забезпечення метрологічних систем та їх можливостей контролювати більшу кількість параметрів деталей зубчатого з'єднання. Але на даний час система контролю зубчатих з'єднань у вітчизняній промисловості базується на нині діючих міждержавних стандартах: ГОСТ 1643-81. Передачі зубчаті циліндричні. Допуски і посадки. ГОСТ 1758-81. Передачі зубчаті конічні та гіпоїдні. Допуски і посадки.

ЛІТЕРАТУРА

1 ISO 5725:1994/Cor.1:1998, Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results.

2 ISO 1328:2006 Cylindrical gears – ISO system of flank tolerance classification.

Голобородько Г.М., Перпері Л.М., Майданик С.В.
Національний університет «Одеська політехніка»

АНАЛІЗ РУШНИЧНИХ СВЕРДЕЛ ПІД НАВАНТАЖЕННЯМ У ПРОГРАМНОМУ СЕРЕДОВИЩІ AUTODESK INVENTOR

В сучасному машинобудуванні одним з поширених методів обробки глибоких отворів є свердління рушничним свердлом, який відноситься до інструментів однобічного різання. Свердління рушничним свердлом (рис.1) забезпечує достатньо високу точність оброблюваних отворів IT 7-9 та якість оброблюваної поверхні Ra 0,32 ... 1,25. При обробці глибоких отворів важливим геометричним параметром є співвідношення довжини до діаметру отвору (для рушничних свердел l/d у межах від 5 до 50). Тому при значних значеннях l/d важливо забезпечувати стабільність положення осі інструменту для мінімізації відводу осі готового отвору. За допомогою сучасних програмних продуктів можна значно полегшити цю задачу на етапі прогнозування можливих значень лінійних переміщень осі інструмента.

Для проведення аналізу рушничних свердел під навантаженням використовувалось програмне середовище Autodesk Inventor. Для обробки отвору зі сталі 40X13 було взято рушничне свердло (рис.1) діаметром 7 мм (матеріал різальної головки 1 – твердий сплав T15K6; матеріал стебла 2 – сталь 40XНМА-Б; матеріал хвостовика 3 – сталь 40X) з геометричними параметрами різальної частини: головний кут в плані $\varphi = 20^\circ$, допоміжний кут у плані $\varphi_1 = 20^\circ$, передній кут $\gamma = 0^\circ$, головний задній кут $\alpha = 25^\circ$, кут між напрямними елементами $\varphi_2 = 96^\circ$, кут між напрямним елементом та передньою поверхнею $\varphi_1 - 180^\circ$.

Для оцінювання усталеності положення інструментів однобічного різання необхідно побудувати статичну модель стійкості. Статичний розрахунок полягає у визначенні кінематичного взаємовпливу розташування різальної пластини та напрямних елементів. Вивченню цього питання присвячені роботи багатьох

вчених, таких як F.J. Adams, D. Biermann, U. Weber [1]. У вищевказаних розрахунках розглядаються плоскі системи сил, що діють на інструмент.

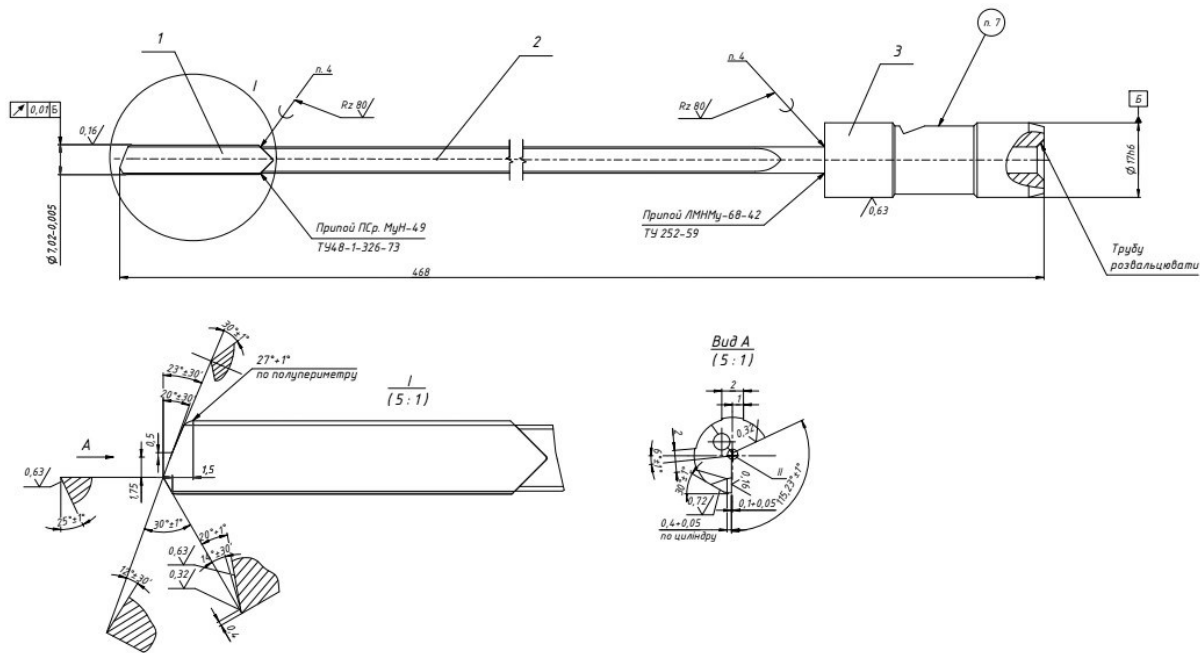


Рисунок 1 – Рушничне свердло

Статична модель відведення осі визначає кінематичні збурення в процесі базування робочих елементів інструменту по поверхні отвору, проте дана модель не враховує динамічні явища, що виникають у процесі обробки [2, 3]. Виконаємо детальний аналіз статичної моделі рівноваги рушничного свердла одnobічного різання, представленої на рис. 2.

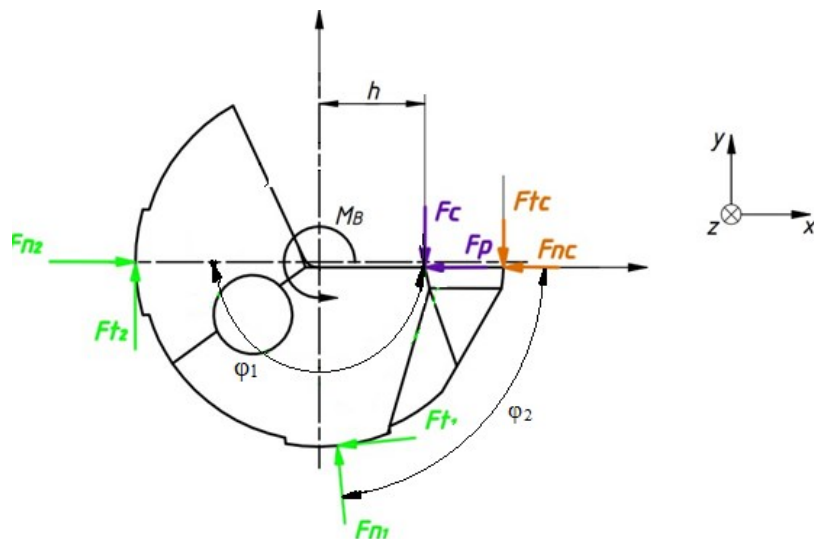


Рисунок 2 – Статична модель рівноваги рушничного свердла

Рівняння моментів: $M_z = 0 = M_B - M_c - M_f$,

де $M_c = h F_{c1}$;

$M_f = (F_{t2} + F_{t1} + F_{tc}) \cdot d/2$.

Статична рівновага рушничного свердла по силовому обуренню визначається системою рівнянь відносно осей X0Y:

$$F_x = 0 = -F_p - F_{nc} + F_{n2} - F_{t1};$$

$$F_y = 0 = -F_c + F_{n1} + F_{t2} - F_{tc}.$$

Визначаємо тангенційні складові сил, що діють на напрямні елементи (опору силам тертя). Коефіцієнт тертя дорівнює:

$$\mu = \frac{F_{ti}}{F_{ni}},$$

тоді $F_{ti} = \mu \cdot F_{ni}$.

Відповідно, нормальні складові сил на напрямних елементах можна визначити за формулами:

$$F_{n1} = \frac{-F_c \cdot (\cos\varphi_2 + \mu \cdot \sin\varphi_2) + F_p (\sin\varphi_2 - \mu \cdot \cos\varphi_2)}{\sin(\varphi_2 - \varphi_1) \cdot (1 + \mu^2)}$$

$$F_{n2} = \frac{F_c \cdot (\cos\varphi_1 + \mu \cdot \sin\varphi_1) - F_p (\sin\varphi_1 - \mu \cdot \cos\varphi_1)}{\sin(\varphi_2 - \varphi_1) \cdot (1 + \mu^2)}$$

Симуляцію дії сил на свердло, що виникають в процесі різання проведено за допомогою модулю Analysis and Simulation у програмному середовищі Autodesk Inventor (рис. 3, 4).

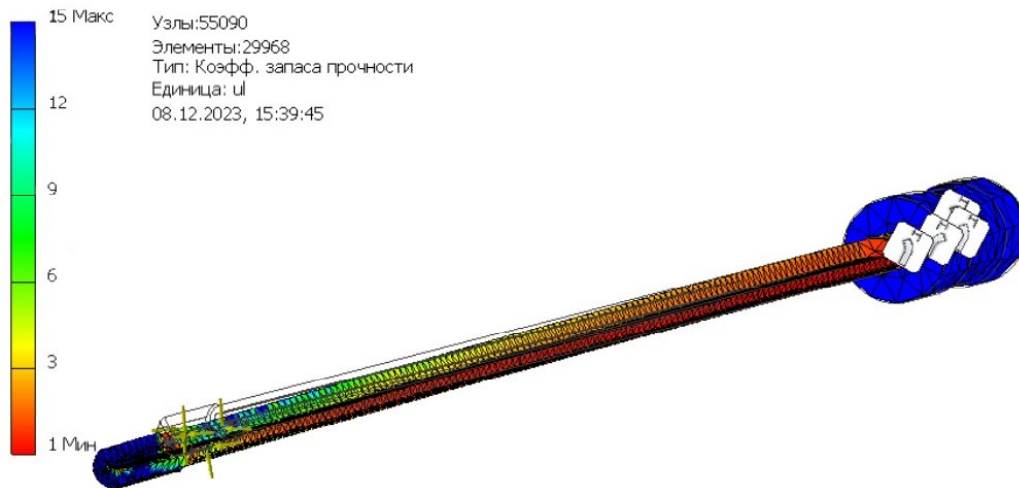


Рисунок 3 – Коефіцієнт запасу міцності

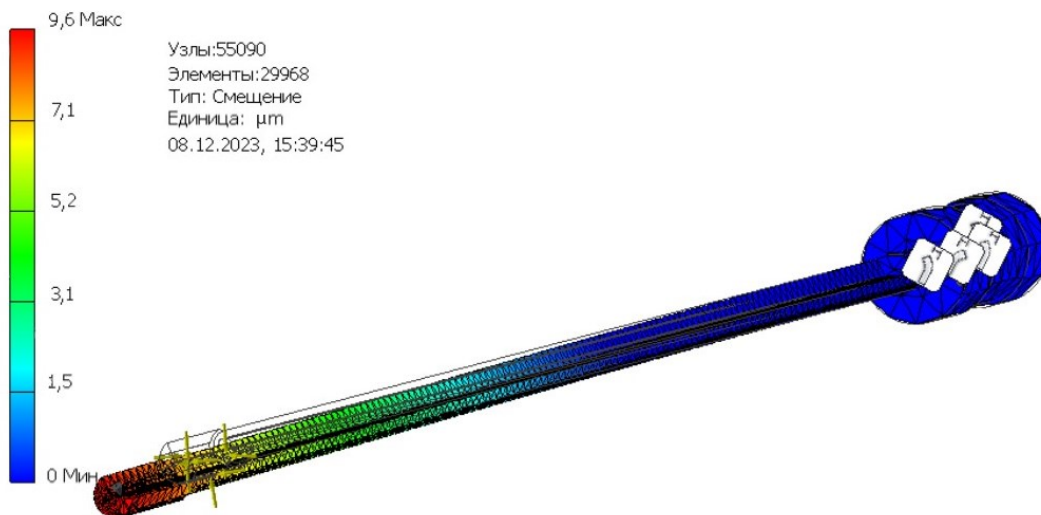


Рисунок 4 – Лінійні переміщення

Аналіз отриманих даних свідчить, що коефіцієнт запасу міцності під навантаженнями становить 1,4...1,5 та є цілком задовільним. Відведення осі рушничного свердла становить не більше 10 мкм.

ЛІТЕРАТУРА

- 1 Biermann D, Kersting M, Kessler N (2009) Process adapted structure optimization of deep hole drilling tools. CIRP Annals 58(1): 89 – 92
- 2 Оргиян А.А., Голобородько А.М., Перпери Л.М., Гугнин В.П. Статическая модель устойчивости процесса резания прецизионных конических отверстий // Наукові нотатки. Вип. 49. – Луцьк, 2015. – С. 111 – 113.
- 3 Оборский Г.А., Оргиян А.А., Голобородько А.М., Перпери Л.М. Математическая модель динамической системы процесса резания однолезвийной разверткой одностороннего резания // Резание и инструмент в технологических системах. Междунар. науч.-техн. сборник. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2014. – Вып. 84. – С. 175 – 185.

Голубовський А.В., Мельничук П.П.

Державний університет «Житомирська політехніка»

ОБРОБЛЮВАНІСТЬ НЕРЖАВІЮЧИХ СТАЛЕЙ ТОРЦЕВИМИ ФРЕЗАМИ ПРИ ПЛОСКОМУ ФРЕЗЕРУВАННІ

Нержавіючі сталі широко застосовуються в машинобудуванні завдяки їхній високій корозійній стійкості, міцності та довговічності. Ці сталі складають більшість оброблювальних матеріалів при виробництві вузлів і компонентів для шоколадних і кондитерських ліній на підприємстві з іноземними інвестиціями «Даніко» (Житомирська обл.) У виробництві шоколадних та кондитерських виробів застосовуються високотехнологічні машини, що працюють у складних умовах, таких як висока вологість, контакт із агресивними середовищами (шоколад, жири, цукрові сиропи). Нержавіюча сталь є ключовим матеріалом для виготовлення такого обладнання завдяки її антикорозійним властивостям, високій механічній міцності та відповідності санітарно-гігієнічним нормам. Однак їхня обробка пов'язана зі значними викликами через високу твердість матеріалу, низьку теплопровідність і тенденцію до наростання стружки. Застосування сучасних інструментальних матеріалів, таких як LT3130, IC330 та IC830, відкриває нові можливості для оптимізації процесів механічної обробки.

Мета дослідження дослідити оброблюваність нержавіючих сталей марок AISI 304, AISI 316 та AISI 420 при використанні торцевих фрез з різними пластинами (LT3130, IC330, IC830), визначити оптимальні режими різання, які забезпечують мінімальний знос інструменту, якість обробленої поверхні та ефективність процесу.

Матеріали: Нержавіючі сталі AISI 304, AISI 316, AISI 420.

Ріжучий інструмент: Торцеві фрези Lamina, SECO, Iscar з пластинами Magia PRO LT3130, Iscar IC330 та IC830.

Методи дослідження. Аналіз параметрів різання (швидкість різання, подача, глибина різання). Оцінка зносу ріжучих пластин за різних умов. Для вимірювання зносу використовується інструмент попереднього налаштування

DMG MORI UNO 20 40 Microset (рис. 2). Дослідження якості обробленої поверхні. Експериментальна перевірка впливу охолодження.



Рисунок 1 – Торцеве фрезерування сталі AISI 304



Рисунок 2 – DMG MORI UNO 20 40 Microset

Основні результати дослідження. Знос інструменту: Пластини LT3130 показали найкращі результати при роботі з AISI 304 завдяки стійкості до абразивного зносу. IC330 забезпечили ефективну роботу з AISI 316 за умов використання охолоджуючої рідини. IC830 виявилися оптимальними для AISI 420 завдяки високій твердості та зносостійкості. Режими різання AISI 304: швидкість різання 120–140 м/хв, подача 0,08–0,12 мм/зуб.; AISI 316: швидкість різання 100–120 м/хв, подача 0,07–0,1 мм/зуб.; AISI 420: швидкість різання 80–100 м/хв, подача 0,06–0,08 мм/зуб. Шорсткість для сталі AISI 304: найкращі результати ($R_a = 1,2$ мкм) були отримані з пластинами IC330. Для сталі AISI 316: IC330 також показали найкращі результати ($R_a = 1,0$ мкм). Для сталі AISI 420: LT3130 ($R_a = 1,4$ мкм). Якість поверхні: використання охолодження значно покращило якість обробки, особливо для AISI 316 та AISI 420.

Висновки. Оброблюваність різних марок нержавіючих сталей суттєво залежить від правильного вибору ріжучого інструменту та режимів різання.

Оптимальне поєднання інструменту та режимів дозволяє зменшити знос пластин, підвищити продуктивність та покращити якість обробленої поверхні.

Отримані результати можуть бути використані для розробки технологічних карт та вдосконалення виробничих процесів на підприємстві «Даніко» та інших.

ЛІТЕРАТУРА

1 Некрасов С. С. Підвищення працездатності твердосплавних кінцевих фрез при обробці ливарних сталей аустенітного класу. автореф. дис. канд. техн. наук : 05.03.01 / Некрасов Сергій Сергійович; НТУУ «КПІ», Київ, 2012 – 23 с.

2 Stephenson, D.A., & Agapiou, J.S. (2016). Metal Cutting Theory and Practice (3rd ed.). CRC Press.

З Мельничук П.П., Лосєв В.Ю., Головатенко О.В. Техніко-технологічні підходи удосконалення процесу торцевого фрезерування плоских поверхонь нежорстких деталей. Вісник ЖДТУ. Серія «Технічні науки», – 2008. №3 (46). С.139-146.

4 ISO 4287: *Geometrical product specifications (GPS) – Surface texture: Profile method – Terms, definitions and surface texture parameters.*

Гугнін В.П., Бабенко І.А.

Національний університет «Одеська політехніка»

ВІРТУАЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОНТРОЛЮ РІВНЯ РІДИНИ

Проектування сучасних засобів вимірювальної техніки і вимірювальних систем не мислимо без застосування засобів автоматизації проектування, які створюють необхідну основу для повної реалізації потенціальних можливостей системного підходу. Серед безлічі систем автоматизованого проектування (САПР), САПР LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) надає можливість одночасного здійснення функцій безлічі приладів (осцилографи, аналізатори спектра, вимірювачі частоти), а також функції спеціального математичного забезпечення для обробки результатів вимірювань, що найбільш повно задовольняє вимоги дослідника.

Так як LabVIEW має гнучкий графічний інтерфейс і простий для програмування, він також відмінно підходить для моделювання будь-яких процесів, у тому числі і віртуального моделювання контролю рівня рідини.

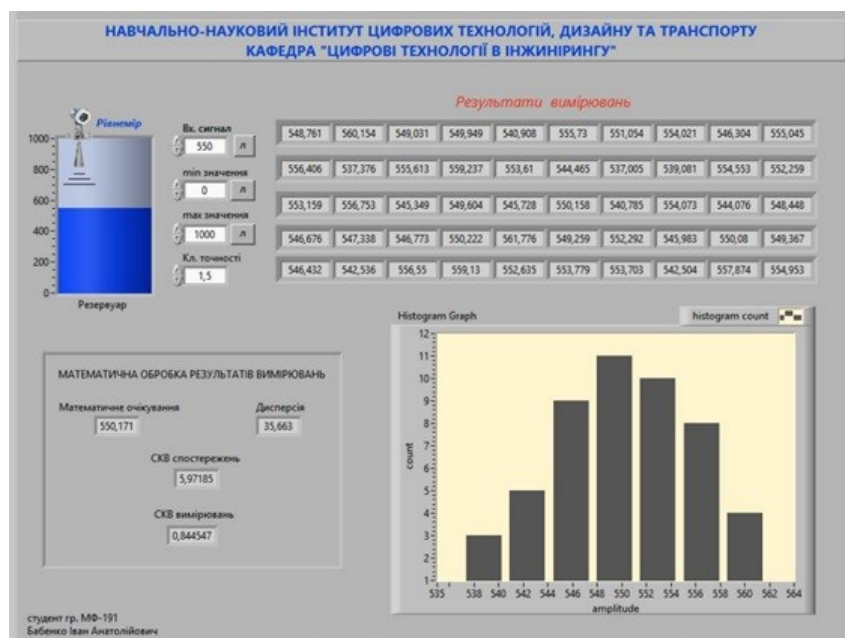


Рисунок 1 – Фронтальна панель віртуального рівнеміра

Під час віртуального моделювання процесу вимірювання рівня рідин у закритих резервуарах було створено віртуальний прилад (рис.1) для обліку контролю рівня в закритих резервуарах у графічному середовищі LabVIEW.

Проведено перевірку на адекватність роботи даної віртуальної моделі, за допомогою критерія узгодження – «критерій χ^2 » Пірсона.

Блок-діаграма віртуального рівнеміра представлена на рис. 2. Цикл з фіксованим числом ітерацій (For Loop) виконує код програми в середині її границь (піддіаграму) задане число ітерацій N (в даній програмі - 50 разів).

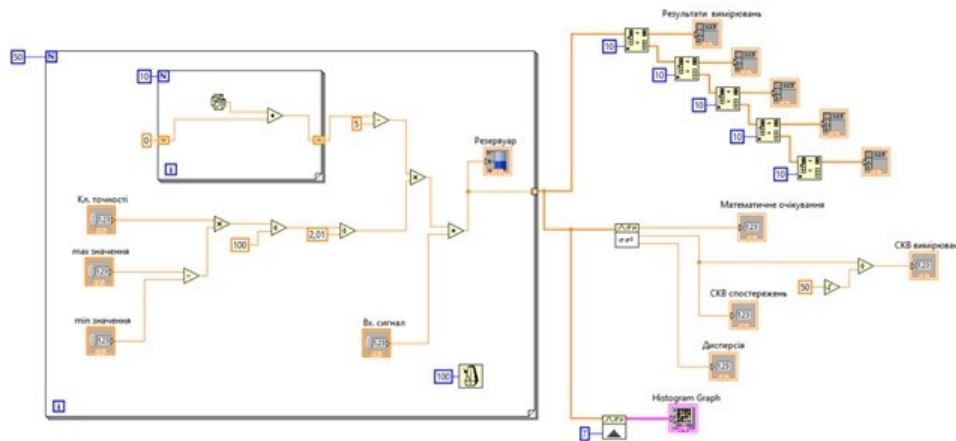


Рисунок 2 – Блок-діаграма віртуального рівнеміра

Обчислення математичного сподівання, дисперсії, СКВ спостереження, і СКВ вимірювання виконується за допомогою функції Std Deviation and Variance.

ЛІТЕРАТУРА

1 Simulation modelling in the tasks of digital engineering in the creation of information-measuring systems / H. Oborskyi, V. Gugnin, L. Perperi, G. Goloborodko, V. Goloborodko // Пр. Одес. політехн. ун-ту. – Одеса, 2022. – Вип. 1 (65). – P. 129–136.

2 Oborskyi, G., Gugnin, V., Perperi, L., Goloborodko, G., Goloborodko, V. (2024). Evaluation of Dust Concentration Using Computer Measurement Technologies. In: Tonkonogyi, V., Ivanov, V., Trojanowska, J., Oborskyi, G., Pavlenko, I. (eds) Advanced Manufacturing Processes V. InterPartner 2023. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. P. 541-549.

Данилова Л.М., Мухаммад У.У.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ВПЛИВ ГЕОМЕТРІЇ СВЕРДЛА ТА УМОВ РІЗАННЯ НА УТВОРЕННЯ ЗАДИРОК ПРИ СВЕРДЛІННІ

Свердління є однією з найбільш застосованих операцій оброблення деталей. При свердлінні пластичних матеріалів формується довга зливна стружка і утворюються задирки на вході та виході з отвору, що є дефектом поверхні. Утворення задирок призводить до неможливості складання і збільшують вірогідність утворення корозії через збільшення нерівностей поверхні. Операція зняття задирок в залежності від складності конструкції деталі і її точності може призводити до значних виробничих витрат. Задирки утворюються через пластичні деформації під час різання матеріалу і

представляють собою пластично-деформований шар матеріалу, що має більшу твердість ніж матеріал заготовки через термічний та деформаційний ефекти.

Відповідно до формулювань, які надав Гіллеспі Л. К. [1] існує чотири типи задирок: завита, рвана, відрізна та задирка Пуассона. Завита задирка зазвичай виникає на виході з отвору і є зігнутою стружкою, яку не було зрізано. Рвана задирка отримується відриванням від матеріалу а не зрізання. Відрізна задирка є результатом зрізання шару матеріалу. При свердлінні на вході задирка утворюється в результаті розриву, бічного видавлювання або згину з наступним зрізом. На виході з отвору при свердлінні гострим свердлом в результаті тертя на стрічці свердла утворюється задирка Пуассона. При використанні зношених свердел утворюється завита задирка.

При обробленні нержавіючої сталі задирки утворюються у вигляді «корони» або рівномірного типу, а при обробленні інших матеріалів можуть утворюватися задирки у вигляді «кришки» (рис. 1).

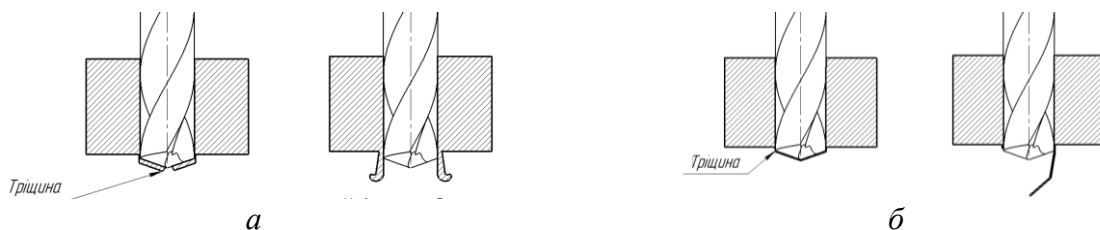


Рисунок. 1 – Утворення задирки: а – утворення задирки типу «корона»; б – утворення задирки типу «кришка»

Неможливо позбавитись задирок зміною швидкості різання, подачі, і геометрії свердла, але можна зменшити їх розміри. Для збільшення ефекту необхідно змінювати більше одного параметру впливу на розмір задирок.

Висоту задирки можна зменшити збільшивши подачу, швидкість різання не має впливу на цей параметр. При свердлінні глибоких отворів низька швидкість різання і велика подача зменшують задирки. При використанні змащувально-охолоджуючої рідини утворюються різні форми задирок на відміну від сухого різання. Геометрія свердла також має вплив на розміри задирки, так при більшому куті нахилу гвинтової канавки і збільшенні кута при вершині свердла зменшується висота та товщина задирки.

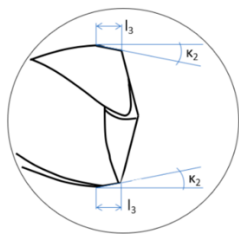


Рисунок 2 – Модифікація свердла

Таким чином, для зменшення задирок використовують змащувально-охолоджуючу рідину, що зменшує знос інструменту. Також зменшення швидкості призводить до зменшення товщини задирки, що утворюється. Збільшивши подачу можна зменшити висоту задирки. Зношування інструменту збільшує товщину та висоту задирки, тому заточування свердел є одним з методів зменшення розмірів задирок.

Досліди показують, що до зменшення розмірів задирок призводить утворення фасок, як показано на рисунку 2, бо додаткові різальні кромки змінюють розподіл сил різання при свердлінні і

видавлювання матеріалу буде менш інтенсивним на краях свердла. Це призведе до зменшення розмірів задирки. Результати дослідів наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Залежність висоти задирки від геометрії свердла.

№	s , мм/об	l , мм	κ , °	h (висота задирки), мкм
1	0,08	1,0	10	142
2	0,08	1,5	15	120
3	0,08	2	20	120
4	0,14	1,0	15	160
5	0,14	1,5	20	132
6	0,14	2	10	98
7	0,2	1,0	20	232
8	0,2	1,5	10	110
9	0,2	2	15	105

ЛІТЕРАТУРА

1 Gillespie LK, Blotter PT (1976) The Formation and Properties of Machining Burrs. Transactions of ASME Journal of Engineers for Industry 98: 66–74.

Димерцов Д.О.

Харківський національний економічний університет
імені Семена Кузнеця

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ У ГАЗОДИНАМІЧНОМУ ТЕПЛО-ХОЛОДИЛЬНОМУ АКУСТИЧНОМУ ГЕНЕРАТОРІ ГАРТМАНА-ШПРЕНГЕРА

Швидка зміна фізичних параметрів, які відбуваються в пристроях з коливальними гідродинамічними процесами, не дозволяє бачити повної картини використовуючи технічні засоби спостереження, тому перед дослідником постає задача пошуку альтернативних способів дослідження. Одним з таких способів є моделювання процесів використовуючи рівняння газової динаміки. Розвиток математичного моделювання зіткнулось з різними труднощами, які привели до створення складних багатовимірних задач, розв'язання яких доволі складний процес, вимагаючи використання цілої системи методів, що ускладнює розв'язок. Тому дослідники для спрощення розв'язку, звертаються до більш простих одновимірних задач, використання яких останнім часом є доволі актуально.

Одним з таких швидкісних процесів є рух пульсуючої хвилі газу, яка гальмується над-звуковим не розширеним струменем та перешкодою у вигляді порожнини з закритим одним торцем. В таких порожнинах, завдяки створеному акустичному полю, інтенсифікується тепловий процес, що призводить до суттєвого нагрівання закритого кінця трубки та зниження температури газу на виході з неї. Такою порожниною є резонансна трубка у генераторі Гартмана-Шпренгера, класична схема якого представляє собою співвісно розташовані

звужене сопло та приймальна трубка з закритим одним торцем. Завдяки співвідношення геометрії трубки та сопла створюється автоколивальний процес, який якраз і призводить до зміни температури газу та стінок самої трубки. Також пульсацію газу у резонансній трубці можна створити за допомогою механічного розподільника, який з визначеною частотою подає газ у резонансну трубку. Цей ефект зміни температура газу в резонансній трубці дуже цікавий для дослідження.

Тепловий ефект, який виникає у резонансній трубці, пов'язаний з тим, що протягом циклу наповнення-випорожнення трубки, деяка кількість газу, протягом більшої кількості циклів, утримується поблизу закритого торця трубки. Кожний наступний цикл наповнення-випорожнення трубки, проходить систему стрибків стиснення та розширення, що призводить до передачі енергії газу який залишається в трубці. Оскільки збільшення локальної ентропії при стисканні більше, термічний ефект призводить до збільшення локальної температури. Такий процес відбувається з частотою у кілька сотень циклів на секунду, що призводить до швидкого нагрівання утриманого газу.

Для дослідження теплових та газодинамічних процесів була складена одномірна математична модель, яка представляє собою систему рівняння газової динаміки, а також одновимірного рівняння нестационарного теплообміну. Для розрахунку параметрів газу трубці використовується метод кінцевих різниць з заданням просторової сітки. На обраній сітці, будується явна центральна різницєва схема, з завданням розпаду довільного розриву у половинних точках просторової сітки.

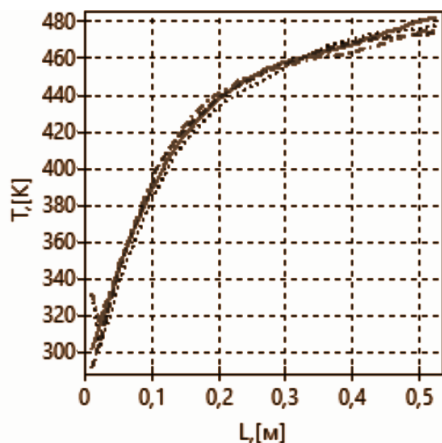


Рисунок 1. – Температура газу по довжині резонансної трубки на рівні 300 K

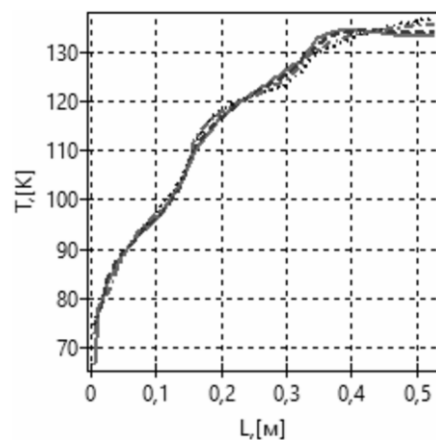


Рисунок 2. – Температура газу по довжині резонансної трубки на рівні 66 K

Для моделювання процесу зміни температури газу, розглянемо резонансну трубку приведену в роботі [1]. Для моделі задані крок за часом 10^{-7} с та кількість точок просторової одномірної сітки 80, що відповідає просторовому кроку 0,000656 м. Тиск нагнітання 1 МПа, який заявлений в роботі [1] для використання внутрішньої енергії потоку при різниці тисків. Розглянемо для дослідження два температурні режими – перший температурний режим відповідає значенню 293 K, другий температурний режим відповідає рівню рідкого азоту 66 K.

Для створення коливального режиму руху газу в резонансній трубці, застосуємо в конструкції газовий розподільник, як елемент створюючи пульсації газу. Для дослідження зміни температури газу на обох температурних рівнях, задана частота пульсації газу 550 Гц. Результати розрахунку зміни температури газу вздовж резонансної трубки приведені для 2543 циклу обертання газового розподільника, що відповідає виходу генератора на робочій режим. Дослідження зміни температури приймальної суміші на температурному рівні 293 К, показало зміну температури на виході з резонансної трубки 7 К (рис. 1). Температура ж газу в області закритого торця трубки досягає значення 480 - 520 К. При розгляданні температурного рівня рідкого азоту, можна бачити як за час виходу на режим роботи температура суміші зменшується на 0.7 - 1.5 К (рис. 2).

ЛІТЕРАТУРА:

1 Димерцов Д., Кошевой С., Зімін Д. Експериментальне дослідження роботи газодинамічного не машинного генератора холоду на основі трубки Гартмана-Шпренгера при температурі 78 К. Холодильна техніка і технологія. №.2, с. 9-15. (2010).

Дуденко О.С., Пікільняк А.В.
Криворізький національний університет

АНАЛІЗ ПОХИБОК ОБРОБКИ ПРИ ШВИДКІСНОМУ ТОРЦЕВОМУ ФРЕЗЕРУВАННІ

Метою даного дослідження є аналіз похибок, які виникають при торцевому фрезеруванні і виявлення можливості використання швидкісного торцевого фрезерування поверхні корпусів. Експериментально були визначені залежності зношування інструменту від шляху різання при обробці сталі 35Л однозубою фрезою та багатолезовою.

Як видно із представлених залежностей (рис. 1), зношування в межах перших 560 м шляху різання протікає більш інтенсивно. Вплив неоднорідності властивостей оброблюваного матеріалу, що викликає відхилення фактичної закономірності від лінійної, можна врахувати як випадкову похибку.

Крім факторів, які впливають на зношення інструменту з одним лезом при роботі багатолезовим інструментом необхідно врахувати, що на зношення впливає частота, з якою зуби вступають у процес різання, а не діаметр фрези й не число зубів безпосередньо.

Вплив торцевого биття різальних кромek приводить до нерівномірного їх зношування. Більш виступаючі зношуються, як правило, інтенсивніше.

Збільшення числа зубів фрези при обробці незмінної площі різко зменшує їх зношення, тому що при незмінній подачі на зуб довжина шляху зуба в сталі скорочується пропорційно числу зубів. Деякий відступ від пропорційності обумовлюється впливом зміни відносного зношування внаслідок наявності биття зубів.

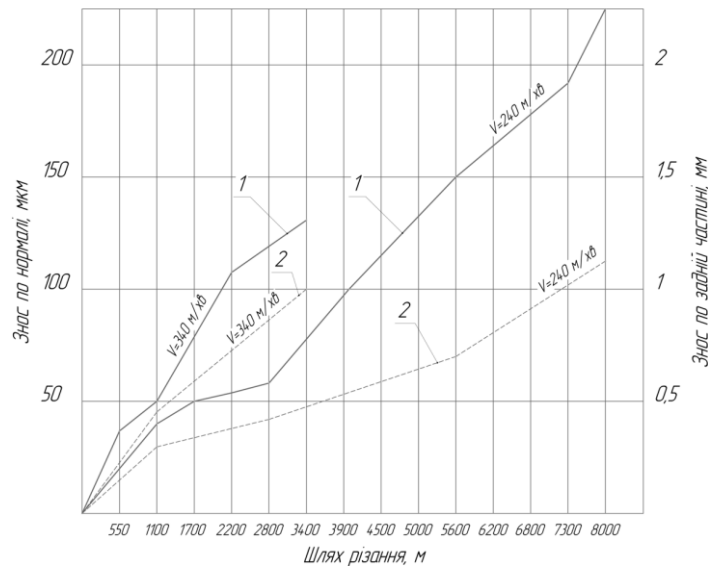


Рисунок 1 – Залежність зношення зуба фрези від шляху різання
($t = 1$ мм, $S = 0,1$ мм/зуб): 1 – знос по нормалі; 2 – знос по задній частині

Висновок: збільшення числа зубів зменшує число підналагоджень верстата та сприятливо позначається на точності форми деталі.

Жовтобрюх В.О.
Технічний центр «ВаріУс»

INDUSTRY 4.0: РОЗУМНИЙ ІНСТРУМЕНТ ДЛЯ РОЗУМНОГО ВИРОБНИЦТВА

Виробництво виробів, що відповідають сучасним запитам суспільства: побутової техніки, сільгоспобладнання, економічних та надійних літальних апаратів, автомобілів та морських суден тощо постійно вимагає нових матеріалів, які мають покращені властивості. Ці матеріали повинні бути міцними, недорогими, теплостійкими, зносостійкими та стійкими до агресивних середовищ. Це, у свою чергу, стимулює провідних світових верстатобудівників удосконалювати обладнання, щоб обробляти вироби із необхідною потужністю, необхідною кінематикою та максимально можливою універсальністю. Але в цьому процесі між інноваційним матеріалом та верстатом завжди знаходиться ще один важливий елемент конструкції – інструмент. Наскільки він ефективний, наскільки підходить саме для обробки даної деталі з даного матеріалу, для даного процесу та даного виробництва?

Це питання завжди хвилює технолога підприємства та вимагає правильного вибору інструменту для виконання нового завдання замовника.

Незважаючи на те, що можливості програм, які значно зросли для тривимірного моделювання інструменту, а також конструкторсько-технологічних систем CAD/CAM, дозволяють досягати значних результатів, пропонуючи інноваційні конструкції державок і нові форми ріжучих пластин для

обробки екзотичних матеріалів, все ж недостатньо застосовувати тільки традиційні методи розроблення ріжучого інструменту, спрямовані на досягнення кращої продуктивності та надійності. Наприклад, у сучасних літаках значно збільшилася кількість деталей, виготовлених із композиційних матеріалів. А для їхньої ефективної механічної обробки потрібен спеціальний ріжучий інструмент із новими властивостями. Це є ключовим моментом для технологічного стрибка в аерокосмічній промисловості.

Сьогодні металообробні підприємства ставлять виробникам ріжучого інструменту інші завдання, ніж навіть 5 – 10 років тому. У цифрову епоху замовник чекає від них постійної участі не тільки у фізичному, а й у віртуальному виробництві, а отже – зручної інформації, необхідної фахівцям клієнта для моделювання процесів, для інтеграції складання інструментів та оснащення, а також для багато чого іншого, що впливає на процес підготовки виробництва [1].

Сучасним менеджерам підприємств все частіше потрібні вичерпні дані щодо інструменту, необхідний доступ до різної інформації, що дозволяє створювати моделі-близнюки, виконувати інженерні та економічні розрахунки, аналізувати термін служби інструменту, виконувати негайні налагодження та автоматичні заміни. Розроблення ріжучого інструменту на основі всієї бази знань та компетенцій, а також оцифрування у форматах, зручних як для його споживача, так і виробника обладнання, стає вимогою часу [1, 2].

У цьому полягає основна особливість процесу розвитку ріжучого інструменту відповідно до концепції Industry 4.0, завдання якої у галузі промислового виробництва полягає у підвищенні його ефективності завдяки інтеграції у технологічні процеси кіберфізичних систем. Локомотивом у цьому процесі, як завжди, є найбільші світові компанії із виробництва металорізального інструменту. А лідерами в інноваціях можна назвати: ISCAR (Ізраїль), TaeguTec (Південна Корея) та Tungaloy (Японія).

Завдання Industry 4.0. у галузі промислового виробництва полягають у підвищенні його ефективності завдяки інтеграції у технологічні процеси кіберфізичних систем (CPS). При цьому все обладнання, інструмент, оснащення, матеріали оснащуються датчиками зворотного зв'язку та/або засобами ідентифікації, які формують загальну базу даних щодо своїх властивостей, положення, стану тощо та можуть обмінюватися один з одним інформацією й переміщуватися згідно складеному алгоритму, без втручання людини, для того, щоб виготовити продукцію певної якості та у заданій кількості.

У таких умовах дуже важливо, щоб процес вибору інструменту був швидким, простим та зручним для фахівців. Ось із цього і починається «Індустрія 4.0» для інструменту! Тобто його весь час має супроводжувати інформація, на кожному етапі життєвого циклу. А для цього виробники ріжучого інструменту все інтенсивніше оцифровують процеси розроблення та виробництва, щоб контролювати та покращувати якість, збільшувати надійність і передбачуваність терміну служби інструменту. При цьому на перший план виходить завдання розроблення такого інструменту, який «уміє спілкуватися» із іншими пристроями за допомогою технологій ІТ, мовою, єдиною для всіх засобів

виробництва, на основі єдиних специфікацій, стандартів, баз даних. Тобто для ріжучого інструменту повинен створюватися цифровий двійник, який буде носієм всієї необхідної інформації виробникам щодо нього.

Наприклад, якщо зараз машинобудівні підприємства використовують у своїй роботі сучасні CAD/CAM-системи, то цифровий двійник інструменту має бути інтегрований у них для того, щоб допомогти у виборі інструменту для певних завдань. При цьому може бути завантажений великий обсяг інформації щодо його геометричних параметрів, режимів різання, оброблюваних матеріалів, досвід експлуатації тощо. Крім того, вся інформація повинна бути постійно оновлюваною. Дане програмне забезпечення має легко встановлюватися як на комп'ютер або планшет, так і смартфон. Це відкриває інструменту «двері» у виробництво, бо без цього він уже просто стоятиме, як сувенір на полиці.

ЛІТЕРАТУРА

1 Новіков Ф.В. Технології створення машин : навч. посібник / Ф.В. Новіков, Д.Ф. Новіков, В.О. Жовтобрюх. Дніпро : ЛПА, 2023. 484 с.
URL: <http://repository.hneu.edu.ua/handle/123456789/30539>

2 Новіков Ф.В. Інноваційні технології та їх застосування : навчальний посібник / Ф.В. Новіков, Д.Ф. Новіков, В.О. Жовтобрюх. Дніпро : ЛПА, 2024. 628 с.
URL: <http://repository.hneu.edu.ua/handle/123456789/33683>

Жовтобрюх В.О.
Технічний центр «ВаріУс»

РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ОПТИМАЛЬНИХ РЕЖИМІВ ВИСОКОШВИДКІСНОГО РІЗАННЯ ТВЕРДОСПЛАВНИМИ ІНСТРУМЕНТАМИ ЗІ ЗНОСОСТІЙКИМИ ПОКРИТТЯМИ ЗА КРИТЕРІЄМ НАЙМЕНШОЇ СОБІВАРТОСТІ ОБРОБКИ

Створення високопродуктивних технологічних процесів лезової обробки, що забезпечують зменшення собівартості обробки до економічно прийнятного рівня, достатнього для ефективного застосування сучасних високообертових верстатів із ЧПУ типу «обробний центр» і коштовних збірних конструкцій твердосплавних інструментів закордонного виробництва на машинобудівних підприємствах України, є актуальною науково-практичною проблемою. Тому розроблено методику розрахунку оптимальних режимів різання та стійкості твердосплавних інструментів зі зносостійкими покриттями за критерієм найменшої собівартості обробки для умов високошвидкісного різання. На її основі проведено оцінювання економічної ефективності та надано практичні рекомендації щодо застосування збірних твердосплавних інструментів зі зносостійкими покриттями на операції фрезерування деталей із важко-оброблюваного матеріалу (сталь Х2ГСНВМ-ВД) збірної фрезою Ø42 мм (оснащеною пластинами із твердого сплаву ТТ9030 зі зносостійким покриттям) замість вітчизняної монолітної фрези Ø40 мм, виготовленої із швидкорізальної

сталі P18. Це дозволило до 10 разів підвищити продуктивність обробки та приблизно у стільки ж разів зменшити собівартість обробки. На основі розробленої методики також проведено вибір раціональних параметрів операцій механічної високошвидкісної обробки на операції точіння заготовок із сталі різцями, оснащеними ріжучими пластинами із твердих сплавів TT8115, TT8125 і TT8135 зі зносостійким покриттям. Показано, що у цьому випадку швидкість різання може бути збільшена до 500 м/хв, а стійкість інструменту рекомендується встановлювати в межах 15 хв, що дозволяє домогтися суттєвого збільшення продуктивності обробки.

Встановлено, що твердий сплав TT7505 ефективно використовувати для високошвидкісної обробки чавуну, а міцний сплав TT8080 – для обробки нержавіючих і жароміцних сплавів. Для обробки композиційних матеріалів рекомендується використовувати фрезерні пластини із сплаву PCD (полікристалічний алмаз), кінцеві твердосплавні фрези і свердла із алмазним покриттям. Такі інструментальні рішення задовольняють унікальним умовам різання важкооброблюваних матеріалів, оскільки об'єднують переваги спеціального сплаву, модифікованої геометрії ріжучої кромки і високих термохімічних властивостей алмазного покриття.

Експериментально встановлено, що застосування сучасних збірних твердосплавних інструментів зі зносостійкими покриттями на операціях точіння, розточування, фрезерування і свердління деталей гідравлічних систем (плунжера, п'яти, втулки сферичної) дозволило в середньому в 3 – 5 разів підвищити продуктивність і зменшити собівартість обробки із забезпеченням необхідних показників якості оброблюваних поверхонь.

Встановлено, що токарно-фрезерні обробні центри серії PUMA SMX компанії «DOOSAN Infracore Machine Tools» – це нове покоління багатофункціональних обробних металорізальних верстатів, які відрізняються високою продуктивністю, точністю та простотою в експлуатації, надають можливість використання кращих рішень в класі багатофункціонального обладнання. Токарно-фрезерні центри серії SMX є світовими лідерами в своєму класі й забезпечують високі показники високоточної механічної обробки завдяки застосуванню системи мінімізації термічної деформації, заснованої на функціях температурної компенсації в процесі високошвидкісного різання сучасними різальними твердосплавними інструментами зі зносостійкими покриттями.

Встановлено, що конфігурація твердосплавних кінцевих фрез RCFE TaeguTec із алмазним покриттям для обробки вуглепластиків, також як і фрез RRFE-типу, виключає розшарування, знижує зусилля різання та вібрації, забезпечує високу продуктивність інструменту під час чорнової обробки. Важливою особливістю RCFE-фрез є декілька каналів для відведення стружки, що дозволяє працювати на підвищених режимах.

Для чистової обробки композитів рекомендується використовувати твердосплавну кінцеву фрезу серії RCOM (компанії TaeguTec) із алмазним покриттям, яка виключає розшарування, запобігає утворенню задирок. Вона представлена у 2-х конфігураціях: із лівим і правим напрямом спіралей канавок.

Для високопродуктивної обробки композитів рекомендується використовувати ріжучі тверді сплави компанії TaeguTec, що дозволяють забезпечити найвищу стійкість інструменту. Так, інноваційний PCD-сплав TD830, виготовлений із ультрадрібної алмазної фракції, показує високу зносостійкість, міцність та якість кромки, характеризується винятковою стійкістю до абразивного зношування та значною термічною стабільністю.

Для обробки волокнистих вуглепластиків рекомендується новий сплав TTD610. Завдяки передовій технології нанесення наноалмазного покриття, цей сплав забезпечує неперевершену стійкість інструменту та високу стабільність обробки, відрізняється високою абразивною зносостійкістю (твердість більше 8000 за Віккерсом), забезпечує високі показники теплопровідності та ударної стійкості.

Для механічної обробки прес-форм і штампів, коли доводиться фрезерувати тонкостінні заготовки із різних за оброблюваністю матеріалів, пропонується високопродуктивна серія фрез і пластин ChaseFeed, які можна застосовувати і для чорнових операцій. Застосування наведених практичних рекомендацій в діяльності Технічного Центру «ВаріУс» (м. Дніпро) дозволило підвищити ефективність розроблення технологічних процесів обробки деталей машин, виготовлених із матеріалів із підвищеними фізико-механічними властивостями, на основі застосування високошвидкісного різання на різних технологічних операціях механічної обробки.

Зуєв І.О, Цивінда Н.І.

Криворізький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙНИХ МЕТОДІВ ОБРОБКИ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ З КОВКОГО ЧАВУНУ

Дослідження українських та зарубіжні вчених, досвід практичної роботи на машинобудівних підприємствах показав, що механічна обробка ковкого чавуну, зокрема марки EN-GJS-350-22 (аналог КЧ35-10), може бути пов'язана з деякими технічними проблемами. Ось основні з них:

1 Високий рівень абразивності. Чавун має феритно-графітну структуру, високий вміст графіту і цементиту призводить до швидкого зношування інструментів під час механічної обробки, тому вимагає ретельного підбору матеріалу його різальної частини. На підприємствах використовують спеціальні інструменти з покриттями, такі як твердосплавні або керамічні вставки, а також оптимізацію технологічних параметрів, включаючи швидкість різання, подачу та глибину різання. Використання змінної швидкості обробки також дозволяє зменшити навантаження на інструменти.

2 Ковкий чавун схильний до утворення тріщин або вібраційних пошкоджень під час механічної обробки, особливо при роботі з великими або

тонкими деталями, через наявність фракцій графіту у вигляді пластівців та округлих включень.

3 Ковкий чавун має низьку пластичність в порівнянні з іншими матеріалами, такими як сталі, що може ускладнювати обробку, особливо при холодному різанні.

4 Ковкий чавун може не мати достатньо високої міцності на розрив у деяких випадках, що може призвести до вигину або інших дефектів у тонких деталях, таких як картер редуктору, що приводить до необхідності ретельно контролювати температурні режими і використовувати точні налаштування для запобігання перегріву і деформації.

5 Обробка ковкого чавуну може бути менш продуктивною порівняно з іншими металами через необхідність використання більш складних технологій і інструментів з високою твердістю, таких як, різальні пластини з КНБ.

6 Варіативність структури і хімічного складу ковкого чавуну може викликати зміни в його механічних властивостях. Тому необхідно ретельно підходити до питання технологічної якості сировини і процесу термічної обробки. Для покращення властивостей були розроблені методи термічної обробки, включаючи нормалізацію, відпуск або загартування.

Висновок: проведені дослідження були зосереджені на оптимізації температурного режиму та швидкості охолодження, щоб досягти максимального рівня міцності без шкоди для пластичності, що є критично важливим для ефективної, економічної та стабільної обробки ковких чавунів.

Івашура А.А.

Харківський національний економічний університет
імені Семена Кузнеця

ЕКОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ДО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ВІДРОДЖЕННЯ ХАРКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ В ПІСЛЯВОЄННИЙ ПЕРІОД

Постконфліктний період для Харківської області характеризується масштабними руйнуваннями інфраструктури, промислових підприємств та екосистем. Відновлення регіону має стати не просто поверненням до попереднього стану, а переходом до нової моделі розвитку, яка враховує екологічні виклики та створює умови для сталого майбутнього. Необхідно переосмислити традиційні підходи до промислового розвитку і замінити їх екологічно свідомими рішеннями, які б сприяли збереженню природних ресурсів, зменшенню викидів та забруднення, а також покращенню якості життя населення.

Екологічно свідоме технологічне відродження Харківської області ґрунтується на таких принципах:

1 Мінімізація впливу на навколишнє середовище. Це означає використання екологічно чистих технологій, ресурсозбереження, зниження викидів та відходів.

2 Використання відновлюваних джерел енергії. Це дозволить зменшити залежність від викопних палив, які є основними джерелами забруднення.

3 Впровадження циркулярної економіки. Це дозволить мінімізувати споживання природних ресурсів, перейти до повторного використання матеріалів та відходів, а також створити нові робочі місця.

4 Інтеграція екологічного фактора в процеси прийняття рішень. Це означає, що екологічні наслідки будь-якого проекту мають враховуватися на всіх етапах його розробки та реалізації.

5 Створення екологічно стійкої інфраструктури. Це включає розвиток зелених зон, покращення системи водопостачання та каналізації, а також використання енергоефективних будівельних матеріалів.

Для успішного екологічного відродження Харківської області необхідно зосередити зусилля на таких стратегічних напрямках:

- Модернізація промислових підприємств. Це включає перехід на екологічно чисті технології виробництва, зниження викидів, використання ресурсозберігаючого обладнання та енергоефективних технологій.

- Розвиток «зелених» галузей. Це включає створення нових підприємств, що працюють у сферах відновлюваної енергетики, екологічного туризму, переробки відходів та "зеленого" будівництва.

- Підтримка малого та середнього бізнесу, який орієнтований на екологічні проекти.

- Залучення інвестицій в «зелені» технології та проекти.

Створення системи екологічного контролю та моніторингу. Це дозволить відстежувати стан навколишнього середовища та ефективність впроваджених заходів.

Для реалізації «зеленої» трансформації потрібні значні фінансові інвестиції. Необхідно розробити ефективні механізми фінансування, стимулювання та державної підтримки екологічно спрямованих проектів.

До таких механізмів можна віднести:

- Залучення інвестицій від міжнародних організацій та фондів, що фінансують проекти у сфері сталого розвитку.

- Надання державних гранту та дотацій на розробку та впровадження «зелених» технологій.

- Створення системи екологічного податку та створення еко-фонду для фінансування екологічних проектів.

- Впровадження «зелених» стандартів та сертифікації для промислових підприємств, що стимулюватиме їх до екологічного оптимізації.

- Застосування «зелених» закупівель для державних організацій та підприємств.

Екологічно свідоме відродження Харківської області потребує не тільки технологічних змін, а й змін у свідомості та компетенціях населення. Необхідно

сприяти розвитку екологічної освіти та навчання, а також підвищенню кваліфікації кадрів у сфері сталого розвитку.

Важливо навчати населення екологічним принципам та практикам, розвивати екологічну свідомість і відповідальність. Створення освітніх програм та курсів, що ознайомлюють з «зеленими» технологіями, циркулярною економікою та сталим розвитком, є необхідним кроком для успішної "зеленої" трансформації регіону.

Екологічний підхід до відновлення промисловості в Харківській області – це не просто додаткова умова, а необхідний фактор успіху. Він дозволить забезпечити тривале та стає зростання, зберегти природні ресурси для майбутніх поколінь, підвищити інвестиційну привабливість регіону і створити робочі місця в «зелених» галузях.

ЛІТЕРАТУРА

1 Івашура А. А. Аналіз впровадження практик сталого споживання в Україні на основі зарубіжного досвіду / А. А. Івашура, О. М. Борисенко // Grail of Science. – 2023. – № 25. – С. 183-189.

2 Ivashura A., Protasenko O., Mykhailova E., Severinov O. Study of Strategies for Sustainable Production and Consumption in the Economic Conditions of Ukraine / A. Ivashura, O. Protasenko, E. Mykhailova, O. Severinov // Economics of Development. – 2022. – Т. 21. – №. 1. – С. 8-16.

3 Івашура А. А. Аналіз сталого споживання і виробництва в Україні / А. А. Івашура, О. М. Борисенко, М. Ф. Савченко та ін. // Technological innovation: engineering, manufacturing, agricultural complex and zoology : Collective Scientific Monograph. – Dallas, USA: Primedia eLaunch LLC, 2022. – Р. 60-68.

Калініченко В.В.

Донбаська державна машинобудівна академія

РЕЗЕРВИ ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОВИТРАТ НА ПРОЦЕС ТОКАРНОЇ ОБРОБКИ НА ВАЖКИХ ВЕРСТАТАХ

Проблема зниження енерговитрат при механічній обробці з особливою гостротою постає для високоенерговитратних процесів токарної обробки на важких верстатах. При пошуку резервів зниження енерговитрат на ці процеси мають враховуватися як загальна картина енергобалансу механічної обробки, так і специфіка токарної обробки на важких верстатах [1].

Енергія, спожита приводом головного руху (ПГР) верстату під час його роботи, розподіляється на три складові: 1) витрати енергії на перебіг фізичних процесів у зоні різання; 2) втрати енергії у механічній частині ПГР; 3) втрати енергії у електричній частині ПГР. Комплексний підхід до зниження енерговитрат при механічній обробці передбачає пошук резервів зниження усіх трьох вищеперерахованих складових.

Зниження витрат енергії на перебіг фізичних процесів у зоні різання забезпечується за рахунок пошуку та використання енергоефективних умов та

параметрів процесу обробки. Ключовою задачею при цьому є визначення енергоефективних режимів різання, що передбачає розробку та реалізацію оптимізаційних моделей процесу обробки на базі використання енергетичних критеріїв оптимізації. Комплекс енергоефективних умов та параметрів процесу обробки не має обмежуватися тільки енергоефективними режимами різання; при формуванні комплексу слід передбачити використання енергоефективної геометрії різального інструменту, а також можливості зниження витрат енергії у зоні різання за рахунок інших чинників зниження силового навантаження у ній (мастильно-охолоджуючі технологічні середовища, зносостійкі покриття різального інструменту, введення додаткової енергії до зони різання).

Зниження витрат енергії у механічній та електричній частинах ПГР верстату має базуватися на ухваленні енергоефективних проектних рішень при створенні нового та модернізації наявного верстатного обладнання.

Токарна обробка на важких верстатах має низку специфічних рис, що визначають високу енерговитратність процесів обробки. Великі значення та нерівномірний характер припуску при токарній обробці заготовок зі значною товщиною дефектного поверхневого шару зумовлюють високий рівень силових навантажень та, відповідно, енерговитрат у зоні різання. Тенденцію зростання рівня енерговитрат при токарній обробці на важких верстатах також зумовлює розширення використання у важкому машинобудуванні нових конструкційних матеріалів (складнолегованих сталей, спеціальних сплавів та ін.), що мають покращені функціональні властивості, але низькі показники оброблюваності різанням. Складні умови обробки цих матеріалів спричиняють зростання рівня сил різання та енерговитрат у зоні обробки. Важкі токарні верстати, що здійснюють обробку заготовок значних габаритних розмірів та маси з великими припусками на обробку та силами різання, мають великі значення потужності електродвигуна ПГР. Це обумовлює високий рівень абсолютних втрат енергії при заданому рівні питомих втрат у механічній та електричній частинах ПГР. Токарна обробка на важких верстатах також відрізняється великими втратами енергії при роботі електродвигуна ПГР верстату на холостому ході під час заміни різальних пластин (різцевих блоків) внаслідок їхньої відмови.

Аналіз специфіки токарної обробки на важких верстатах дозволив систематизувати наступні резерви зниження енерговитрат при цій обробці [1]:

- зниження витрат енергії на перебіг фізичних процесів у зоні різання за рахунок зниження силового навантаження у зоні різання;
- зниження абсолютних втрат енергії у механічній та електричній частинах ПГР за рахунок зниження питомих втрат при модернізації приводу;
- використання рекуперації енергії у верстатних системах;
- зменшення часу обробки для зниження сумарних енерговитрат на неї.

Як відзначається у [1], основними джерелами втрат енергії у механічній частині ПГР важких верстатів є вальничні вузли та пасові передачі; конструктивні зміни у них забезпечують підвищення коефіцієнта корисної дії η механічної частини ПГР та зниження втрат енергії в ній. Втрати енергії у електричній частині ПГР можна зменшити за рахунок підвищення коефіцієнта

потужності $\cos\phi$ при впровадженні систем компенсації реактивної складової споживаної електроенергії. Втім, у сучасних ПГР важких верстатів активно впроваджують технічні рішення, що забезпечують підвищення значень η та $\cos\phi$ (відповідно до $\eta = 0,9 \dots 0,95$ та до $\cos\phi \rightarrow 1$), що майже вичерпує резерви зниження втрат енергії при роботі верстату за рахунок модернізації його ПГР. Можливості зниження втрат енергії у важких верстатах за рахунок рекуперації енергії ще недостатньо досліджені. У таких умовах основним шляхом зниження енерговитрат при токарній обробці на важких верстатах є зменшення силового навантаження у зоні різання при використанні енергоефективних умов та параметрів процесу обробки, що може бути досягнуто за рахунок:

- визначення енергоефективних режимів різання при реалізації оптимізаційної моделі на базі енергетичних критеріїв оптимізації (у якості таких критеріїв можуть бути використані, наприклад, критерії мінімуму питомої енергомісткості різання або максимуму продуктивності різання, співвіднесеної до одиниці енерговитрат у зоні різання);

- використання різців з енергоефективною геометрією та різальних пластин з прогресивними зносостійкими покриттями;

- уведення до зони різання додаткової енергії для полегшення деформування оброблюваного матеріалу заготовки (наприклад, при його електроконтактному нагріванні).

ЛІТЕРАТУРА

1 Калініченко, В. Комплексний підхід до зниження енерговитрат при токарній обробці на важких верстатах / В. Калініченко // Матеріали та технології в інженерії (МТІ-2023): інженерія, матеріали, технології, транспорт : збірник наукових доповідей міжнародної конференції, Луцьк, Україна, 16–18 травня 2023 р. / Упоряд. : Олександр Повстяной, Ольга Залета, Богдан Валецький. – Луцьк : Вежа-Друк, 2023. – С. 133–135.

Калюжний О.Б., Марченко М.М.

Державний біотехнологічний університет

Платков В.Я.

Східноукраїнський національний університет
імені Володимира Даля

ДОСЛІДЖЕННЯ КОМБІНУВАННЯ ПОРОУТВОРЮВАЧІВ NaCl ТА NaHCO_3 НА СТРУКТУРУ І ВЛАСТИВОСТІ ПОРИСТИХ ПОЛІТЕТРАФТОРЕТИЛЕНІВ

Сучасні технології потребують матеріалів із контрольованими характеристиками пористості, проникності і фізико-механічних властивостей [1]. Пористі матеріали на основі політетрафторетилену (ПТФЕ) знаходять застосування у фільтрувальних системах, біомедичних пристроях, теплоізоляції

та ін. завдяки їхній хімічній стійкості, низькому коефіцієнту тертя та здатності формувати пористу структуру.

Формування таких матеріалів здійснюється із використанням пороутворювачів, які дозволяють регулювати морфологію порового простору. Комбінація розчинних (NaCl) [2] і газоутворюючих (NaHCO_3) [3] пороутворювачів відкриває можливості створення матеріалів з адаптованими характеристиками для різних застосувань.

Метою досліджень було встановлення впливу комбінування пороутворювачів NaCl і NaHCO_3 на структуру і фізико-механічні властивості пористих матеріалів на основі ПТФЕ.

В дослідженнях використовувався оптичний аналіз морфології порового простору за допомогою цифрового мікроскопа USB Digital Microscope 1600X 8 LED. Для визначення мікротвердості HСа використовувався цифровий твердомір Шора моделі 5610 зі шкалою А.

На рис. 1 представлені порові структури ПТФЕ сформована пороутворювачами зі складом: 100% NaCl ; 75% NaCl + 25% NaHCO_3 ; 50% NaCl + 50% NaHCO_3 ; 25% NaCl + 75% NaHCO_3 ; 100% NaHCO_3 .



Рисунок 1 – Порові структури ПТФЕ сформовані комбінаціями пороутворювачів: а – 100% NaCl ; б – 75% NaCl + 25% NaHCO_3 ; в – 50% NaCl + 50% NaHCO_3 ; г – 25% NaCl + 75% NaHCO_3 ; д – 100% NaHCO_3 .

Встановлено, що пороутворювач 100% NaCl формує рівномірні пори з гладкими міжпоровими перегородками, в протилежність цьому пороутворювач 100% NaHCO_3 руйнує міжпорові перегородки і тим самим формує менш однорідний поровий простір з високою проникністю. Комбінування пороутворювачів NaCl і NaHCO_3 формує різноманітні багаторівневі порові простори, що можуть бути адаптовані до різних вимог.

Крім вимог до проникності структур існують потреби до фізико-механічних властивостей, які оцінюють за мікротвердістю пористого матеріалу. Результати статистичного аналізу мікротвердості пористих матеріалів, сформованих із використанням різних типів пороутворювачів наведено на рис. 2. Точки на графіку представляють середнє арифметичне значення за результатами 50 вимірювань, а «вуса» відображають граничні відхилення значень HСа.

Встановлено, що використання NaCl забезпечує високу HСа ~ 45 завдяки формуванню міцних міжпорових перегородок та однорідності структури. Використання NaHCO_3 , в наслідок часткової газифікації, забезпечує високу проникність, але знижує HСа до ~ 30 завдяки підвищенню дефектності порової структури ПТФЕ.

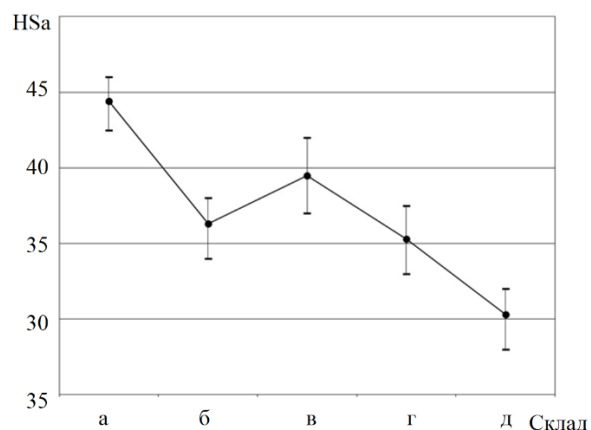


Рисунок 2 – Вплив складу пороутворювача на мікротвердість пористих ПТФЕ:
 а – 100% NaCl; б – 75% NaCl + 25% NaHCO₃; в – 50% NaCl + 50% NaHCO₃;
 г – 25% NaCl + 75% NaHCO₃; д – 100% NaHCO₃.

Залежно від сфери застосування результати досліджень слід використовувати при впровадженні пористих ПТФЕ в реальні конструкції.

ЛІТЕРАТУРА

- 1 Drobny, J.G. Technology of fluoropolymers. CRC Press Taylor & Francis Group, (2009) 250 p.
- 2 Kaliuzhnyi, O.B., Platkov, V.Y. The structure and properties of porous poly(tetrafluoroethylene). *J Polym Res* **29**, 32 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10965-022-02887-w>
- 3 Kaliuzhnyi, O. B., Platkov, V. Ya. Formation of Porous Poly(tetrafluoro-ethylene) Using a Partially Gasified Porogen. *Iran J. Mater. Sci. Eng.*, **2**, 17 (2020) <https://doi.org/10.22068/ijmse.17.2.13>

Калюжний О.Б., Могильченко Д.А.
 Державний біотехнологічний університет

НАУКОВІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ ПОРИСТОГО ФТОРОПЛАСТУ У МАШИНОБУДУВАННІ

Фільтрація дизельного палива є критично важливе для забезпечення стабільної роботи двигунів та продовження їх ресурсу. У паливі можуть міститися механічні домішки (пісок, металеві частинки), вода, смоли й інші забруднення, які здатні пошкоджувати паливну систему, засмічувати форсунки а також погіршувати якість згоряння. Нефільтроване паливо призводить до зниження ефективності роботи двигуна, збільшення витрат пального та зростання викидів шкідливих речовин. З розвитком нових видів палива, зокрема біопалива, виникає необхідність у пошуку нових матеріалів для фільтрів, які забезпечать ефективне очищення навіть у складних умовах. Традиційні паперові фільтри мають низку недоліків, таких як хімічна нестійкість, недостатня термостійкість і швидке насичення забрудненнями [1].

Оптимальним рішенням можуть стати фторопластові фільтри. Вони відзначаються високою хімічною стійкістю, що дозволяє їм витримувати

агресивні компоненти пального, термостійкістю до високих температур і здатністю зберігати механічну міцність навіть за інтенсивної експлуатації. Крім того, фторопластові фільтри гідрофобні, що дозволяє їм ефективно відокремлювати воду, яка є частою домішкою в дизельному паливі. Їх довговічність і можливість багаторазового використання роблять їх економічно вигідним та екологічним вибором.

Дослідження показали, що фторопласт завдяки своїм унікальним властивостям, таким як висока хімічна стійкість, низька змочуваність і можливість формування контрольованої порової структури, є ідеальним матеріалом для створення таких елементів. Для виготовлення фільтруючих елементів використовували NaCl як пороутворювач, що забезпечувало створення пор із заданими розмірами [2]. Залежно від дисперсності NaCl, тонкість фільтрації складала до 3 мкм. Модельні зразки виготовляли у вигляді дисків із товщиною, відповідною робочим фільтруючим елементам. Загальний вигляд зразків наведено на рис. 1.

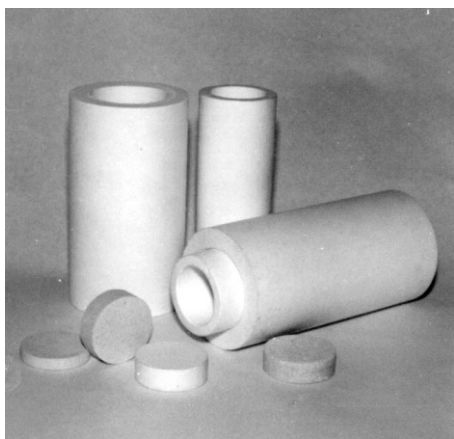


Рисунок 1 – Загальний вид пористих фторопластових матеріалів

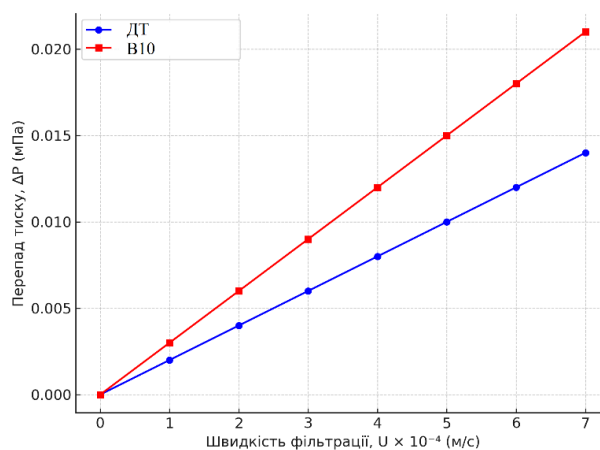


Рисунок 2 – Гідравлічні характеристики пористих фторопластових матеріалів

Гідравлічні характеристики пористих фторопластових матеріалів також досліджувалися при фільтрації дизельного палива ДП та біопалива В-10 (рис.2).

Залежність перепаду тиску (ΔP) на пористому матеріалі з фторопласту під час фільтрації дизельного палива та біопалива є лінійною, що зумовлено ламінарним режимом потоку рідини через фільтрувальний матеріал.

Перепад тиску збільшується пропорційно до швидкості фільтрації (U). Це пояснюється лінійним характером рівняння Дарсі для потоку через пористі матеріали. Для біодизельного палива кут нахилу залежності (ΔP від U) є більшим, що свідчить про необхідність більшої енергії для прокачування рідини через фільтр. Пористий фторопласт демонструє стабільну роботу з обома типами палива, що робить його перспективним матеріалом для фільтрації як традиційного, так і альтернативного палива.

Зіставлення економічних показників показало, що використання фторопластових фільтруючих елементів є економічно вигідним. Один фільтроелемент забезпечує тривалий ресурс роботи завдяки можливості

регенерації, що знижує витрати на очищення палива в 2–3 рази порівняно з паперовими фільтрами.

Таким чином, фторопластові матеріали є перспективним рішенням для машинобудування. Їх висока ефективність, довговічність і економічність роблять їх ідеальним вибором для фільтрації палива в умовах сучасних технологічних вимог. Впровадження таких матеріалів сприятиме підвищенню надійності та продуктивності техніки, що працює на біопаливі, і зменшить загальні експлуатаційні витрати.

ЛІТЕРАТУРА

1 Войтов В.А., Карнаух М.В, Калюжний О.Б., Даценко М.С. Дослідження особливостей фільтрації біодизеля через паперові фільтри тонкої очистки дизельних двигунів. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин, 2010, вип. 40, част. I, 282-286 с.

2 Kaliuzhnyi, O.B., Platkov, V.Y. The structure and properties of porous poly(tetrafluoroethylene). *J Polym Res* **29**, 32 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10965-022-02887-w>

Карпенко В.С., Автухов А.К.

Державний біотехнологічний університет

ВІДНОВЛЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОЇ СТАЛІ ПІСЛЯ ПРОЦЕСУ ЛАЗЕРНОГО РІЗАННЯ

Швидке виготовлення деталей з рулонної електротехнічної сталі є особливо актуальним у сучасному виробництві, де важлива оперативність при виготовленні дрібних партій або одиничних зразків електричних апаратів, трансформаторів чи електродвигунів. Традиційні методи, такі як холодне штампування, потребують тривалого проектування і виготовлення штампів, що ускладнює та уповільнює процес виготовлення. При внесенні змін у конструкторську документацію виникає необхідність модифікації штампу, що вимагає додаткових випробувань і налаштувань.

Розвиток технологій лазерного різання значно спростив виготовлення одиничних зразків, особливо для матеріалів, таких як електротехнічна сталь типів 2212, 3111, 3404. Однак, попри точність лазерного різання, виникають питання подальшої обробки деталей, пов'язані з вимогами до електротехнічних параметрів матеріалу, включно з магнітними та ізоляційними властивостями. Особливу увагу слід приділяти вибору оптимальних режимів різання та відпалу для збереження магнітної проникності, зниження втрат на вихрові струми та відновлення ізоляційних характеристик сталі.

Таким чином розробка ефективної технології лазерної порізки рулонної електротехнічної сталі з урахуванням особливостей її подальшої обробки є актуальною задачею. В роботі було досліджено вплив режимів лазерного різання на геометричні, механічні та магнітні характеристики сталі, а також розроблено

рекомендації щодо оптимальних умов відпалу для відновлення магнітних властивостей і збереження ізоляційного шару.

Процес лазерної порізки тонких листів електротехнічної сталі краще виконувати волоконним лазером, який найкраще підходять через високу точність і мінімальний термічний вплив. Зазвичай достатньо лазера потужністю 1-2 кВт. Швидкість різання 5-15 метрів на хвилину. При різанні необхідно мінімізувати зони термічного впливу шляхом зменшення площі нагрівання для уникнення пошкодження магнітних властивостей сталі та використовуючи імпульсний режим лазера чи високошвидкісний безперервний режим. Застосування газового охолодження азотом, киснем або стисненим повітрям під час різання, додатково дозволяє швидше охолоджувати матеріал і зменшувати ризик деформації. В якості допоміжного газу найкраще використовувати Азот, який створює інертне середовище, забезпечує чистий край без окислення та є оптимальним для збереження ізоляційного покриття. Точка фокусування променя лазера повинна бути трохи нижче поверхні матеріалу для кращої якості краю.

Після різання лазером, необхідно здійснити процес відпалу. Це необхідно через те, що лазерна порізка супроводжується локальним нагріванням матеріалу, що може створювати термічні напруги у зоні різі. Ці напруги можуть знижувати магнітні властивості матеріалу, зокрема магнітну проникність. Лазерне різання може призводити до утворення оксидного шару у зоні різі, що погіршує ізоляційні властивості сталі. Відпал дозволяє знизити внутрішні напруги, спричинені нагріванням і швидким охолодженням. Під час відпалу відбувається рекристалізація [1], що сприяє поліпшенню структури зерен, формуванню однорідної структури з великою анізотропією, необхідною для повернення матеріалу початкових магнітних характеристик в частині магнітної проникності та втрат на вихрові струми. Якщо ізоляційний шар пошкоджений, відпал може частково його відновити або підготувати поверхню до нанесення нового покриття.

Відпал електротехнічної сталі проводиться при температурі 600–850°C залежно від типу сталі і необхідного результату. Тривалість відпалу **1–3 години** в залежності від товщини матеріалу і ступеня пошкоджень, отриманих під час лазерної порізки. Відпал проводиться у контрольованій атмосфері аргону або у вакуумі, щоб уникнути додаткового окислення поверхні. Повільне контрольоване охолодження проводиться в печі, що запобігає появі нових напружень.

Якщо лазерне різання виконане дуже точно і з мінімальним термічним впливом, а також використовується високоякісна сталь з додатковим захисним покриттям, відпал може бути не обов'язковим. Це залежить від вимог до кінцевих характеристик виробу.

Перед використанням процесу лазерної порізки для нових типів електротехнічної сталі, слід виконати пробні різі та провести пробний відпал деталей з наступними контролем параметрів [2]. Це дасть можливість визначити оптимальні режими, особливо для матеріалів з чутливим покриттям. Бажано

використовувати обладнання з автоматичним контролем температури та атмосфери для досягнення стабільних результатів. Особливу увагу слід приділити захисному покриттю. Якщо покриття було зруйновано і немає можливості нанести новий ізоляційний шар (лак чи полімер), слід скоригувати режим відпалу.

Впровадження рекомендованих технологічних режимів під час різання і подальшого відпалу забезпечує підвищення якості готових деталей, скорочення виробничого циклу та зменшення витрат на додаткову обробку.

ЛИТЕРАТУРА

1 Gubanov, O.M., Burba, V.S. On the Issue of Recrystallization Annealing of Dynamo Steel. Steel Transl. 53, 851–857 (2023). <https://doi.org/10.3103/S0967091223100091>

2 Автухов А. К., Пушкар Б. П. Особливості діяльності лабораторій вхідного контролю якості деталей вузлів і агрегатів на сервісних підприємствах агропромислового комплексу. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасна інженерія агропромислових і харчових виробництв»; Харків: ДБТУ, 2022. С. 311-313.

Кисилевська А.Ю., Завгородній В.В.
Національний університет «Одеська політехніка»

ОЦІНКА ВІДПОВІДНОСТІ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ АВТОМОБІЛЕЙ З КРАНОВО-МАНІПУЛЯТОРНОЮ УСТАНОВКОЮ

Сьогодні розвиток транспортної інфраструктури стимулює впровадження інноваційних технічних рішень у виробництво. Широко застосовуються багатофункціональні машини, які замінюють кілька окремих механізмів, зокрема сучасні автомобільні крани-маніпулятори. Їх використовують на об'єктах підвищеної небезпеки, тому експлуатація має відповідати нормативним вимогам.

Перевірка та тестування обладнання необхідні для забезпечення безпеки працівників і учасників дорожнього руху. Неналежно перевірений кран-маніпулятор створює ризики як на робочому майданчику, так і під час його транспортування.

Автомобільний кран-маніпулятор – це вантажопідйомна машина, що складається з автомобільного шасі та краново-маніпуляторної установки. В Україні щодо кранів-маніпуляторів діє стандарт ДСТУ EN 12999:2021, який регламентує проектування, розрахунки, випробування та монтаж гідравлічних кранів на транспортних засобах або стаціонарних фундаментах.

Технічний стан кранів оцінюють для перевірки відповідності вимогам щодо безпеки, цілісності конструкції тощо. Є два види оцінки технічного стану кранів: оцінка відповідності та експертне обстеження.

Оцінку відповідності кранів-маніпуляторів вимогам ТР [1, 2] та [3] (виготовлених до 01.01.2012 р.), окрім випробувальних лабораторій, виконують органи з інспектування (ОІ), акредитовані на відповідність ДСТУ EN ISO/IEC

17020:2019. Мінімумально два технічні експерти в штаті ОІ повинні бути сертифіковані з кожного напрямку діяльності. Під час експлуатації кранів-маніпуляторів керуються також інструкціями з експлуатації, настановами, інструкції з охорони праці та ін.

Експертне обстеження кранів-маніпуляторів проводиться для перевірки їх відповідності вимогам, зазначеним у паспорті та технічній документації. Це включає оцінку цілісності конструкції та безпеки експлуатації. За результатами обстеження визначають необхідність ремонту або технічного обслуговування.

Експертне обстеження проводиться у таких випадках:

- після закінчення граничного терміну експлуатації;
- перед модернізацією або реконструкцією;
- після аварій чи пошкоджень;
- у разі виявлення дефектів, що перевищують допустимі норми;
- за ініціативою власника або за інших необхідних умов.

Для оцінки стану використовують методи неруйнівного контролю: візуальний огляд, магнітопорошкову дефектоскопію, ультразвуковий контроль та аналіз напружено-деформованого стану металоконструкцій.

Обстеження здійснюють експертно-технічні центри Держпраці України або незалежні організації, акредитовані для інспекційної діяльності.

Під час повного технічного огляду перевіряють весь кран і проводять статичні та динамічні випробування за участю представників органів охорони праці. Частковий огляд включає перевірку окремих елементів та механізмів, що здійснюється щороку відповідальною особою.

Оскільки кран-маніпулятор є учасником дорожнього руху, його базова конструкція – вантажний автомобіль, яким керує водій-кранівник. Отже під час пересування дорогами спецтехніка повинна відповідати правилам дорожнього руху для забезпечення безпеки всіх учасників.

ЛІТЕРАТУРА

1 Про технічні регламенти та оцінку відповідності: Закон України. – Відомості Верховної Ради (ВВР). – 2015. – № 14. – С. 96.

2 Технічний регламент безпеки машин: постанова КМУ від 31.01.2013 р. № 62. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/62-2013-%D0%BF>

3 Про затвердження правил охорони праці під час експлуатації вантажопідіймальних кранів, підіймальних пристроїв і відповідного обладнання (НПАОП 0.00-1.80-18): наказ Мінсоцполітики України від 19.01.2018 р. № 62. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0244-18>.

4 Порядок проведення огляду, випробування та експертного обстеження (технічного діагностування) машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки (НПАОП 0.00-7.10-07): постанова КМУ від 26.05.2004 № 687. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/687-2004-%D0%BF>.

5 Про затвердження Порядку видачі дозволів на виконання робіт підвищеної небезпеки та на експлуатацію (застосування) машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки: постанова КМУ від 25.10.2011 р. № 1107. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/48-2018-%D0%BF#n13>.

6 Про затвердження Вимог до експертних організацій, які мають намір виконувати (виконують) експертизу стану охорони праці та безпеки промислового виробництва: наказ

*Клименко С.А., Манохін А.С., Клименко С.Ан.,
Мельнійчук Ю.О., Чумак О.А., Конєйкіна М.Ю.*
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України

ЗАЛИШКОВІ НАПРУЖЕННЯ В ПОКРИТТЯХ НА ЗРАЗКАХ ІЗ ПКНБ

Одним із перспективних методів підвищення стійкості різальних інструментів, у тому числі, оснащених полікристалічними надтвердими матеріалами на основі кубічного нітриду бору (ПКНБ), є нанесення на їх поверхні покриттів. Для інструментів із ПКНБ перспективним є метод PVD, який забезпечує формування покриттів з високими твердістю, ударною в'язкістю, зносостійкістю.

Процес нанесення покриттів супроводжується виникненням у них залишкових напружень σ_{res} , які можна розділити на дві складові – структурні та термічні. Структурні залишкові напруження, пов'язані із наявністю в покритті порушень кристалічної решітки по межах зерен або фаз, складають ~ 60-70 % від загальної величини напружень у шарі покриття [1]. Рівень термічних напружень визначається різницею в величині КТР матеріалів основи та покриття [2].

Величина та характер залишкових напружень визначають такі властивості покриттів, як твердість, втомна міцність та ударна в'язкість, міцність зчеплення з основою та ін., що впливає на працездатність різального інструменту з покриттям.

В ряді робіт, наприклад [3, 4], описані методи оцінки залишкових напружень. Недоліком використаних підходів є те, що вони базуються на оцінці напружень для заданих товстих покриттів, є середніми по шару покриття та не дозволяють визначити напружень на границі розділу покриття-основа. Крім того, отримані значення напружень стосуються покриттів, нанесених тільки на сталеву основу.

В цієї роботі дані щодо залишкових напружень в покриттях на сталевій та кремнієвій підкладках використано при визначенні як базові для встановлення напружень в покриттях на зразках з ПКНБ.

Визначення зв'язку між напруженнями в покритті та деформацією тонкої сталевій основи вирішувалось із застосуванням методу скінчених елементів при розв'язанні 2D задачі в постановці плоских деформації. На експериментальні зразки було нанесено покриття (TiNb)N. Покриття формувалося також на основі з кремнію і цей зразок був використаний для визначення товщини покриття.

З метою отримання можливості визначення залишкових напружень в певному діапазоні умов реального експерименту, проведено розрахунки варіюючи товщину покриття та величину напружень з використанням повного

факторного віртуального експерименту. Регресійний аналіз результатів модельного експерименту дозволив отримати лінійне рівняння, яке відображає вплив на деформацію як безпосередньо самих факторів, так і їх взаємодії.

Вирішуючи це рівняння при відомій величині прогину зразку з покриттям, отримано значення параметру $\sigma_r = -1554$ МПа. Величини напружень для поверхні покриття становлять $\sigma_x = \sigma_3 = -2157$ МПа, $\sigma_1 = 695$ МПа, $\sigma_2 = 0$ МПа. При деформації $\Delta y = -0,32$ мм максимальні значення складових напружень становлять $\sigma_x = -711,7$ МПа, $\sigma_1 = 669,2$ МПа, $\sigma_3 = -711,7$ МПа. Розрахунок залишкових температурних напружень, зумовлених виключно різницею КТР матеріалів основи та покриття [5], дає значення $\sigma_{res}^t = -678,9$ МПа.

Враховуючи, що сумарні деформація та напруження складаються з структурної та температурної складових – $\Delta y_{str} = \Delta y - \Delta y_t = -0,97 - (-0,32) = -0,65$ мм. Без урахування температурного фактору, при $\sigma_r = -1554$ МПа за даними розрахунку деформація становить $-0,65$ мм, а напруження на поверхні покриття при цьому дорівнюють $\sigma_x = \sigma_3 = -1145$, $\sigma_1 = 26$, $\sigma_2 = 0$ МПа. Дане значення відповідає максимальній величині структурної складової залишкових напружень σ_{res}^{str} на верхній границі покриття. З врахуванням того, що величина структурної складової σ_{res}^{str} не залежить від матеріалу основи, а також з використанням отриманих вище результатів, сумарні залишкові напруження $\sigma_x = \sigma_3$, на поверхні покриття, нанесеного на зразок із ПКНБ, становлять по результатам розрахунку -825 МПа, на площині розділу покриття-основа – 409 МПа, $\sigma_1 = 1014$ та 837 МПа, компонента σ_2 в обох випадках дорівнює нулю. З врахуванням положень теорії найбільших нормальних напружень можна зробити висновок, що величина еквівалентних напружень $\sigma_{екв} = \sigma_1 = 1014$ МПа, значно менше наведеної в [6] оцінки міцності покриття під час розтягування, яка становить $4,4$ ГПа. Тобто можна зробити висновок, що за результатами проведеної оцінки внутрішніх напружень технологічні параметри отримання покриття забезпечують безпечний рівень залишкових напружень у ньому. Для покриття (TiNb)N градієнт компоненти σ_x сумарних залишкових напружень становить ~ 400 МПа/мкм.

ЛІТЕРАТУРА:

- 1 Abadias G., Chason E., Keckes J., Sebastiani M., Thompson G.B., Barthel E., Martinu L. (2018). Review Article : Stress in thin films and coatings: Current status, challenges, and prospects. *J. of Vacuum Sci. and Technol. A : Vacuum, Surf. and Films.* 36(2). 020801.
- 2 Gonzalo O., Navas V.G., Coto B., Bengoetxea I., de Gopegi U.R. (2011). Influence of the Coating Residual Stresses on the Tool Wear. *Proc. Eng.* 19. 106–111.
- 3 Dobrzański L.A., Śliwa A., Kwaśn W. (2005). Employment of the finite element method for determining stresses in coatings obtained on high-speed steel with the PVD process. *J. of Mat. Proc. Technol.* 164–165. 1192–1196.
- 4 Patro S.S., Roy S. (2020). Investigation of effect of residual stress and interlayer in PVD multilayer TiAlN coating by finite element analysis. *Inter. J. of Comput. Mat. Sci. and Surf. Eng.* 9(3). 198–211.
- 5 Сорока О.Б., Копейкіна М.Ю., Антонюк В.С., Клименко С.А. (2007). Оцінка залишкових напружень в вакуум-плазмових покриттях. *Вісник ЖДТУ. Техн. науки.* № 3(42). 41–45.

6 Feng J., Qin Y., Liskiewicz T.W., Beake B.D., Wang S. (2021). Crack propagation of a thin hard coating under cyclic loading : Irreversible cohesive zone model. *Surf. and Coat. Technol.* 426. 127776.

Роботу виконано за фінансової підтримки Національного фонду досліджень України в рамках виконання проєкту «Створення композитів на основі кубічного нітриду бору із захисними наноструктурними покриттями, вивчення їх фізико-механічних та експлуатаційних властивостей в умовах формування виробів авіаційної техніки» (реєстраційний номер проєкту 2022.01/0046) (проєкт-переможець конкурсу «Наука для відбудови України у воєнний та повоєнний періоди»).

Коваленко Я.П., Євглевський С.С.
Державний університет «Житомирська політехніка»

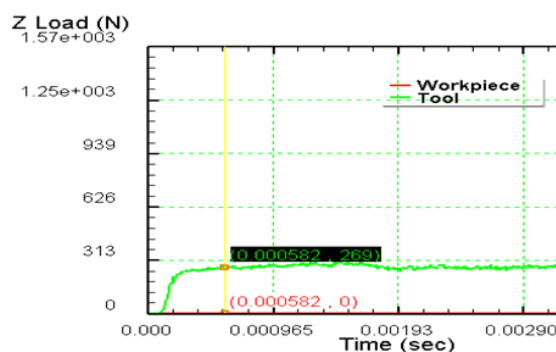
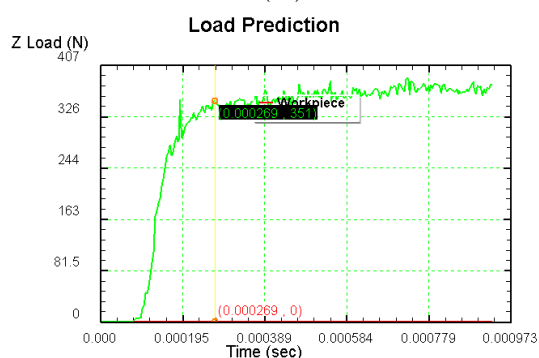
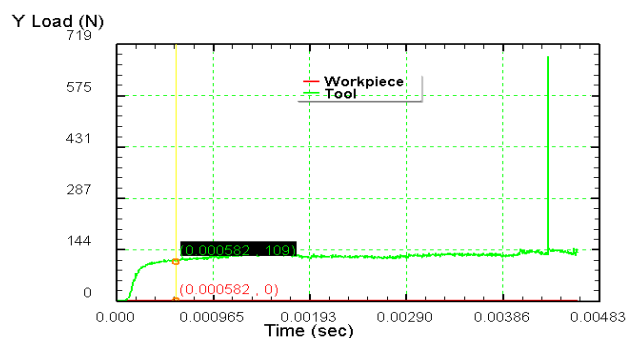
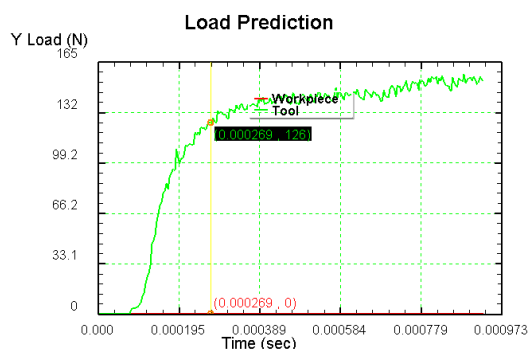
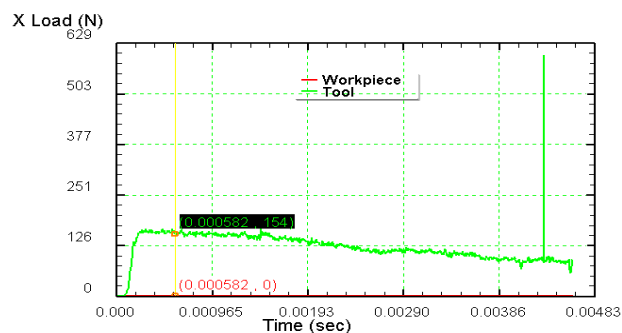
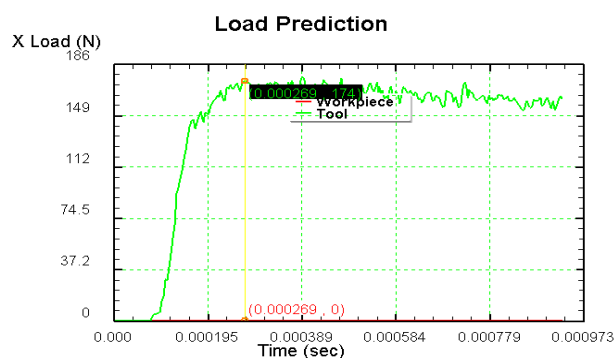
КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИЛОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ ТОРЦЕВОМУ ФРЕЗЕРУВАННІ ЗАГАРТОВАНИХ СТАЛЕЙ ІНСТРУМЕНТОМ, ЩО ОСНАЩЕНИЙ РІЖУЧИМИ ПЛАСТИНАМИ ІЗ ПКНБ БЕЗ ПОКРИТТІВ ТА З ПОКРИТТЯМ

Комп'ютерне моделювання процесів механічної обробки є важливою складовою у проведенні експериментальних досліджень з фіксування силових характеристик при торцевому фрезеруванні загартованих сталей інструментом, що оснащений ріжучими пластинами із полікристалічного кубічного нітриду бору (ПКНБ) без покриттів та зі зносостійкими покриттями. Моделювання дозволяє спрогнозувати поведінку оброблюваного матеріалу при різних умовах різання, проаналізувати силові характеристики безпосередньо до проведення лабораторних досліджень. Найпоширенішими програмними продуктами для виконання технічних задач в механічній інженерії на сьогоднішній день є Abaqus, AdvantEdge, Ansys, Deform тощо [1, 2].

Метою дослідження було моделювання процесу торцевого фрезерування в Deform-3D, зокрема визначення силових характеристик при обробці загартованої сталі інструментом, оснащеним ріжучими пластинами із ПКНБ, а також порівняння отриманих результатів при різанні пластиною CH3505 без покриття та CH3505 з покриттям TiAlN.

Умови проведення дослідження: симетричне фрезерування загартованої сталі 4X5МФС, швидкість різання – 120 м/хв, подача – 0,075 мм/зуб, глибина різання – 0,5 мм, інструмент – однозуба торцева фреза Seco Tools діаметром 63 мм, інструментальний матеріал – ПКНБ групи ВН. Значення складових сили різання та режими різання зображено в таблиці 1.

Отримані результати моделювання складових сили різання P_x , P_y , P_z при різанні двох типів ріжучих пластин CH3505 без покриття та CH3505 з покриттям TiAlN зображено в рис. 1.



а

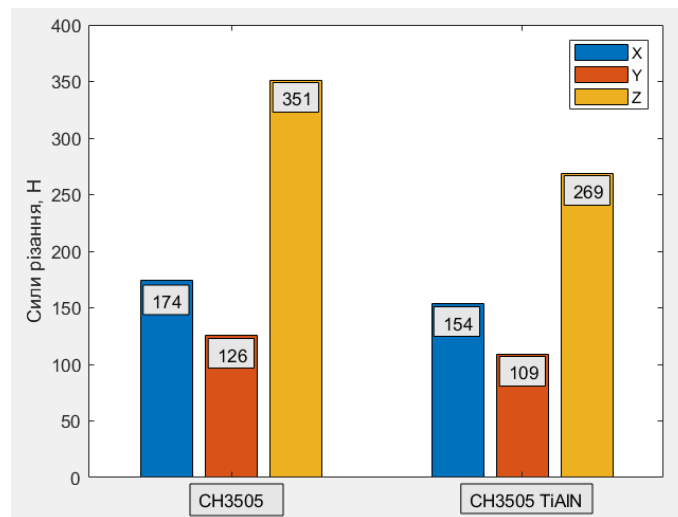
б

Рисунок 1 – Результати моделювання складових сили різання:
а – пластина CH3505; б – пластина CH3505 з покриттям TiAlN

Таблиця 1 – Значення складових сили різання та режими різання

Пластина	Швидкість різання, мм/хв	Подача, мм/зуб	Глибина різання, мм	Значення складових сили різання, Н		
				P_x	P_y	P_z
CH3505	120	0,075	0,5	174	126	351
CH3505 з покриттям TiAlN				154	109	269

На рисунку 2 показано результати порівняння отриманих складових сили різання, отриманих при комп'ютерному моделюванні силових характеристик процесу торцевого фрезерування загартованої сталі інструментом, оснащеним ріжучими пластинами із ПКНБ – CH3505 без покриття та CH3505 з покриттям TiAlN. При різанні ріжучою пластиною CH3505 без покриття отримані дані: P_x – 174, P_y – 126, P_z – 351, а при різанні пластиною CH3505 з покриттям TiAlN P_x – 154, P_y – 109, P_z – 269.



Риснок 2 – Отримані результати складових сили різання при комп'ютерному моделюванні процесу торцевого фрезерування інструментом із ПКНБ – CH3505 без покриття та CH3505 з покриттям TiAlN

З рисунку 2 видно, що в результаті порівняння отриманих складових сил різання при торцевому фрезеруванні загартованої сталі 4Х5МФС менші сили отримані при різанні ріжучою пластиною CH3505 з покриттям TiAlN (P_x – 154, P_y – 109, P_z – 269), що підтверджує доцільність використання ріжучих елементів інструменту з нанесеними зносостійкими покриттями. Застосування інструментів із ПКНБ з покриттями дозволяє фіксувати менші сили різання, ніж при використанні стандартних пластин, що в результаті знижує механічне навантаження на ріжучі інструменти і їх зношування, що сприяє довшому терміну служби.

ЛІТЕРАТУРА

- 1 Columbus, O.H., “DeformTM – 3D Machining (Turning) Lab”, Scientific Forming Technologies Corporation.
- 2 Ghorbani H., Moetakef-Imani B. Specific cutting force and cutting condition interaction modeling for round insert face milling operation. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2016. Vol. 84. Issue 5–8. P. 1705–1715. <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7985-2>
- 3 Мельничук П. П., Глембоцька Л. Є. Моделювання силових залежностей при торцевому фрезеруванні. Вісник Тернопільського державного технічного університету. 2008. № 3. С. 78–87.
- 4 Hlembotska L., Melnychuk P., Balytska N., Melnyk O. Modelling the loading of the nose-free cutting edges of face mill with a spiral-stepped arrangement of inserts. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. № 1/1 (91). 2018. Pp. 46–54. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.121712>.

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ СИСТЕМИ ПРОЦЕСУ КІНЦЕВОГО ФРЕЗУВАННЯ

Практика, що склалася при дослідженні процесів обробки різанням, полягає в тому, що сили різання завжди вимірюють різними по конструкції динамометрами [1]. Проте, всі конструкції динамометрів працюють за єдиним принципом: сила, що вимірюється, прямо пропорційна деформації пружного елемента, що має певну жорсткість, без урахування його маси.

Авторами запропоновано дослідження статичних та динамічних умов виникнення відхилень та коливань під час процесу кінцевого фрезерування без застосування динамометрів, використовуючи лише вимірювання законів переміщення пружних систем деталі та інструменту (фрези). Осередком збудження відхилень і коливань є зона різання, що замикає ці дві пружні системи.

При вивченні фізичних особливостей збудження коливань в пружній системі деталі та інструменту динамічний аналіз процесу кінцевого фрезерування доцільно розглядати для двох часових періодів.

- Для зубцевого періоду T_z , коли вплив швидкості обертання фрези можна розглядати як випадок неперіодичного збудження пружної системи за час різання лише одним зубом фрези.

- Для більш тривалого періоду часу, коли спостерігаються дії періодично збуджувальної сили від багатьох різів зубами фрези, які йдуть один за одним.

Фактичними даними для аналізу були результати експериментальних досліджень процесу кінцевого фрезерування за спеціальною методикою [2].

Аналіз осцилограм різання одним зубом показав, що зі збільшенням швидкості обертання фрези:

- на осцилограмах відхилення пружної системи деталі та фрези з'являються хвилі з частотою близькою до частоти власних коливань системи, амплітуда коливань яких збільшується;

- кількість хвиль на поверхні різання зменшується і на певних швидкостях їх довжина стає більшою, ніж довжина поверхні різання.

- при швидкостях обертання фрези $n = 3000$ об/хв і вище спостерігається вихід зуба фрези із зони різання (розрив контакту між деталлю та фрезою) у період різання.

ЛІТЕРАТУРА

1 Основы теории резания материалов : учебник / Н. П. Мазур [и др.] ; ред. Н. П. Мазур, А. И. Грабченко ; Нац. техн. ун-т «Харьков. политехн. ин-т». – 2-е изд., перераб. и доп. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2013. – 534 с.

2 Внуков Ю.Н., Дядя С.И., Козлова Е.Б., Логоминов В.А., Черновол Н.Н. Автоколебания при фрезеровании тонкостенных элементов деталей : Монография. – Запорожье: ЗНТУ, 2017. – 208 с.

ЕКОНОМІЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ВПРОВАДЖЕННЯ РІЗЦІВ ІЗ ГЕКСАНІТА-Р ПІД ЧАС ТОЧІННЯ ПОКРИТТІВ, НАПЛАВЛЕНИХ ПОРОШКОВИМИ ДРОТАМИ

Надтверді матеріали на основі нітриду бору знаходять нові області застосування, однією з яких є чистова обробка неоднорідних наплавлених матеріалів високої твердості. Однак, високі ціни на цей інструментальний матеріал стримують його широке впровадження, незважаючи на те, що він дозволяє підвищити продуктивність праці, забезпечити отримання необхідної якості обробки. Тому під час впровадження у виробництво цього інструментального матеріалу необхідно проводити розрахунки фінансових витрат, які можуть обґрунтувати його перевагу на тій чи іншій операції. Виходячи із цього, розроблено методику розрахунку фінансових витрат під час впровадження різців із надтвердого матеріалу на основі нітриду бору типу гексаніт-Р на операціях чистового точіння матеріалів, наплавлених порошковими дротами. Встановлено залежність основних витрат від швидкості різання та матеріалу наплавленого шару. Показано, що витрати на оплату праці робітника, обладнання, електроенергію та інструмент в основному залежать від технологічних параметрів процесу обробки, властивостей і неоднорідності зрізаного шару покриття. Технологічна собівартість обробки наплавлених матеріалів є основним критерієм працездатності інструментів з надтвердих матеріалів при впровадженні їх у ремонтне виробництво.

У результаті розрахунку обробки ряду покриттів з різним хімічним складом і різним ступенем однорідності встановлено вплив швидкості різання на технологічну собівартість обробки різцями із гексаніту-Р. Показано, що зі збільшенням швидкості різання технологічна собівартість різко знижується до швидкості різання 1,5...2,0 м/с. Подальше збільшення швидкості різання мало впливає на зменшення технологічної собівартості обробки. При цьому для кожного наплавленого матеріалу встановлено свій діапазон швидкостей різання, який навіть за таким оцінюванням продуктивності можна прийняти за оптимальний. Встановлено, що характер впливу швидкості різання, тобто продуктивності обробки, на фінансові витрати приблизно однаковий, але величина технологічної собівартості залежить від властивостей і неоднорідності покриття. Зі збільшенням твердості і неоднорідності покриття технологічна собівартість обробки знижується, але екстремуму, наприклад, зі зміною опору або траєкторії різання, на кривих не спостерігається. Встановлено, що оцінювання працездатності інструментів із надтвердих матеріалів під час чистового точіння покриттів за фінансовими витратами на обробку може точніше забезпечити їх раціональне використання. Так, під час обробки покриттів різцями із гексаніту-Р слід призначати більші швидкості різання, ніж вони визначаються в залежності від максимального опору для прийнятого

критерію зношування. Як випливає із табл. 1, для покриттів 1, 2 і 3 оптимальна швидкість різання може бути в межах 2,0...2,5 м/с, а для наплавлення 4, яка є з найбільшою неоднорідністю, великою твердістю та з великим вмістом вуглецю, оптимальна швидкість різання може бути в межах 1,5...1,75 м/с.

Таблиця 1 – Розрахункові значення витрат на обробку та технологічної собівартості обробки покриттів різцями із гексаніту-Р: умови обробки:

$t = 0,2$ мм; $S = 0,1$ мм/об; $h_3 = 0,6$ мм

Швидкість різання, V , м/с	Розрахункові витрати на обробку			
	Матеріал покриття			
	1 ПП-Нп- 250X10B8C2T	2 ПП-Нп- 30X5Г2СМ	3 ПП-Нп- 10X14Т	4 ПП-Нп- 25X5ФМС
	Заробітна плата робітника, грн.			
1	28125	25000	22656,25	20625
1,5	20312,5	17187,5	15468,75	12187,5
2	16406,25	13281,25	11250	10000
2,5	14062,5	11250	9218,75	7812,5
	Витрати на обладнання, грн.			
1	4389	3901,333	3535,583	3218,6
1,5	3169,833	2682,167	2413,95	1901,9
2	2560,25	2072,583	1755,6	1560,533
2,5	2194,5	1755,6	1438,617	1219,167
	Витрати на електроенергію, грн.			
1	2730	2403,333	2158,333	1904
1,5	1913,333	1586,667	1396,5	1190
2	1505	1178,333	1029	898,3333
2,5	1281	966	827,1667	732,6667
	Витрати на інструмент з гексаніту-Р, грн.			
1	19736,8	14583,3	9014,42	6328,1
1,5	13569,1	8789,1	5223,2	3860,3
2	13281,25	7617,2	4531,2	2929,7
2,5	16875,0	8125,0	4791,7	3028,8
	Технологічна собівартість обробки, грн			
1,0	51033,47	42971,33	35561,71	30810,1
1,5	36250,93	28487,58	23457,77	18367,64
2,0	31096,5	22625,92	17659,6	14802,62
2,5	31038,0	20471,6	15317,87	12187,41

Всі розрахунки витрат від різних величин і матеріалу покриття виконані відповідно до розробленої програми на комп'ютері в програмному середовищі MatLab.

ПРОГРАМА ДІАГНОСТУВАННЯ ТА НАЛАШТУВАННЯ ДРУКАРСЬКИХ МАШИН

Складність діагностики полягає в тому, що один і той же дефект друку може бути викликаний як технічними несправностями самої друкарської машини і недоліками її передпускової наладки, так і відхиленнями в ході підготовки до друку та самого друку, а також відхиленнями якості матеріалів, що використовуються.

Тому пошук і усунення окремих причин дефектів друкарської продукції іноді займає багато часу і сил, особливо якщо ведеться безсистемно.

Метою методики діагностики дефектів офсетної машини є розробка логічно побудованого ланцюжка дій, що дозволяє за відносно короткий час і з мінімальними втратами, а головне з кількісними оцінками кожного етапу виявити і звести до мінімуму негативні чинники, що впливають на якість друку.

Діагностична програма має містити чотири основні етапи:

Передпускова діагностика друкарської машини, що включає: перевірку вузлів друкарської машини на відповідність паспортним даним; перевірку якості матеріалів, що використовуються, включаючи контроль виготовлення друкарської тест-форми; наладку вузлів друкарської машини для приведення її в робочий стан; тестування вузлів машини з метою виявлення технічних несправностей.

Налаштування друкарської машини і оперативний контроль якості відбитків згідно вимогам технологічної інструкції.

Технологічні випробування друкарської машини, включаючи друк тиражу зі спеціальної тест-форми, відбір контрольних відбитків, а також вимірювання у відповідності з програмою випробувань.

Діагностика друкарської машини по технологічних показниках, включаючи: комп'ютерну обробку результатів вимірювань; видачу висновку (протоколів) про технологічну ефективність друкарської машини по критеріях стабільності.

Пропонована програма дозволяє поетапно виявити і усунути технічні несправності друкарської машини та відхилення якості друку. Проходження кожного етапу реєструється у формі діагностичної карти. Перехід до наступного етапу відбувається тільки за умови отримання позитивного результату на попередньому етапі. Якщо такий відсутній, то повинні бути вжиті своєчасно належні заходи. Остаточні підсумки оформляються протоколом діагностики друкарської машини.

Тому в даній методиці пропонується системний підхід до процедур перевірки, наладки і технологічних випробувань друкарських машин.

ЛІТЕРАТУРА

- 1 Зенкін, М.А., Кохановський, В.О., Іванко, А.І. Комп'ютеризовані поліграфічні системи: аналіз ефективності та практичного застосування. (2024). Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences, 331(1), с. 297-304. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-331-45>
- 2 Зенкін, М.А., Іванко, А.І., Кохановський, В. О. (2023). Тенденції та майбутнє комп'ютеризованих поліграфічних систем: прогноз розвитку технологій та їх застосування у поліграфічному виробництві. Technology Audit and Production Reserves, 5(1(73)), с. 12–19. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.290273>
- 3 Kokhanovskyi V.O., Zorenko O.V., Khokhlova R.A. Factors that Determine the Need of the Printing Enterprise in Basic Technological Equipment // Технологія і техніка друкарства. К.: НН ВПІ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. № 1(79). – с. 71-76. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.1\(79\).2023.278136](https://doi.org/10.20535/2077-7264.1(79).2023.278136)
- 4 Кохановський, В.О. Методика збору та обробки експлуатаційної інформації для визначення показників надійності поліграфічних машин // Технологія і техніка друкарства. К.: ВПІ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2013. № 3 (41). – с. 37–43.
- 5 Кохановський, В.О. Теоретичні питання надійності електротехнічних комутуючих пристроїв поліграфічних машин // Технологія і техніка друкарства. К.: ВПІ НТУУ «КПІ», 2008. № 1 (19). – с. 105-109.

Кохановський В.О., Семеніщева А.Д.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ПЕРЕВАГИ ЗАСТОСУВАННЯ МАШИН ЦИФРОВОГО ДРУКУ В СУЧАСНИХ УМОВАХ

Цифровий друк не стоїть на місці та швидко розвивається. Дослідження показали як впливає інтернет на поліграфію – відбувається інтенсивний розвиток цифрових технологій. Попит на поліграфічні послуги в останні роки знизився, через вплив цифрової комунікації. Не дивлячись на це, поліграфія має велике майбутнє, але при умові, що ця галузь адаптує свої продукти та послуги до сучасних потреб, які стрімко змінюються. Технологічний прогрес зменшує попит на традиційні способи друку і створює нові можливості для цифрового друку. Відбувається зміна методів комунікації торгових брендів та споживачів. Впроваджують багатоканальні технології, які можуть зробити поліграфічну галузь ключовим інструментом. Тенденції вказують на те, що у 50% типографій падають об'єми традиційного друку, а 38% заявили, що 25% їх прибутку – цифровий друк. [1-3]

Основними перевагами цифрового друку є будова машини та простота процесів. Менше електроніки, нагрівальних елементів, валів і привідних ременів в порівнянні з офсетними машинами. Конструкція машин вдосконалюється, замість традиційного рішення з самонакладом і виведення задрукованих аркушів в стопу, виробники цифрових машин HP, Xeikon запропонували машини для двостороннього друку з рулону шириною до 762 мм і щільністю 40-350 г/м². Такі

машини можуть бути інтегровані з обладнанням, яке здійснює операції фальцювання, різання, перфорацію, бігування, вкладання та ін. [4, 5]

Серед нових розробок в сфері конструювання цифрової друкарської техніки заслуговують уваги нові системи охолодження від фірми Ricoh, які дозволяють друкувати великі тиражі без перегрівання елементів машини. Тонер і папір можна додавати без зупинки процесу, завдяки цьому швидкість збільшується до 110 стор./хв. [6]

Машина Xerox Versant 80 Press дозволяє використовувати більш широкий діапазон дизайнерських матеріалів, в тому числі металізований картон, а також збільшити продуктивність роботи без втрати швидкості друку на щільних матеріалах. [7]

Проаналізувавши сучасні цифрові технології друку можна виділити ряд переваг в порівнянні з іншими технологіями.

Можна роздруковувати пробні варіанти продукції, щоб переконатися в чіткості малюнка, яскравості фарб і правильному дизайні. При необхідності можна своєчасно внести зміни. Вдалося вирішити проблему точної синхронізації кольору між секціями – на машині HP Indigo стоїть спеціальний сканер, який сканує відбитки і синхронізує колір, що заданий в зразку. Такий підхід дозволяє забезпечити абсолютно точну фарбовість не тільки між двома друкарськими секціями, а і між різними машинами, чого не можливо досягти при традиційних видах друку.

Відсутність додрукарської підготовки, завдяки чому процес стає не тільки дешевшим, але і швидшим. Знижується ризик втрати чіткості зображення. Економія часу та матеріалів на приладці, так як в інших способах друку використовується на це багато паперу та фарби. Можливість вносити корективи в макет та персоніфікувати дані, чого не можна зробити при інших способах, так як після виготовлення форми змінити її неможливо.

Висока якість зображення. Відбитки характеризуються бездоганними лініями, точною передачею кольору, відсутністю накладення елементів зображення. В сучасних машинах є можливість праймерування в лінію з друком. Праймер – це спеціальний розчин, який наноситься на складні матеріали і покращує адгезію.

Рентабельність цифрового друку при малих тиражах. Можна виготовляти великі партії, а можна обмежитися одним примірником продукції.

Підвищилася швидкість та продуктивність цього виду друку, які раніше значно поступалась традиційним видам. Також нові цифрові технології дозволили задруковувати матеріали, які до цього виготовлялися виключно спеціальними видами друку.

Перехід на цифрові технології потребують перегляду комерційного підходу і концепції розвитку поліграфічних підприємств, які можуть бути створені на основі нового автоматизованого і інтегрованого виробництва.

ЛІТЕРАТУРА

1 Three Print Industry Focus Points 2023. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://blog.drupa.com/en/three-print-industry-focus-points-2023/>

2 Kokhanovskyi V.O., Zorenko O.V., Khokhlova R.A. Factors that Determine the Need of the Printing Enterprise in Basic Technological Equipment // Технологія і техніка друкарства. К.: НН ВПІ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. № 1(79). – с. 71-76. [https://doi.org/10.20535/2077-7264.1\(79\).2023.278136](https://doi.org/10.20535/2077-7264.1(79).2023.278136)

3 Digital Commercial Printing at Mid-Drupa Cycle: Where are we now?[Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://printfuture.com/print-tribe/digital-commercial-printing-at-mid-drupa-cycle-where-are-we-now/>

4 <http://www.hp.com/us/en/hp-news/press-kit.html>.

5 <https://www.xeikon.com/en/folding-carton-presses>.

6 <https://www.ricoh-europe.com/products/production-printers/cut-sheet-printers/index.html>.

7 <https://www.xerox.com/digital-printing/digital-printing-press/color-printing/xerox-versant-80/enus.html>.

Кравцова Д. Ю., Нечаєв В.П.

Криворізький національний університет

Володченков Д.М.

АТ «Південний гірничо-збагачувальний комбінат»

АУКСЕТИКИ ЯК ПЕРСПЕКТИВНИЙ МЕТАМАТЕРІАЛ ДЛЯ ВІБРОДЕМПФУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

Міра зміни поперечних розмірів ізотропного тіла при деформації розтягу називається коефіцієнт Пуассона. Його значення лежить в межах від - 1 до 0,5, де 0,5 присвоюють для абсолютно нестискуваного тіла (наприклад, води). Для більшості матеріалів коефіцієнт Пуассона лежить в межах від 0 до 1,5. Наприклад, для сталі й інших металів він близький до 0,3.

Коефіцієнт Пуассона може бути від'ємним. Тоді при розтягу поперечні розміри тіла збільшуються. Матеріали з такими властивостями отримали назву ауксетики. Також їм притаманні інші екстремальні властивості, такі як негативна стисливість, негативна жорсткість, вищий опір вдавлюванню, опір зсуву, поглинання енергії, твердість і в'язкість до руйнування, тощо. Наразі ауксетичні матеріали застосовувалися в багатьох нових сферах промисловості, включаючи м'яку робототехніку, біомедицину, м'яку електроніку та акустику.

Механічні метаматеріали застосовуються для вирішення проблем вібрації та шуму в техніці. У статті [1] пропонується хіральний композитний механічний метаматеріал у формі зірки, який поєднує структуру хіральної решітки та соти у формі зірки. Досліджено механізм генерації забороненої зони вібраційних частот та вплив структурних параметрів для отримання низькочастотної забороненої зони однофазними матеріалами. На цій основі досліджено вплив кута зірки на генерацію забороненої зони та зміну режиму коливань структури під час генерації забороненої зони. Крім того, досліджено фазову та групову швидкості пружних хвиль у хіральному зіркоподібному композиційному механічному метаматеріалі. Також, розраховується частотна характеристика пружної хвилі, що поширюється в структурі, і результат узгоджується із зонною діаграмою.

Таким чином, метод проектування композитного механічного метаматеріалу може ефективно реалізувати покращення властивостей демпфування і зменшити затухання пружних хвиль, і це забезпечує нову ідею дизайну для проектування метаматеріалу з метою зменшення вібрації та шуму.

У роботі [2] розглянуто кілька видів метаматеріалів здатних поглинати вібрації у різних діапазонах частот. Розглянуто спроектовані теоретично та/або створені реально метаматеріали. Серед них пасивні: метаматеріали, що демпфують вібрації, за рахунок властивостей тонких плівок, спеціальної мікроструктурної будови, квазінульової жорсткості, тощо. Активні метаматеріали гасять вібрації із використанням п'єзоелектричного шунта з резонансними контурами для отримання регульованих смуг зупинки шляхом зміни еквівалентної динамічної жорсткості, використання електромагнітного зв'язку для контролю дисперсії хвилі в акустичній взаємодії, налаштування смуги зупинки зміною спрямованості поширення хвилі, використання негативних опорів разом із п'єзоелектричним ланцюгом для розробки керованої елементарної комірки та багато іншого.

Усі розглянуті метаматеріали у більшій або меншій мірі перспективні для застосування у великогабаритних машинах, які живляться від електроприводу. У подальших дослідженнях планується розглянути тільки реально створені матеріали макроскопічного масштабу із метою експериментального дослідження ефективності їх у промислових установках.

ЛІТЕРАТУРА

1 Zhang, Y., Wang, L., Ding, Q., Han, H., Xu, J., Yan, H., ... Gao, H. (2022). Low-frequency property and vibration reduction design of chiral star-shaped composite mechanical metamaterials. *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, 30(18), 3749–3763. <https://doi.org/10.1080/15376494.2022.2081751>

2 Dalela, S., Balaji, P. S., & Jena, D. P. (2022). A review on application of mechanical metamaterials for vibration control. *Mechanics of advanced materials and structures*, 29(22), 3237-3262. <https://doi.org/10.1080/15376494.2021.1892244>

Кравченко О.С., Ляшенко В.М.
Харківський національний економічний університет
імені Семена Кузнеця

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ФІЗКУЛЬТУРНО-ОЗДОРОВЧІЙ ДІЯЛЬНОСТІ

Вступ. Цифрові технології, такі як переносні пристрої, веб-сайти та мобільні додатки, все частіше використовуються у фізкультурно-оздоровчій діяльності. Розширення доступу до таких технологій робить привабливою перспективу стати більш активними та здоровими. Однак відомо небагато про їхню ефективність у фізично-оздоровчій діяльності. Адже спорт – це змагання за певними правилами, яку здійснюють з метою змагання, а також поліпшення

здоров'я, отримання морального і матеріального задоволення, з прагненням до саморозвитку, удосконалення і слави, покращення навичок. Крім власне змагань, складовою спорту є підготовка до них – тренування й тренування [1].

Мета роботи: дослідити вплив ефективності цифрових технологій на фізично-оздоровчу діяльність для сприяння у формуванні здорового способу життя, культури здоров'я та особистості людини.

Методи дослідження: теоретичний аналіз і узагальнення наукової та методичної літератури.

Використовували стратегію систематичного пошуку для визначення відповідних літературних джерел з MEDLINE, Embase, PsycINFO, Web of Science, Scopus опублікованих з січня 2020 року по листопад 2024 року. Рандомізовані контрольовані дослідження з використанням цифрових технологій як основного інструменту втручання у фізкультурно-оздоровчу діяльність. Інструмент Risk of Bias версія 2. теоретичний аналіз і узагальнення наукової та методичної літератури.

Виклад основного матеріалу. Фізична активність має багато переваг для здоров'я і є економічно ефективним засобом охорони здоров'я та зменшення вірогідності неінфекційних захворювань. Про це повідомляє Всесвітня організація охорони здоров'я підвищення рівня фізичної активності в усьому світі може запобігти п'яти мільйонам передчасних смертей на рік [2]. Відсутність фізичної активності коштує системам охорони здоров'я по всьому світу п'ятдесят чотири мільярди доларів, з яких близько 80 % припадає на країни з високим рівнем доходу [3].

Швидке зростання кількості та витонченості цифрових технологій, таких як: веб-сайти, мобільні пристрої, програми для смартфонів і телемедицини представлені як економічно ефективні платформи для сприяння зміни поведінки та поліпшення здоров'я [4]. Доступ до таких технологій зростає по всьому світу завдяки проникненню Інтернету і досягає 95 % у найрозвиненіших країнах та 60 % у всьому світі. Дійсно, у США та Великобританії понад 90 % дорослих володіють смартфонами [5]. Цифрові технології дозволяють дослідникам і клініцистам розробити дистанційне втручання, яке базується на поведінковій теорії, яка може включати ряд потенційно корисних методів зміни поведінки [6] і може бути пристосована для задоволення конкретних потреб конкретної особи чи групи населення [7]. Відповідно, цифрові технології можуть досить сильно впливати на здоров'я погіршуючи його або покращуючи залежно від їх застосування. На сьогоднішній день серед основних напрямків використання цифрових технологій у спорті можна виділити такі: професійні, аматорські, рекламно-візуалізаційні. Хоча чіткою межі між ними немає.

Системи спостереження за спортсменом під час тренування (наприклад, Polar Team 2 та ін.) призначені для проведення якісного тренувального процесу та допомагають тренеру контролювати, аналізувати, планувати та прогнозувати майбутні результати спортсмена на змаганнях. Діагностична апаратура дозволяє керувати станом спортсмена під час тренувань. На практиці активно застосовують відеозаписувальні пристрої, які дозволяють багаторазово

відтворювати зображення рухів спортсмена, для подальшого аналізу та коригування тренувань та його техніки. Широке застосування набули тензометричні пристрої, що реєструють опорну реакцію при виконанні різних вправ, розроблені портативні пристрої, які проводять дослідження у реальному часі, як під час тренувань, так і у змагальних випробуваннях. Останнім часом активно використовують автоматизовані системи контролю дій спортсмена у командних видах спорту. Усі дані зібрані за допомогою діагностичної апаратури дозволяють оптимізувати діяльність спортсменів, дозволяючи підібрати найкращі засоби та методи відновлення та підвищення спортивної працездатності.

Використання цифрових технологій у спортивному екіпіруванні продиктовано тим, що професійний спорт потребує особливого взуття та одягу. Найбільших успіхів у цьому напрямі досягли такі компанії як Vibram, Nike, Adidas, Radiate Athletics, Speedo LZR Racer. Розробка моделей для конкретних видів спорту, таких як теніс, баскетбол або біг, ведеться у спеціалізованих лабораторіях, де кожне технологічне рішення ретельно перевіряється дослідним шляхом. В даний час ставку роблять не тільки на ортопедичні та динамічні властивості взуття, але й на системи обліку індивідуальних показників. Кросівки з сенсорами – повсякденна дійсність професійних спортсменів. Сенсори фіксують вагу, розподіл тиску та параметри руху. Інформація збирається та аналізується за допомогою спеціального програмного забезпечення. Зібрані дані можуть використовуватись для фіксації прогресу результатів спортсмена або планування зростання результатів. Індустрія спортивного взуття однією з перших взяла на озброєння персональні фізичні сенсори активності, створивши моделі професійним спортсменам [8].

Крім того, в сучасному світі стали дуже популярні кросівки з подошвою, яка світиться. Перші такі кросівки створили компанія Найк (Nike Mag) з використанням світлонакопичувальних елементів, а не LED підсвічування. Світилися вони у темряві, а енергію накопичували у світлий час доби від сонця. Через деякий час з'явилися моделі нового покоління з LED-підсвічуванням. Яскравим прикладом використання цифрових технологій у спортивному інвентарі є «розумний» футбольний м'яч adidas MiCoach та «розумні» гантелі (C-Ring Dumbbells) [2]. М'яч допомагає у відпрацюванні техніки ударів та потужності, у вдосконаленні точності згинів та передач. Це стало можливо завдяки тому, що всередині м'яча встановлені датчики, які як раз і визначають всі перераховані вище параметри, а потім по каналу Bluetooth передають їх на комп'ютер чи смартфон. Потім можна подивитися траєкторію, силу удару та багато іншого. «Розумні» гантелі (C-Ring Dumbbells) можуть самі підрахувати кількість спалених під час тренування калорій, та, залежно від показника, світяться різними кольорами (зеленим, жовтим або червоним). При цьому цифрові технології дозволяють грамотно організувати процес тренування, розподіляючи навантаження відповідно до світлових показань, а не піддаючись на обманні відчуття організму.

Висновки. Сучасний спортивний світ стає все більш схильним до цифрових технологій, які не стоять на місці. Цифровий спорт, що базується на спеціалізованих технічних засобах вимірювання, забезпечує не тільки безпечний раціональний тренувальний процес та й об'єктивне суддівство, а також розширює коло людей залучених у здоровий спосіб життя.

ЛІТЕРАТУРА

- 1 M. Mitchell and L. Kan, «Digital technology and the future of health systems», Health Systems & Reform, vol. 5, no. 2, pp. 113–120, 2019.
- 2 S. Sayani, M. Muzammil, and K. Saleh, «Addressing cost and time barriers in chronic disease management through telemedicine: an exploratory research in select low-and middle-income countries», Therapeutic Advances in Chronic Disease, vol. 10, 2019.
- 3 C. E. J. Sandberg, S. R. Knight, A. U. Qureshi, and S. Pathak, «Using telemedicine to diagnose surgical site infections in low- and middle-income countries: systematic review», Jmir Mhealth and Uhealth, vol. 7, no. 8, article e13309, 2019.
- 4 J. E. Kohler, R. A. Falcone, and M. E. Fallat, «Rural health, telemedicine and access for pediatric surgery», Current Opinion in Pediatrics, vol. 31, no. 3, pp. 391–398, 2019.
- 5 L. Lapointe, M. H. Lavalley-Bourget, A. Pichard-Jolicoeur, C. Turgeon-Pelchat, and R. Fleet, «Impact of telemedicine on diagnosis, clinical management and outcomes in rural trauma patients: a rapid review», Canadian Journal of Rural Medicine, vol. 25, no. 1, pp. 31–40, 2020.
- 6 J. X. He, S. L. Baxter, J. Xu, J. M. Xu, X. T. Zhou, and K. Zhang, «The practical implementation of artificial intelligence technologies in medicine», Nature Medicine, vol. 25, no. 1, pp. 30–36, 2019.
- 7 D. C. Angus, «Randomized clinical trials of artificial intelligence», Jama-Journal of the American Medical Association., vol. 323, no. 11, pp. 1043–1045, 2020.
- 8 L. J. Chen, P. P. Chen, and Z. J. Lin, «Artificial intelligence in education: a review», Ieee Access, vol. 8, pp. 75264–75278, 2020.

Крайнюк М.Ю., Щербак О.В.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

МЕТРОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ШУМУ В ДОРОЖНЬО-БУДІВЕЛЬНІЙ ТЕХНІЦІ

Шумове забруднення є однією з важливих екологічних проблем, особливо в умовах інтенсивної експлуатації дорожньо-будівельної техніки [1]. Постійний вплив високих рівнів шуму негативно впливає на здоров'я працівників, спричиняючи зниження продуктивності та розвиток професійних захворювань. Водночас, існуючі методи вимірювання шуму потребують удосконалення для забезпечення точності, оперативності та відповідності сучасним стандартам. У цьому контексті впровадження автоматизованих систем моніторингу, інтегрованих з інтелектуальними технологіями, стає перспективним напрямком підвищення ефективності ресурсо- та енергозбереження [2].

Метою роботи стала розробка методики автоматизованого моніторингу рівня шуму дорожньо-будівельної техніки з використанням штучних нейронних

мереж, що забезпечують високу точність прогнозування і можливість адаптації до змінних умов експлуатації.

У дослідженні виконано понад 300 експериментальних вимірювань шуму, створюваного грейдером у реальних робочих умовах, із застосуванням цифрового шумоміра (точність до 0,1 дБ). Вимірювання проводились у кількох точках: біля водія (на відстані 0,1 м від вуха) та на відстанях 5 м і 10 м від кабіни. Для аналізу шуму враховувались основні робочі параметри техніки, такі як оберти двигуна, передаточне число та розташування мікрофонів. Отримані дані стали основою для створення та навчання нейронної мережі, здатної прогнозувати рівень шуму в реальному часі.

Для аналізу рівня шуму, створена модель штучної нейронної мережі, яка використовує вхідні дані про оберти двигуна, передаточне число та розташування мікрофонів для прогнозування рівня шуму в реальному часі. Модель була розроблена з використанням алгоритму Левенберга-Марквардта, який оптимізує мережу з мінімальною середньоквадратичною помилкою (MSE) та максимальним коефіцієнтом кореляції. Результати показали високу точність прогнозування, що дозволяє знижувати похибки вимірювань та забезпечувати оперативну адаптацію до змінних умов експлуатації техніки (рис. 1).

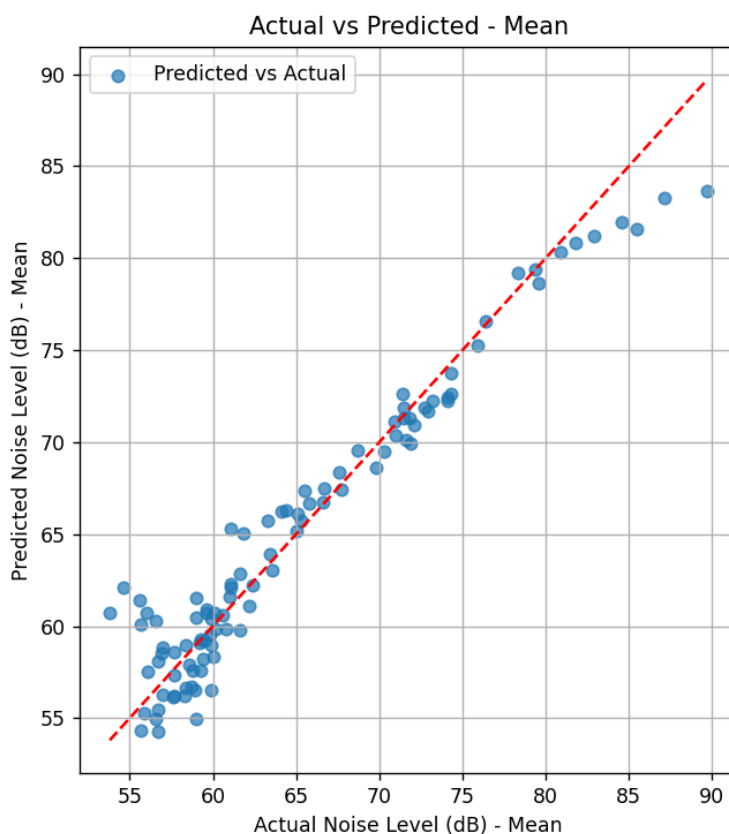


Рисунок 1 – Кореляція між прогнозованими та виміряними значеннями середнього рівня звуку від грейдера

Використання штучного інтелекту, зокрема нейронних мереж, дозволяє автоматизувати процес збору та аналізу даних, що значно підвищує ефективність вимірювань і дозволяє отримувати точні прогнози в реальному часі. Адаптивність системи до змінних робочих умов техніки, таких як різні режими

роботи грейдера або варіації в розташуванні мікрофонів, дозволяє оптимізувати параметри роботи техніки для зниження рівня шуму. Це забезпечує не тільки точність вимірювань, але й сприяє досягненню ресурсозбереження та зниженню енергоспоживання через оптимізацію режимів роботи техніки.

Автоматизація процесу вимірювання та моніторингу рівня шуму дозволяє створити ефективну систему управління для зниження шумового забруднення в реальному часі. Інтеграція таких систем з виробничими процесами дозволяє оперативно виявляти аномалії в рівнях шуму та вжити необхідних заходів для зниження їхнього впливу на працівників та навколишнє середовище. Таким чином, автоматизовані системи можуть стати важливим інструментом для покращення умов праці, підвищення безпеки та енергоефективності в сфері дорожньо-будівельної техніки.

Розроблена нейронна мережа забезпечує точність прогнозування та сприяє оптимізації роботи техніки, зниженню шумового забруднення й ресурсозбереженню, що робить її основою для екологічно безпечних технологій.

ЛІТЕРАТУРА

1 Крайнюк М.Ю., Крайнюк О.В., Буц Ю.В., Барбашин В.В. Обґрунтування змін при проведенні атестації робочого місця тракториста в сучасних машинно-тракторних агрегатах // Комунальне господарство міст, 2024, 3(184), 209–215. DOI:10.33042/2522-1809-2024-3-184-209-215

2 Крайнюк М.Ю. Використання інтелектуальних систем для підвищення безпеки та ефективності роботи будівельних і дорожніх машин // Інноваційні рішення по підвищенню ефективності будівельних, дорожніх і підйомно-транспортних машин. Зб. тез доповідей, Випуск 11, 2024. С. 214-217.

Крайнюк О.В.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Буц Ю.В.

Український державний університет залізничного транспорту

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ПІДХОДИ ДО МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОНІТОРИНГУ ВИРОБНИЧИХ УМОВ ПРАЦІ З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Забезпечення безпечних і комфортних умов праці є ключовою задачею сучасних виробничих підприємств. Точність і достовірність вимірювань параметрів виробничого середовища, таких як температура, вологість, рівень шуму, концентрація газів тощо, мають критичне значення для ефективного моніторингу і управління ризиками [1]. Метрологічний контроль датчиків, що використовуються для моніторингу, є невід’ємною складовою забезпечення надійності вимірювань [2]. Однак традиційні методи калібрування та перевірки не завжди відповідають сучасним вимогам оперативності та точності, особливо у складних умовах виробництва.

Використання штучного інтелекту (ШІ) відкриває нові можливості для підвищення ефективності метрологічного забезпечення шляхом автоматизації процесів калібрування, оптимізації аналізу даних та прогнозування можливих збоїв датчиків. Такий підхід дозволяє не лише забезпечити відповідність нормативним вимогам, а й покращити безпеку праці та зменшити ризики для здоров'я працівників.

Метою роботи є аналіз та розробка інтелектуальних підходів до метрологічного забезпечення датчиків моніторингу виробничих умов праці на основі використання штучного інтелекту.

Метрологічний контроль датчиків є важливим елементом системи моніторингу умов праці, що дозволяє забезпечити точність даних для прийняття рішень щодо зниження ризиків і підвищення рівня безпеки. Для виконання цієї задачі традиційно використовуються стандартизовані протоколи та методики калібрування, однак вони не завжди адаптовані до умов сучасного виробництва, що характеризується високою динамікою змін.

Використання штучного інтелекту в метрологічному забезпеченні відкриває нові горизонти для оптимізації процесів контролю та калібрування. Зокрема, алгоритми машинного навчання можуть автоматизувати процес аналізу даних, отриманих від датчиків, і забезпечувати автоматичну корекцію їх показань відповідно до еталонних значень. Це підвищує ефективність вимірювальних систем, зменшує вплив людського фактору та мінімізує ризик помилок.

Ключові напрями використання ШІ у метрологічному забезпеченні:

- Калібрування датчиків. Алгоритми машинного навчання дозволяють автоматизувати процес калібрування, використовуючи історичні дані для побудови моделей корекції. Це забезпечує точність навіть за змінних умов виробничого середовища.

- Обробка сигналів. ШІ аналізує сигнали від датчиків для виявлення аномалій та точного визначення параметрів робочого середовища, таких як температура, рівень шуму або концентрація шкідливих речовин.

- Прогнозування збоїв. Аналізуючи історичні дані, алгоритми можуть передбачати ймовірність збоїв або відхилень у роботі датчиків, що дозволяє своєчасно реагувати на потенційні проблеми.

- Оптимізація розміщення датчиків. Використання алгоритмів ШІ дозволяє розробити оптимальні схеми розміщення вимірювальної техніки для максимального охоплення зон моніторингу.

Для практичної реалізації цих підходів було розроблено блок-схему, що описує процеси збору та попередньої обробки даних, навчання моделей, автоматичної корекції показань датчиків і сигналізації про перевищення нормативних значень [2].

Застосування ШІ дозволяє реалізувати комплексний підхід до моніторингу виробничих умов. Наприклад, інтелектуальні датчики здатні не лише збирати інформацію, а й аналізувати її для надання рекомендацій з оптимізації умов праці. Крім того, системи з використанням ШІ можуть самостійно

ідентифікувати небезпечні ситуації, що знижує ризики для працівників і підвищує ефективність управління безпекою.

Інноваційним рішенням є інтеграція даних з різних типів сенсорів (температури, вологості, шуму, токсичних речовин) у єдину систему, що дозволяє отримувати комплексну картину виробничого середовища. Такі системи на основі штучного інтелекту стають основою для прийняття обґрунтованих рішень щодо зниження ризиків і підвищення комфорту праці.

Впровадження інтелектуальних систем, побудованих на основі алгоритмів ШІ, забезпечує ефективний контроль параметрів виробничого середовища, що сприяє підвищенню продуктивності та зниженню ризиків для здоров'я працівників. Це підтверджує важливість подальшого розвитку і впровадження таких рішень у виробничу практику.

ЛІТЕРАТУРА

1 Крайнюк М.Ю., Крайнюк О.В., Буц Ю.В., Барбашин В.В. Обґрунтування змін при проведенні атестації робочого місця тракториста в сучасних машинно-тракторних агрегатах // Комунальне господарство міст, 2024, 3(184), 209–215. DOI:10.33042/2522-1809-2024-3-184-209-215

2 Крайнюк, О., Буц, Ю., Діденко, Н., Барбашин, В., Трішина, О. Метрологічний контроль датчиків моніторингу умов праці з використанням штучного інтелекту // Комунальне господарство міст, 2024, 3(184), 216–222. DOI:10.33042/2522-1809-2024-3-184-216-222.

*Артем КРАСОТА, Ігор ШЕПЕЛЕНКО,
Михайло КРАСОТА*

Центральноукраїнський національний технічний університет

ЗАСТОСУВАННЯ ФАБО ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ АВТОМОБІЛЬНИХ ДЕТАЛЕЙ

Для підвищення зносостійкості і витривалості колінчастих валів перспективним є використання методу фрикційного нанесення покриттів, що містять мідь – фінішна антифрикційна безабразивна обробка (ФАБО). При цьому методі наносяться покриття товщиною від 50 до 500 нм з пластичних металів у спеціальному технологічному середовищі на поверхні деталей, що труться.

Як інструмент при ФАБО застосовуються латунні стрижні, щітки, прутки, ролики та ін [1-3].

У літературних джерелах зустрічається інформація про технологічний варіант обробки поверхонь тертя комбінованим застосуванням ФАБО та поверхневого пластичного деформування (ППД) [4]. В результаті такої комбінованої обробки одночасно відбувається зміцнення поверхні основного матеріалу на глибину 70-80 мкм внаслідок високого тиску в місці лінійного контакту.

Перевагами ФАБО є технологічна простота та можливість адаптації методу до існуючих металообробних верстатів без істотної їх модернізації.

На сьогоднішній день відоме застосування ФАБО для деяких автомобільних деталей та їх поверхні. У наукових джерелах інформації наводяться дані про застосування ФАБО на поверхнях корінних і шатунних шийок колінчастого валу, гільз циліндрів, цапф шестерень масляних насосів, підшипників, різьбових з'єднань, деталей працюючих при фреттинг-корозії, різні штоки, пальці, різьби [1-3].

Після ФАБО поверхні деталей отримують високі антифрикційні властивості. Шийки колінчастих валів, деталі паливної апаратури двигунів та ін., що виходили з ладу внаслідок підвищення сил тертя чи заклинювання через схоплювання поверхонь, обробляються ФАБО зі збільшенням ресурсу в 2-3 рази [2].

Внаслідок обробки ФАБО деталей відзначається як підвищення ресурсу деталей, так і покращення техніко-економічних показників машин, деталі яких піддаються обробці ФАБО. Так, за даними дослідників [1-3] при обробці деталей циліндро-пошневої групи двигунів відзначається зниження середньої інтенсивності падіння тиску оливи в головній магістралі системи мащення дизелів на номінальній частоті обертання колінчастого валу в залежності від напруження на 12,5%; зменшення вмісту продуктів зносу (заліза) в пробах масла з картерів двигунів на 34,7%; зниження витрати палива на 5...10%; зменшення витрати моторного масла в 1,7 рази; збільшення міжремонтного ресурсу в 1,23 рази.

З проблем, які обмежують застосування ФАБО для обробки деталей, можна назвати наступні: для здійснення ФАБО в даний час використовують складні конструкції пристроїв, що ускладнює їхнє практичне використання на ремонтних підприємствах; ФАБО фрикційно-механічними способами викликає значне підвищення трудомісткості виготовлення або відновлення деталей, наприклад час обробки однієї гільзи становить 15...20 хв [1]; недостатньо досліджено вплив технологічних параметрів ФАБО на властивості покриттів та продуктивність процесу; не визначено сферу застосування ФАБО (групи деталей або поверхонь для яких застосування є найбільш доцільним); у наукових джерелах інформації малодослідженими є технологічні середовища в яких проводиться обробка, при цьому недостатньо відомостей про оптимальні технологічні параметри даних середовищ та їх хімічний склад.

Таким чином, з метою розширення можливостей застосування ФАБО, існує необхідність у проведенні низки досліджень пов'язаних з вивченням впливу складу та параметрів технологічного середовища на процеси отримання антифрикційних покриттів, застосування активуючих факторів для підвищення продуктивності процесу та поліпшення властивостей антифрикційних покриттів.

ЛІТЕРАТУРА

1 Шепеленко І.В. Шляхи підвищення ефективності застосування ФАБО гільз циліндрів/ І.В. Шепеленко, Р.Ф. Будар Мохамед// Прикладні науково-технічні дослідження. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції (05 – 07 квітня 2017 р.), м.Івано-Франківськ, 2017. С.124. (доведена ефективність ФАБО гільз циліндрів).

2 Шепеленко І.В. Інтенсифікація процесу нанесення антифрикційних покриттів/ І.В. Шепеленко, Я.Б. Немировський, Е.К. Посвятенко // Прогресивна техніка, технологія та

інженерна освіта: матеріали XXI Міжнародної науково-технічної конференції (06 – 09 жовтня 2020 р.), м.Київ, КПІ, 2020. С.94–96. (визначено шляхи інтенсифікації процесу нанесення антифрикційних покриттів)

3 Шепеленко І.В. Підвищення ефективності обробки цапф шестерень гідронасосів/ І.В. Шепеленко, В.В. Черкун// Матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології промислового комплексу - 2021» (07 – 10 вересня 2021 р.), випуск 7. – Херсон: ХНТУ, 2021. С.109–112. (розроблено технологічний процес обробки цапф шестерень гідронасосів з використанням ФАБО).

4 Патент № 74723 України. Спосіб комбінованої обробки поверхонь тертя / Черновол М.І., Шепеленко І.В., Чернявський О.В., Посвятенко Е.К., Кропивна А.В.; опубл.12.11.2012. (розроблено схема комбінованої обробки поверхонь тертя).

5 Кропивний В.М. Розробка та дослідження складу технологічного середовища для ФАБВО/ В.М. Кропивний, І.В. Шепеленко, В.В. Черкун// Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин, Кіровоград, 2011. – Вип.41 (1). – С.248–251. (запропоновано склад технологічного середовища для нанесення антифрикційного покриття).

*Лапковський С.В., Фролов В.К., Приходько В.П.,
Данилова Л.М.*

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Ярова І.А.

Національний університет «Одеська політехніка»

«ПРИВ'ЯЗКА» ВИПАДКОВИМ ЧИНОМ БАЗОВАНОЇ ЗАГОТОВКИ ДО СИСТЕМИ КООРДИНАТ ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТА

Наразі розповсюджений тільки один спосіб визначення положення заготовки при її «віртуальному» базуванні – за допомогою вимірювальних щупів. Шляхом торкання щупом заготовки визначають її реальні координати, передають дані до системи ЧПК і корегують керуючу програму. Недоліком способу є те, що для визначення положення заготовки навіть в двохкоординатній системі необхідно виконати декілька вимірювань в різних точках заготовки, що є малопродуктивним.

Авторами запропонований альтернативний спосіб «прив'язки» випадковим чином базованої заготовки до системи координат фрезерного верстата, оснований на використанні цифрової фотографії (рис. 1-5) [1]. Спосіб реалізують наступним чином.

На стіл 1 верстата встановлюють першу заготовку з партії, яка є еталонною заготовкою 2, орієнтуючи її за допомогою вимірювальних інструментів або систем за базовими поверхнями 3 і 4 таким чином, щоб осі її системи координат $X_{e.з.}Y_{e.з.}$ були паралельні осям системи координат верстата XU . При цьому положення осей системи координат $X_{e.з.}Y_{e.з.}$ еталонної заготовки визначається положенням її базових поверхонь 3 і 4. Розташування точки $O_{e.з.}$ початку системи координат $X_{e.з.}Y_{e.з.}$ еталонної заготовки відносно точки 0 початку системи

координат XU верстата визначається координатами $x_{0e.3.}$, $y_{0e.3.}$. Координати точки $O_{e.3.}$ відповідають координатам «нуля» заготовки в керуючій програмі.

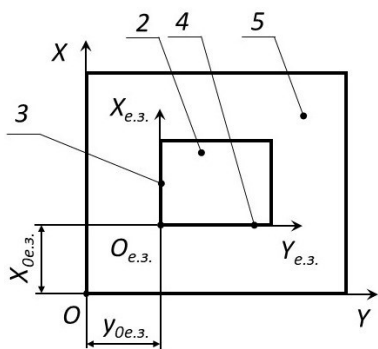


Рисунок 1 – Фотографія еталонної заготовки

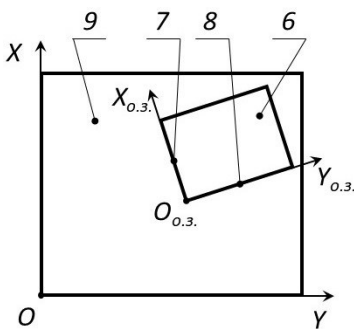


Рисунок 2 – Фотографія оброблюваної заготовки

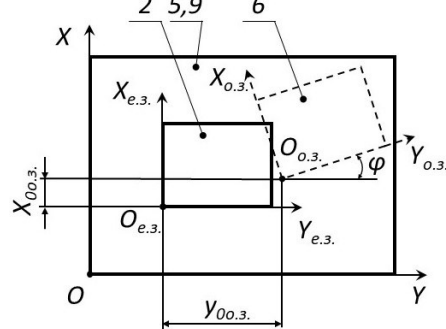


Рисунок 3 – Суміщені фотографії еталонної та оброблюваної заготовок

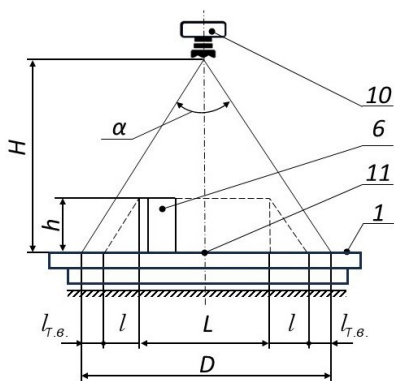


Рисунок 4 – Схема зони базування (вид збоку)

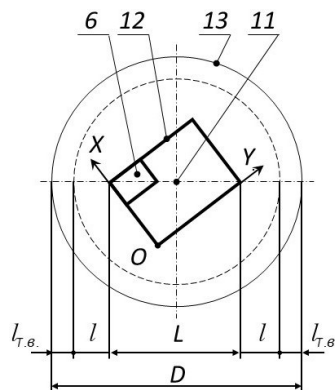


Рисунок 5 – Схема зони базування (вид зверху)

Виконують цифрове фотографування еталонної заготовки 2. Цифрову фотографію 5 еталонної заготовки передають до комп'ютерної програми. Еталонну заготовку 2 оброблюють за допомогою керуючої програми та знімають зі стола верстата. На стіл 1 верстата довільним чином встановлюють оброблювану заготовку 6. При цьому положення осей системи координат $X_{o.3.}$, $Y_{o.3.}$ оброблюваної заготовки визначається положенням її базових поверхонь 7 і 8. Виконують цифрове фотографування оброблюваної заготовки 6. Цифрову фотографію 9 оброблюваної заготовки передають до комп'ютерної програми.

В комп'ютерній програмі створюють шаблон зображення еталонної заготовки, використовуючи контраст між об'єктом (заготовкою) та фоном (столом верстата). Накладають фотографію 5 еталонної заготовки на фотографію 9 оброблюваної заготовки і, використовуючи зображення еталонної заготовки в якості шаблону, сканують фотографію оброблюваної заготовки. Після суміщення зображення еталонної заготовки 2 із зображенням оброблюваної заготовки 6 програмно визначають величину кута повороту φ системи координат $X_{o.3.}$, $Y_{o.3.}$ оброблюваної заготовки відносно системи координат $X_{e.3.}$, $Y_{e.3.}$ еталонної заготовки та координати $x_{0e.3.}$, $y_{0e.3.}$ розташування точки $O_{e.3.}$ початку системи координат $X_{o.3.}$, $Y_{o.3.}$ оброблюваної заготовки відносно точки $O_{e.3.}$

початку системи координат $X_{\text{е.з.}}, Y_{\text{е.з.}}$ еталонної заготовки. Кутову поправку $\Delta_\varphi = \varphi$ та лінійні поправки $\Delta_x = x_{0 \text{ о.з.}}, \Delta_y = y_{0 \text{ о.з.}}$ вводять в керуючу програму верстата з урахуванням їхнього знаку. Виконують оброблення заготовки за допомогою корегованої керуючої програми.

При обробленні наступних заготовок партії виконують цифрове фотографування кожної оброблюваної заготовки, порівнюють їх цифрову фотографію із цифровою фотографією еталонної заготовки, програмно визначають величини кутової та лінійної поправок на розташування заготовки, вносять корекцію в керуючу програму верстата та виконують оброблення.

Для забезпечення надійного потрапляння довільним чином встановленої оброблюваної заготовки 6 в кадр цифрового фотоапарата 10 і запобігання погіршення якості зображення розміри зони базування оброблюваної заготовки визначають наступним чином. Цифровий фотоапарат 10 встановлюють на висоті H над геометричним центром 11 зони базування, що має форму прямокутника 12, і орієнтують таким чином, щоб сторони прямокутника матриці об'єктива були паралельні осям координат верстата в площині XU . Пропорції сторін прямокутника 12 відповідають пропорціям прямокутника матриці об'єктива цифрового фотоапарата. Розмір діагоналі L прямокутника 12 зони базування залежить від конструктивних характеристик об'єктива фотоапарата і геометричних параметрів оброблюваної заготовки.

Кут зору α об'єктива фотоапарата охоплює на столі 1 верстата кругову зону 13 діаметром D , величина якого:

$$D = L + 2(l + l_{\text{т.в.}}),$$

де L – діагональ прямокутника зони базування;

l – величина сліпої зони об'єктива фотоапарата, утвореної за рахунок зміщення оброблюваної заготовки відносно осі об'єктива, залежить від висоти h оброблюваної заготовки; $l = h \cot \frac{\alpha}{2}$;

$l_{\text{т.в.}}$ – величина технологічного відступу, призначеного для отримання зображення рівномірної якості на всій площі кадру; $l_{\text{т.в.}} = 0,1D$.

Таким чином, діагональ прямокутника 12 зони базування визначають за залежністю:

$$L = 2(0,8H - h) \tan \frac{\alpha}{2},$$

де H – відстань від об'єктива фотоапарата до стола верстата;

h – висота оброблюваної заготовки;

α – кут зору об'єктива фотоапарата.

Запропонований спосіб підвищить швидкість визначення положення оброблюваної заготовки на столі верстата та збільшить загальну продуктивність процесу оброблення.

ЛІТЕРАТУРА

1 Спосіб базування заготовок при обробленні на верстаті з числовим програмним керуванням фрезерної групи : пат. на корисну модель № 154942 Україна : МПК В23Q 15/22, В23Q 17/22 / В. К. Фролов, І. А. Ярова, С. В. Лапковський, В. П. Приходько, Л. М. Данилова та інші. № u202303749 ; заявл. 04.08.23 ; опубл. 03.01.2024, Бюл. № 1.

REVIEW ON DISTANCE EDUCATIONAL TECHNOLOGY

Today, there are many new trends in the study of both education and the establishment of the scientific foundations of educational technology. In the education theory the model of the hierarchy of needs of Marlow is known [1]. This is a pyramid, at the very bottom of which are the most basic needs. The Marlow's model includes the following needs: 1) physiological needs (homeostasis, health, food, water, sleep, clothes, shelter, and sex; 2) safety and security needs (personal security, emotional security, financial security, health and well-being, safety needs against accidents/illness and their adverse impacts), 3) social belonging needs (friendships, intimacy, and family), 4) self-esteem (typical human desire to be accepted and valued by others), 5) self-actualization (mate acquisition, parenting, utilizing and developing abilities, utilizing and developing talents, pursuing goals).

The paper [2] is focused on the possibility of implementation the simulation of the production process into the education process.

In the paper [3] authors consider a case study to show the differences between topological and parametrical optimization for the same task. Based on this example the authors would like to stress the importance of the correct implementation of the two approaches and the importance of teaching the methodology and not only tools in the engineering study.

The paper [4] declares that one of the main advantages given by mobile applications is that they are available round the clock, offering a variety of ways of learning, communicating and collaborating.

The content of paper [5] is connected with education and technology transfer issues for 'Industry 4.0' innovation networks.

The papers [6-8] concern issues of educational involvement in innovative university, technology transfer management culture (education-based approach) and ICT application in technology transfer management within 'Industry 4.0' conditions (education-based approach), respectively.

In accordance with the industries of the future the most promising areas in education will be related to specialties connected with engineering physics [9]. The scientific foundations of engineering physics will be used in high-tech fields of science, technology and production [10]. A natural area of application for engineering physics is the development of modern automation in production, based on the widespread use of equipment with computer aided control [11].

In this regard, new education innovative models that take into account the specifics of these areas of development of science, technology and production will be relevant [12, 13]. A corresponding review of the methods and approaches of educational technology is given in [14].

So, the concept of "pedagogical technology" has firmly entered the pedagogical vocabulary. However, in its understanding and use, there are big differences. The most

professionals support the following four fundamentals: (1) planning of training and education on the basis of precisely defined desired standard; (2) programming of the educational process in the form of a strict sequence of actions of the teacher and student; (3) comparison of the results of training and education with the originally outlined standard both during the educational process (monitoring) and in summing up the results (learning outcomes); (4) correction of results at any stage of the educational process by means of feedback circuit.

Some of these fundamentals are discussed in [15] including both auditing the curricula and the reasons analysis why curriculum change has been so slow for tertiary and higher education institutions; as well as how quickly and effectively to renew the curriculum towards education for sustainable development. In addition, the known specifics of different types of education (formal, informal, non-formal) must be taken into account [16].

An analysis of the references shows that when developing working curricula for most technical disciplines, it is necessary to correctly build a hierarchical system of related disciplines based, e.g., on engineering physics. For example, when developing the working curriculum on military vehicle equipment, it is necessary to take into account the results of a scientific study both of simulation active learning methods and situational learning methods. In the first case (simulation active learning), the role of a squad or platoon commander for repairing automotive equipment is simulated. In the second case (situational learning), the work is performed on existing samples of automotive vehicles.

The purpose of the work is to formulate the features and new pedagogical technologies to improve the effectiveness of distance learning in higher education institutions including military ones.

REFERENCES

- 1 Harrigan, W.J., Commons, M.L. (2015). Replacing Maslow's needs hierarchy with an account based on stage and value. *Behavioral Development Bulletin*, Vol. 20, No. 1, pp. 24–31.
- 2 Husar J., Knapcikova L., Balog M. (2019) Implementation of material flow simulation as a learning tool. In: Ivanov V. et al. (eds) *Advances in Design, Simulation and Manufacturing. DSMIE 2018. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham.
- 3 Arras P., Tabunshchik G. (2020) Design optimization techniques in mechanical design and education of engineers. In: Ivanov V. et al. (eds) *Advances in Design, Simulation and Manufacturing II. DSMIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham.
- 4 Pop G.M., Crisan L.A., Tripa M. (2020) The effectiveness of ict tools for engineering education: iso checker. In: Ivanov V. et al. (eds) *Advances in Design, Simulation and Manufacturing II. DSMIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham.
- 5 Tirta T., Ossik Y., Omelyanenko V. (2020) ICT support for industry 4.0 innovation networks: education and technology transfer issues. In: Ivanov V. et al. (eds) *Advances in Design, Simulation and Manufacturing II. DSMIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham.
- 6 Kunttu, L.: Educational involvement in innovative university? industry collaboration. *Technol. Innov. Manag. Rev.* 7(12), 14–22 (2017).
- 7 Omelyanenko, V., Semenets-Orlova, I., Khomeriki, O., Lyasota, L., Medvedieva, Yu.: Technology transfer management culture (education-based approach). *Probl. Perspect. Manag.* 16 (3), 454–463.

- 8 Prokopenko, O., Kudrina, O., Omelyanenko, V.: Analysis of ICT application in technology transfer management within Industry 4.0 conditions (education-based approach). In: ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer. Proceedings of 14th International Conference, vol. I: Main Conference, pp. 258–273 (2018).
- 9 Ross, A. (2016) The industries of the future. Simon & Schuster Inc, New York.
- 10 Gaur, R.K. & Gupta, S.L. (1983) Engineering physics (for B.Sc. and B.E. students). Dhanpat Rai & Sons.
- 11 Larshin, V., Lishchenko, N. (2019). Adaptive Profile Gear Grinding Boosts Productivity of this Operation on the CNC Machine Tools. In: 1st International Conference on Design, Simulation and Manufacturing, DSMIE 2018, Sumy, Ukraine, Lecture Notes in Mechanical Engineering, Publ. Springer, Cham, pp. 79-88. DOI: 10.1007/978-3-319-93587-4_9.
- 12 Luzik, E., Ladogubets, N. (2019) Formation of university education innovative models, XV International Conference “Strategy of Quality in Industry and Education”: Dnipro – Varna, pp. 299-304.
- 13 Gren, L.M. (2019) Mechanisms of interaction of vocational (vocation-and-technical) training with employers, XV International Conference “Strategy of Quality in Industry and Education”: Dnipro – Varna, pp. 274-278.
- 14 Larshin, V., Lishchenko, N. (2019). Educational Technology Information Support, In Scientific Journal Herald of Advanced Information Technology, 2019; Vol.2 No.4, pp. 317-327, DOI: 10.15276/hait.04.2019.8.
- 15 Desha Ch., K. Ch. Hargroves. (2014) Higher Education and Sustainable Development: A model for curriculum renewal. Routledge.
16. Types of Education: Formal, Informal & Non-formal. Available at: <https://examplanning.com/types-education-formal-informal-non-formal/>.

Larshin V.P., Verpivskyi S.M.
 Military Academy (Odesa city)
Lishchenko N.V.
 Trinity College Dublin

TEACHING MODEL IN THE FORMAL EDUCATION

1. General. Education brings a natural and lasting change in an individual's reasoning and ability to achieve the targeted goal. In this way, education resembles a medium through which we can associate with various individuals and offer our thoughts. There are three parts to learning a subject in the classroom under formal education: 1) a teacher, 2) a person being taught, and 3) a curriculum.

When developing a new curriculum, the teacher must implement a certain teaching philosophy: 1) what to teach to? 2) how to teach? 3) how to test teaching? In addition, it is advisable to consider the following requirements. Firstly, education is not aimed at training personnel, but personalities – the country's future elite. Secondly, training should not focus on group, but on individual teaching methods. Currently, it looks like an “individual approach to students in a collective learning environment”. Thirdly, the final learning outcomes are only (and first of all) expressed in the

categories of knowledge, being able to (knowing how to) create and/or implement, and skill (workmanship as well craftsmanship is a special or particular case of the skill).

Knowledge is the generalized experience of people in the form of facts, rules, conclusions, patterns, ideas, theories that science owns. Being able to create (implement) is the aptitude to perform certain actions on the basis of acquired knowledge. Skill (habit) is the being able to create (implement) which is brought to automatism. As mentioned above, all the three basic elements of education are involved in the concepts of “competence” and “competency”.

2. System representation and assessment of the course. The main accounting unit of the educational process is an academic discipline or academic subject, course, etc. Each a discipline should be considered as a knowledge system, i.e. as a coherent whole, composed of a number of components – sections and topics. An academic discipline (course) is a pedagogically substantiated information model of the relevant science [1]. If the discipline is defined as a system, then the specialty’s curriculum will be a system too, while sections (semester and content modules, lectures, etc.) of the discipline will be subsystems composed, in turn, from a number of interrelated notions and definitions.

The evaluation criterion is a systemic relationship between previous engineering (training) disciplines (courses) and special disciplines that are part of the specialty curriculum. A professionally prepared discipline can be compared with a strong polygonal pyramid (similar to the Maslow’s pyramid), based on previous engineering disciplines.

If the number of previous disciplines used in the course is more than five, then the curriculum’ assessment (in terms of the system representation) should be “good”. A similar pyramid there should be a mutual relationship between general scientific and profiling departments of the university. This mutual relationship, as a sign of the system representation and learning sequence is mentioned in the work.

3. The course structure and its activity. An academic discipline (course) should include following structural elements in pairs: both systematics (general part) and special knowledge (theories, ideas, laws, principles of this science); both analysis and synthesis (methods of calculation and design); both passive and active parts of the discipline. If the active (creative) part of the course (classification, analysis, synthesis, methods of calculation and design) is at least 40%, then the assessment (in terms of activity) should be “good”.

When choosing the type of teaching for a creative person preference should be given to problem learning instead of rote memorization. The important point for students to bear in mind is that they should motivate themselves to attain deep understanding, not rote memorization, of the subjects that they study, in order to fulfill the role of a true expert in whatever field they ultimately choose.

4. Education as both a process and a technology. Webster defines education as the process of educating or teaching. Educate is further defined as “to develop the knowledge, skill, or character of...”. Thus, from aforesaid definitions, we may assume that the purpose of education is to develop the knowledge, skill and character of students (upbringing).

5. Student's independent work. The student's independent work is a form of training in which knowledge is acquired by the student himself under the methodological guidance of the teacher. In senior courses, this work should be aimed at creative disclosure of personality, which begins with the student bench. The university contains the following types of student activities: preparation for lectures, seminars, laboratory work and practical exercises, tests (module controls), exams. This work also includes writing essays, term papers and dissertations (projects). By the degree of creativity, the student's independent work is divided into the following types: according to the model; reconstructive-variable; heuristic (partially search); creative research.

At the stage of student's independent work, it makes sense to transfer the supervisor's experience with graduate students to ordinary students. This requires the interest of both the student and the teacher in the systematization and acquisition of knowledge, which is possible if the student is involved in the sphere of scientific interests of his supervisor. This approach will solve the following three tasks for today's college teachers: (1) the failure of college students to do well, especially in developing critical thinking and inquiry skills, in spite of years spent in the classroom; (2) the challenge of knowing how to teach students inquiry and its skills; (3) the absence an ongoing exchange among college teachers of the pedagogies needed to achieve these goals [2].

6. Conclusions.

1. The learning process in general and distance learning in particular is primarily informational. Information comes from the teacher to the students online. However, information is not knowledge yet. Information can turn into knowledge under appropriate conditions, which in distance learning can be created on the basis of computer technologies (computer-aided learning). This paper proposes pedagogical approaches and techniques to improve the quality of distance learning.

2. Such new techniques include the following: immersive perception, based on the principle of virtual reality; 3D modeling and animation of objects, which increase the specific weight of visual information and facilitate understanding of the subject; changing the structure and parameters of the course curriculum to take into account the features of distance learning.

3. An analysis of preferences that contribute to increasing the effectiveness of distance learning (smart curriculum, problem-based versus information-based, activity in terms of creative methods for solving a problem, student involvement in the sphere of the teacher's scientific interests, etc.) was carried out. The criteria for evaluating the discipline (course) and the corresponding profiling department are given.

4. The principles for constructing a "smart curriculum" for the relevant academic discipline for distance learning are formulated. An academic discipline (course) should include following structural elements in pairs: both systematics (general part) and special knowledge (theories, ideas, laws, principles of this science); both analysis and synthesis (methods of calculation and design); both passive and active parts of the discipline.

REFERENCES

1 Larshin, V., Lishchenko, N. (2019). Educational Technology Information Support, In Scientific Journal Herald of Advanced Information Technology, 2019; Vol. 2 No. 4, pp. 317-327, DOI: <https://doi.org/10.15276/hait.04.2019.8>.

2 Teaching Portfolio Practice in Ireland: A Handbook. January 2007 Publisher: Trinity College Dublin and All Ireland Society for Higher Education (AISHE), Editor: Ciara O'Farrell. https://www.researchgate.net/publication/276272139_Teaching_Portfolio_Practice_in_Ireland_A_Handbook.

Ларшин В.П., Лисий О.В.
Військова академія (м. Одеса)

МЕХАТРОННА МОБІЛЬНА ТУРЕЛЬ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ТА ВІДСТЕЖЕННЯ ЛІТАЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ

Розробка сучасних озброєнь стає все більш витонченою в міру розвитку військових та інформаційних технологій. Тому дослідники поспішають розробити конструкції і технології виготовлення гарматної башти [1] і мобільної турелі [2] для оборони і безпеки, які можуть бути розміщені на танках, бронемашинах, військових кораблях і військових літаках. Наприклад, німецька компанія Rheinmetall вивчає можливість заміни башти танка Leopard-1 часів холодної війни на системи ППО ближнього радіусу дії Skyranger 35, що перетворить їх на високомобільні засоби протидії цілому ряду повітряних загроз. Компанія також представляє свій більш сучасний Leopard-2 з тією ж баштою, що свідчить про більш широке відродження інтересу до систем протиповітряної оборони малої дальності (так звані «short-range air defense systems» або SHORADS), особливо у зв'язку з тим, що загроза безпілотників продовжує поширюватися [2].

Використання роботизованих технологій дуже корисно у всіх областях, тим більше в області оборони і безпеки. Такі технології стають все більш складними і дорогими з розвитком великих захисних систем ППО. Тому актуальна розробка менш дорогих мобільних турелей меншого радіусу дії, наприклад, для знищення ЛО типу дронів.

У даній роботі пропонується коротка характеристика мехатронної мобільної турелі, яка здатна слідкувати за напрямком руху цілі типу літального об'єкта (ЛО), куди б ця ціль не рухалася. Після виявлення ЛО (рис. 1) мобільна турель буде переміщатися туди, куди ЛО буде рухатися: або вправо, або вліво, або вгору, або вниз.

Мобільна турель 1 забезпечується приладами 2 спостереження та встановлюється на платформі 3, яка кріпиться на мобільному транспортному засобі (рис. 2). На доставку турелі 1 у необхідне місце не повинен впливати стан доріг 5, тому у якості транспортного засобу і платформи вибирається,

наприклад, позашляховик типу HMMWV (High Mobility Multipurpose Wheeled Vehicle або Humvee).

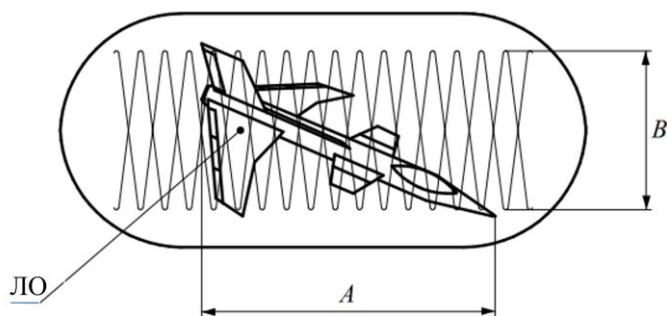


Рисунок 1 – Літаючий об'єкт (ЛО) і схема його сканування

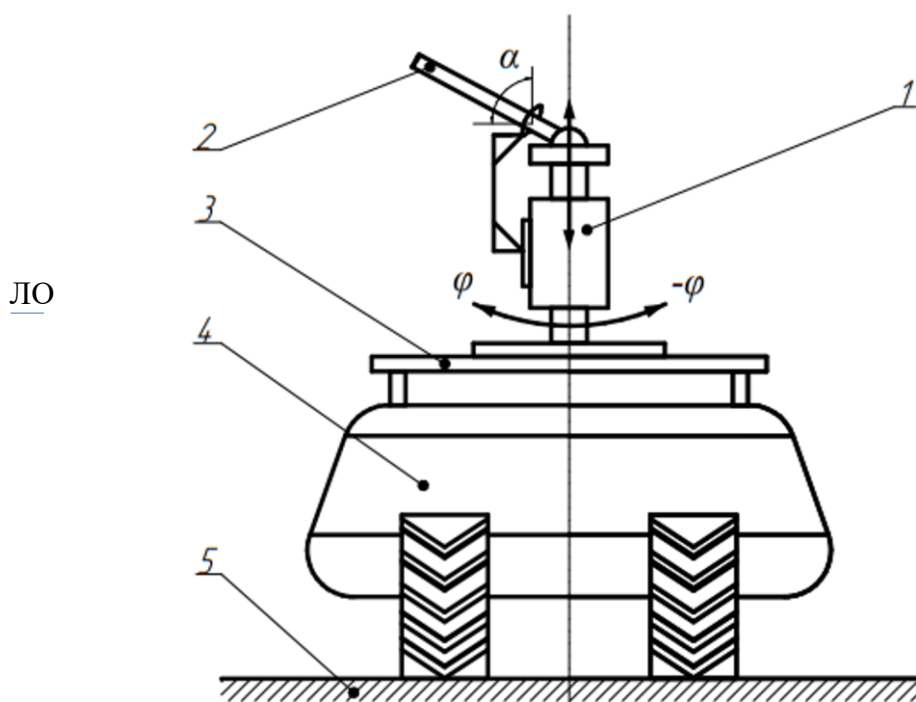


Рисунок 2 – Загальний вигляд мобільної турелі на автомобільній платформі

У якості приладів 2 може бути застосована сучасна апаратура аудіо- та відеоспостереження, що дозволяє виявити літаючий об'єкт (ЛО) (рис. 1) на такій відстані, яка в заданому часовому проміжку дозволяє розпізнати ЛО за принципом «свій-чужий» і прийняти відповідне рішення щодо знищення ЛО («чужий»), або його збереження («свій»).

Мобільна турель 1 включає ряд слідкуючих приводів, виконаних на базі лінійних актюаторів постійного струму, які вже показали позитивні результати при створенні «розумних» мехатронних слідкуючих приводів для металорізальних верстатів з ЧПК. Під позитивними результатами мається на увазі надійність, висока чутливість та швидкодія вказаних приводів.

Кількість і конструктивне виконання зазначених слідкуючих приводів дозволяють сканувати небесний простір при зміні за програмою кутів α і φ в інтервалах $0 \leq \alpha \leq 90^\circ$ і $-90^\circ \leq \varphi \leq +90^\circ$, відповідно. Частота і амплітуда випромінюючої хвилі, наприклад, електромагнітного поля повинні бути обрані виходячи з надійного виявлення ЛО, що має габарити $A \times B$ (рис. 1).

ЛІТЕРАТУРА

1 Old Leopard Tanks Can Be Reborn As Air Defense Systems With Skyranger 35 Turret / <https://www.twz.com/news-features/old-leopard-tanks-can-be-reborn-as-air-defense-systems-with-skyranger-35-turret>.

2 Son Kuswadi, Mohamad Nasyir Tamara, Dwi Nugroho H.W. Gun turret automatic weapon control system design and realization / https://www.researchgate.net/publication/315917643_Gun_turret_automatic_weapon_control_system_design_and_realization.

Лещенко С.В., Іванов В.О.
Сумський державний університет

ІНДУСТРІЯ 4.0 ЯК ІНСТРУМЕНТ РОЗВИТКУ СУЧАСНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

В усі часи існування людства виробництво і промисловість стикалися з великими перепонами на шляху свого розвитку і розвитку цивілізації – від несприйняття наукових теорій існування всесвіту та створення перших неймовірних механізмів Леонардо да Вінчі до винаходу парового двигуна електроенергії. З тих пір і до сьогодні технічний прогрес пройшов великий шлях випробувань, знаходячи нові, все більш практичні інструменти до побудови технологічного процесу виробництва, підвищуючи його ефективність.

Стрімкий розвиток науково-технічного прогресу, висока конкуренція серед виробників продукції, а та величезні виклики сучасності, такі як пандемія COVID-19 та російсько-українська війна змусили змінити підхід до роботи всіх сфер діяльності в Україні. Ми перейшли на вже звичний дистанційний режим роботи і навчання, навчилися виконувати електронний документообіг та все частіше користуємося хмарними сховищами.

І якщо працівникам ІТ-сфери не довелося кардинально змінювати ритм своєї роботи, то для промисловості такі виклики стали справжнім випробуванням – потрібно було по-іншому перебудовувати логістику, комунікацію між підрозділами та змінювати стиль роботи з клієнтами. Тобто підприємство має робити все, щоб залишатися гнучким та здатним швидко реагувати на зміни в суспільстві і законодавстві.

Одним із найбільш дієвих інструментів для інтеграції підприємства до світу цифрових технологій є четверта промислова революція – Індустрія 4.0. (рис. 1) – саме це поняття означає розвиток, об'єднання та обмін даними між машинами, що дає змогу забезпечити максимально гнучкі і швидкі виробничі процеси [1].

На сучасному етапі інженери вже працюють в умовах, де цифрові інструменти та технології вже є невід'ємною частиною виробничих процесів. Інженери використовують моделювання та віртуальну реальність для проектування, створюють цифрові двійники для тестування та оптимізації

систем, а також застосовують предиктивну аналітику для попередження збоїв у роботі обладнання [2].

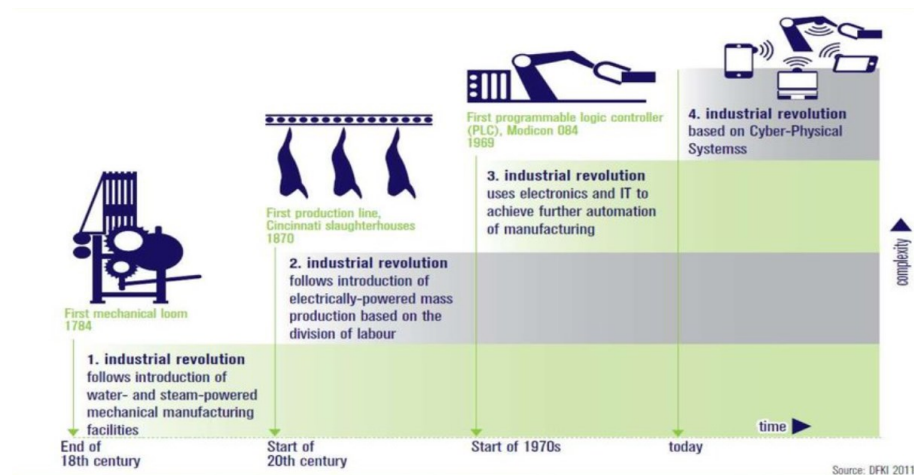


Рисунок 1 – Зміна промислових революцій в часі

Перспективи майбутнього в межах Індустрії 4.0 відкривають безмежні можливості для інженерії [3]. Очікується, що розвиток технологій, таких як розподілений штучний інтелект та квантові обчислення, дозволить створювати ще більш ефективні та адаптивні виробничі системи. Інженери будуть працювати в умовах повної інтеграції кіберфізичних систем, що змінить підходи до проектування та управління виробництвом.

В результаті можна говорити, що індустрія 4.0 змінює обличчя інженерії, вводячи нові технологічні стандарти та вимоги до кваліфікації фахівців [4]. Важливою складовою успіху в цю епоху є здатність інженерів до постійного навчання та адаптації до нових технологій. Таким чином, інженерія сьогодення та майбутнього є інтерактивним процесом розвитку та інновацій.

ЛІТЕРАТУРА

- 1 V. Roblek, M. Meško, and A. Krapež, "A Complex View of Industry 4.0," Sage Open, vol. 6, no. 2, 2016, doi: 10.1177/2158244016653987.
- 2 M. Javaid, A. Haleem, R. P. Singh, R. Suman, and E. S. Gonzalez, "Understanding the adoption of Industry 4.0 technologies in improving environmental sustainability," Sustainable Operations and Computers, vol. 3, 2022, doi: 10.1016/j.susoc.2022.01.008.
- 3 A. Gajek, B. Fabiano, A. Laurent, and N. Jensen, "Process safety education of future employee 4.0 in Industry 4.0," J Loss Prev Process Ind, vol. 75, 2022, doi: 10.1016/j.jlp.2021.104691.
- 4 M. Ghobakhloo, "The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0," Journal of Manufacturing Technology Management, vol. 29, no. 6, 2018, doi: 10.1108/JMTM-02-2018-0057.

CHEMICAL METHODS OF PLASTIC WASTE RECYCLING

A characteristic feature of the modern world is the human consumption of a wide range of goods, with production volumes constantly increasing. This trend also applies to various products made of polymer materials, including those of synthetic origin. Modern polymers have many advantages. They are strong, airtight, flexible, and, no less importantly, durable. The relative cheapness and high-performance properties make plastic very popular.

The widespread use of plastic products has led to a serious environmental problem associated with their disposal after the end of their service life. According to [1], more than 420 million tons of synthetic polymers are produced worldwide each year. More than a quarter of this amount is used to manufacture disposable products, after which they are thrown away. According to scientists, the average decomposition time of polymers produced by various technologies ranges from 450 years to infinity.

The introduction of restrictions on primary plastic use and the development of bills that more strictly regulate waste management mechanisms encourage the implementation of effective technologies for polymer materials utilization. A promising method of plastic waste dealing from an environmental and economic point of view may be its recycling, i.e. the conversion of waste polymers into secondary raw materials, energy or products with certain consumer properties. This approach has certain advantages [2]:

- reducing the degree of environmental pollution due to the reduction of polymer waste volume and carbon (IV) oxide emissions formed during the production of primary plastic;
- resource conservation, namely, reducing the use of hydrocarbons, water and electricity used to produce plastic materials;
- obtaining additional products, heat and energy for other industries.

Experts believe that pyrolysis has the greatest prospects for solving this problem. The process refers to chemical methods of plastic recycling and allows the recycling of unsorted and contaminated polymer materials many times without loss of their quality [3].

Pyrolysis is based on a chain of chemical reactions that occur at temperatures from 450 to 800 °C in an environment without oxygen. Under these conditions, synthetic oil, a mixture of hydrocarbon gases and hydrogen, as well as a solid residue in the form of coke and metal compounds are formed. The yield and ratio of products depend on polymer waste qualitative composition, temperature, pressure, reaction time, type of reactor and the catalyst presence. When using temperatures above 600 °C (thermal pyrolysis), gaseous products are formed in larger quantities. Temperatures below 600 °C in catalyst presence contribute to liquid fraction formation. Secondary materials can be used for obtaining petrochemical products, in particular, new plastics, fuel, fillers for rubber products, building mixtures, etc. [4].

The main disadvantage of the pyrolysis process is the formation of chlorine compounds, which are part of some types of polymers. These compounds, in particular dioxins, are dangerous for living organisms, can lead to catalyst poisoning, deteriorate the quality of pyrolysis products, and also cause technological equipment corrosion. To eliminate this disadvantage, step pyrolysis, catalytic pyrolysis, and pyrolysis with adsorbents addition are used. During step pyrolysis, a preliminary low-temperature stage is carried out at a temperature of up to 350 °C to remove chlorine from the starting polymers in the form of HCl. Catalytic pyrolysis uses catalysts (metals on inorganic carriers, such as synthetic zeolites), which act both as pyrolysis catalysts and as inhibitors of the formation of chlorine compounds. To absorb HCl, adsorbents based on various materials are used: biomass (e.g., hemicellulose), petrochemical residues and alkaline substances (NaHCO_3 , CaO , CaCO_3 , Na_2CO_3 , Ca(OH)_2). The introduction of such methods allows making plastic waste pyrolysis relatively environmentally safe and one that meets all modern sanitary and hygienic standards.

Therefore, the introduction of effective technologies for plastic waste utilization allows for converting it into valuable secondary raw materials and reducing the economy's dependence on primary carbon-containing resources, which are gradually being depleted, as well as solving the environmental pollution problem.

REFERENCES

1. How Much Plastic Does the World Produce? Our World in Data. Available at: <https://ourworldindata.org/plastic-pollution#how-much-plastic-does-the-world-produce> (accessed 23.11.2020).
2. Михайлова Є. О., Дейнека Д. М., Панчева Г. М. Аналіз методів перероблення пластикових відходів. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». 2021. № 1 (7). С. 80–89.
3. Arun Kumar. Awasthi et al. Plastic solid waste utilization technologies: A Review. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2017. 263 022024. doi:10.1088/1757-899X/263/2/022024.
4. Qureshi M. S., Oasmaa A., Pihkola H., Deviatkin I., Tenhunen A., Mannila J., Minkinen H., Pohjakallio M., Laine-Ylijoki J. (2020). Pyrolysis of plastic waste: Opportunities and challenges. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 152, 104804. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2020.104804>.

Монастирський Ю.А., Борис Д.С.
Криворізький національний університет

НЕОБХІДНІСТЬ РОЗРОБКИ ЗАСОБІВ КОМПЛЕКСНОЇ МЕХАНІЗАЦІЇ СВЕРДЛОВИННОЇ ГІДРОТЕХНОЛОГІЇ ПІДЗЕМНОГО ВИДОБУТКУ ЗАЛІЗНИХ РУД

Сучасний розвиток енергозберігаючих технологій якісної металургії з використанням залізорудної сировини для отримання залізистих порошків, виробництва феритів, акумуляторних мас, які засновані на відновленні заліза з порошкоподібних оксидів заліза потребує сировини яка може бути видобута та

отримана з використанням технології свердловинного гідровидобутку в криворізьких залізрудних шахтах. Експериментальні дослідження в залізрудних шахтах Кривого Рогу у 90-х роках минулого сторіччя показали можливість ефективного руйнування залізних руд струменями води зі свердловинних гідромоніторів з наступним отриманням з продукту гідроруйнування концентратів оксиду заліза що можуть бути використані у порошковій металургії [1, 2, 3]. Були розроблені перспективні екологічно-чисті ресурсозберігаючі технології відпрацювання покладів системами підповерхового обвалення [4]. Але на той час не склалися умови для впровадження та розвитку свердловинної гідромоніторної технології на залізрудних шахтах Криворізького залізрудного басейну, одною з причин була відсутність спеціального гідромоніторного обладнання для застосування, у тому числі для руйнування гірничого масиву, для доставки відбитої гірничої маси в межах видобувної ділянки (до 100 м), для зневоднення та транспортування, як до шахтних стволів (до 3-4 км), так і на поверхню з глибин 1500-1800 м.

Потреба сучасної бездоменної металургії у високоякісних оксидах заліза вимагає розробки технології їх отримання, у тому числі на основі технологій свердловинної гідро дезінтеграції в залізрудних шахтах.

Мета роботи: підвищення ефективності механізації виробничих процесів свердловинного гідромоніторного видобутку при підземній розробці родовищ маломіцних залізних руд на основі обґрунтування технічних умов експлуатації гірничих машин.

Об'єкт дослідження: процеси механізації та робочі процеси обладнання, що використовуються при гідромоніторному видобутку маломіцних залізних руд. Предмет дослідження: засоби комплексної механізації свердловинної гідромоніторної технології.

Наукова новизна: полягає у визначенні закономірностей зміни показників роботи комплексу гірничих машин які забезпечують свердловинний гідромоніторний видобуток в залежності від властивостей гірничих порід які видобуваються та транспортуються.

Практичне значення: розроблені рішення забезпечать підвищення ефективності механізації виробничих процесів свердловинного гідромоніторного видобутку при підземній розробці родовищ маломіцних залізних руд

В процесі досліджень будуть виконані: Аналітичний огляд. Постановка задач досліджень, обґрунтування та вибір методів досліджень. Теоретичні дослідження закономірностей зміни параметрів свердловинного гідромоніторного руйнування. Теоретичні дослідження закономірностей зміни параметрів доставки та зневоднення відбитої гірничої маси в межах виробничої ділянки. Економіко-математичне моделювання функціонування комплексу гірничих машин. Обґрунтування ефективних параметрів експлуатації гідровидобувного комплексу.

ЛІТЕРАТУРА

1 Экспериментальное исследование определения возможности добычи богатых железных руд методом скважинной гидротехнологии. Отчет о НИР рук. Гири В. С., N 30-39-92, Кривой Рог, КГРИ, 1992, 33 с.

2 Исследование возможности получения суперконцентрата в условиях шахты "Юбилейная" рудника "Сухая Балка". Отчет о НИР, рук. Тарасютин В. М., 1-И-93, Кривой Рог, АГНУ, 1993, 57 с.

3 Тарасютин В.М., Гирин В. С., Монастырский Ю. А. Экспериментальные исследования процессов скважинной гидротехнологии в шахтных условиях. // Разработка рудных месторождений. - Кривой Рог: КТУ. Вып. 63.- 1998. с.16–20.

4 Монастирський Ю. А. Технологія підповерхового обвалення при відпрацюванні багатих пухких залізних руд складних покладів. // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ: НГУ. Вип. 12.- 2008, с.78 – 82.

Монастирський Ю.А., Панченко А.К.
Криворізький національний університет

ЕЛЕКТРИФІКАЦІЯ КАР'ЄРНИХ САМОСКИДІВ У КРИВОРІЗЬКОМУ ЗАЛІЗОРУДНОМУ БАСЕЙНІ

Електрифікація кар'єрних самоскидів є одним із провідних підходів до зменшення витрат палива та покращення екологічних показників гірничих підприємств. Для Криворізького залізорудного басейну (КЗРБ), де видобуток руди здійснюється у масштабних кар'єрах, такі технології мають особливе значення.

Кар'єри Кривбасу, зокрема Інгулецький, Південний, Північний та Центральний ГЗК, характеризуються глибокими виробками, які вимагають значних витрат енергії для транспортування руди. Впровадження тролейних систем, що використовують електрифіковані самоскиди, дозволить значно оптимізувати процеси. Наприклад, використання системи Cat Trolley Assist може забезпечити скорочення витрат палива на 40%, що є критичним у регіоні з великими обсягами перевезень.

Особливо важливим є зменшення викидів шкідливих речовин, яке досягається завдяки застосуванню таких систем. Для промислових центрів, таких як Кривий Ріг, де екологічне навантаження є значним, впровадження електрифікації на кар'єрах може скоротити викиди вуглекислого газу до 50%. Це покращить якість повітря у регіоні та зменшить негативний вплив на здоров'я місцевого населення.

Ще однією перевагою є підвищення продуктивності перевезень. На крутих схилах кар'єрів Кривбасу, стабільне живлення від тролейних систем дозволяє самоскидам рухатися зі швидкістю, що перевищує можливості дизельних машин на 25%. Це скорочує час транспортування руди до збагачувальних фабрик і підвищує ефективність виробничих процесів.

Окрім того, впровадження електрифікації сприяє зниженню експлуатаційних витрат. Зменшення зносу двигунів внутрішнього згоряння у самоскидів, які працюють на електричній тязі, дозволяє значно скоротити витрати на технічне обслуговування.

Таким чином, електрифікація кар'єрних самоскидів є перспективним напрямом для кар'єрів Криворізького залізорудного басейну. Вона сприяє не лише економії ресурсів, але й вирішенню важливих екологічних та соціальних проблем регіону. Інтеграція таких технологій робить можливим сталий розвиток гірничодобувної галузі Кривбасу, одночасно забезпечуючи конкурентоспроможність підприємств на світовому ринку.

Морозенко О.С.

Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України

ЦИФРОВІ ДВІЙНИКИ У PLM-СИСТЕМАХ: РОЗВИТОК УПРАВЛІННЯ ЖИТТЄВИМ ЦИКЛОМ МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ

Product Lifecycle Management (PLM) система – це система загального користування на рівні підприємства, яка несе в себе інформацію про кожен з етапів життєвого циклу продукту компанії від розробки до зняття з виробництва та утилізації, та покликана створити єдиний інформаційний потік між всіма відділами компанії – розробників, закупників, виробництва, тощо.

PLM система є неодмінною частиною концепту Індустрії 4.0, яка в свою чергу оперує поняттям цифрового двійника деталі – це віртуальна модель фізичного об'єкта, процесу або системи, яка відображає їх реальний стан у режимі реального часу за допомогою даних, зібраних з датчиків або інших джерел. Цифровий двійник дозволяє проводити моніторинг, аналіз, симуляцію та оптимізацію операцій, забезпечуючи точне відображення і поведінку фізичного прототипу. Це сприяє покращенню ефективності, передбаченню можливих проблем і прийняттю обґрунтованих рішень у різних сферах, таких як виробництво, інфраструктура, енергетика і багато інших.

Стандарт ISO 13399 визначає терміни для характеристик різальних інструментів, що робить процес їх вибору, обліку й управління більш точним, полегшує створення бібліотек інструментів для САМ-систем, спрощуючи вибір оптимального для конкретної операції. Це відкриває можливості для інтеграції даних в "хмарні" системи, де користувачі можуть отримувати рекомендації щодо оптимальних параметрів різання на основі аналізу даних.

Підґрунтям практичного застосування інформації про інструмент є той факт, що при обробці використовуються не окремі компоненти інструментів, а саме інструментальні складання. Однак створення останніх у САМ-системах може бути тривалим і призводити до помилок – проблема полягає не в складанні як такому, а в точності його цифрової копії, адже для цього потрібно складати

моделі з різних каталогів та об'єднувати їх у CAD-програмах, перш ніж переносити у САМ-систем.

Одним з інтегрованих рішень для рекомендації інструментів і автоматизації створення складань у САМ-системі є розробка «CoroPlus® ToolGuide» від компанії Sandvik Coromant, яка дозволяє обрати інструмент, враховуючи тип обробки, матеріал та інші параметри. Програма формує список інструментів, вказує рекомендовані режими обробки й надає можливість створити збірку безпосередньо у САМ-системі або програмі симуляції.

Вказане дозволяє програмістам зручно працювати з різними каталогами, гарантуючи, що всі компоненти збірки будуть сумісними. Дані зберігаються в цифровій бібліотеці, а готова збірка легко переноситься у САМ-систему з попередньо встановленими параметрами та 3D-моделлю.

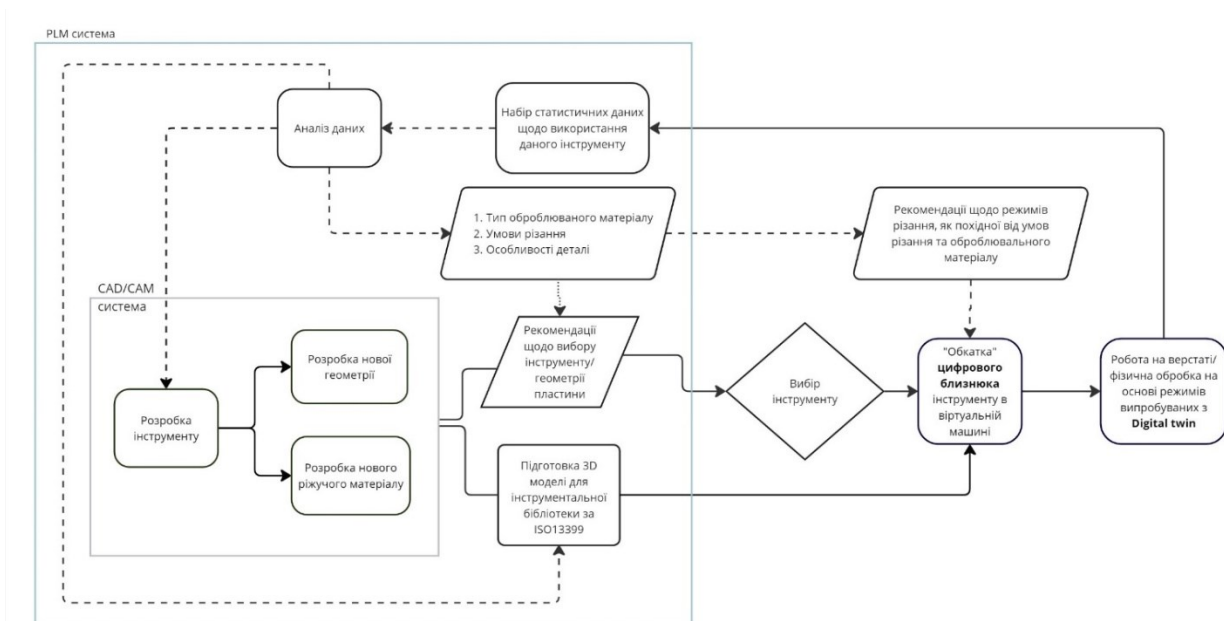


Рисунок 1 – Алгоритм роботи системи рекомендації інструменту

Шведський Королівський Технологічний Інститут розробив схему комунікації, яку назвав LISA (архітектура лінійної інформаційної системи), яка полегшує комунікацію між обладнанням різного походження, функціональних можливостей та віку. Відповідно до даного контексту, у випадку використання «цифрового пілота» – тобто відтворення процесу виробництва спочатку в «цифровому світі» за допомогою, зокрема, цифрового двійника інструменту, а потім, на основі аналізу даних в реальному – використовуються наступні етапи: – розробляється CAD-модель продукту та САМ-модель виробничого процесу; – створюється цифровий двійник інструменту відповідно до стандарту ISO 13399, враховуючи початкові значення та обмеження процесу, які формуються у базу даних; – з CAD-моделлю продукту, описом процесу з САМ-системою та параметрами інструменту проводиться симуляція й перевірка рішення для обробки; – фізичний інструмент збирається і його фактичні розміри показуються у базі як «реалізована» модель; – під час виробництва всі релевантні дані (компенсації інструменту, зміни, ріжучі параметри тощо) твітяться в реальному часі; – зібрані дані аналізуються з використанням технологій машинного

навчання і візуалізуються для операторів; – якщо виявлено проблему, звертаються до постачальників інструменту для підвищення продуктивності на 15%; – постачальник може відповісти з пропозицією оптимізації процесу, а оптимізований процес перевіряється та впроваджується.

Архітектурне рішення щодо застосування PLM системи для контролю та обробки інформації щодо інструменту може бути представлено на основі накопичених даних та наявної у виробника відповідної бібліотеки і виконує підбір таких інструментів в залежності від ввідних даних клієнта (рис. 1).

Таким чином, цифрові двійники у PLM-системах стають невід’ємною частиною виробництва, забезпечуючи можливості для ефективного управління життєвим циклом металорізальних інструментів. Завдяки стандартизації інтеграція цифрових рішень дозволяє не лише підвищити точність і продуктивність, а й зробити виробничі процеси більш передбачуваними.

*Немировський Я.Б., Отаманський В.В., Цісельський Д.С.
Державний університет «Житомирська політехніка»
Шепеленко І.В.*

Центральноукраїнський національний технічний університет

ОПТИМІЗАЦІЯ СХЕМИ ФОРМОУТВОРЕННЯ ПРИ ДЕФОРМУЮЧОМУ ПРОТЯГУВАННІ, ЯК ОСНОВА ВІДНОВЛЕННЯ ЗНОШЕНИХ ДЕТАЛЕЙ

В процесі експлуатації обладнання неминуче настає час коли її деталі виходять з ладу. Дефекти, що спостерігаються на поверхнях деталей ділять на три групи: 1. Зношування (крім зміни розмірів деталі сюди відносять появу подряпин, ризок та задирок на поверхні); 2. Механічні пошкодження (тріщини, викришування, поломки, вигини та скручування); 3. Хіміко-теплові пошкодження (короблення, раковини, корозія). Тенденції сучасного світу направлені на ресурсозбереження, а саме економію матеріальних паливно-енергетичних і сировинних ресурсів, тому більшість деталей намагаються відновлювати. Економічна доцільність використання відновлених деталей є важливим аспектом, адже це дозволяє значно скоротити потребу у виробництві нових деталей, що, в свою чергу, знижує витрати на сировину та енергію, а також зменшує обсяг відходів. Собівартість відновлення зношених деталей сягає 60% від вартості нових. Крім того відновлення деталей допомагає зменшити кількість відходів, оскільки зношені частини не викидаються, а отримують друге життя.

Зараз існує багато методів відновлення зношених деталей. До них можна віднести: обробку різанням у ремонтний розмір, металізацію, відновлення хімічними методами, термічне відновлення, електроерозійне, гальванічні методи відновлення, пластичне деформування та навіть 3D друк і багато інших. Вибір того чи іншого методу відновлення залежить від кількох факторів: типу та

розміру самих дефектів, форми, розмірів, матеріалів та інших параметрів деталей.

Наші дослідження направлені на вивчення одного з перспективних методів. Це відновлення порожнистих осесиметричних деталей методом холодного деформуючого протягування (ХПД). Даний метод почали досліджувати і впроваджувати на виробництвах починаючи з 50-х років минулого століття, адже він має ряд переваг над іншими методами обробки нових і відновлення зношених деталей [1, 2], а саме: простота виконання самого процесу, а також конструкції інструменту; збереження суцільності матеріалу завдяки перерозподілу матеріалу виробу на зношені ділянки; підвищення фізико-механічних властивостей матеріалу оброблюваного виробу; можливість поєднання з термічними і хіміко-термічними операціями дає змогу створювати гібридні технології; поліпшена технологічна спадковість дає змогу зберегти параметри якості деталей, навіть у разі використання додаткових фінішних операцій; забезпечення відсутності негативного впливу процесу на навколишнє середовище; можливість автоматизації процесу, що забезпечує застосування ХПД в умовах масового виробництва.

Деформуюче протягування – це процес пластичного деформування при якому зубці інструменту (дорна) переміщуються з натягом вздовж твірної оброблюваного отвору. Пластичне деформування поділяють на декілька видів: вигладжуюче (зменшення вихідної шорсткості поверхні отвору); калібруюче (підвищення точності розмірів і геометричної форми отворів); зміцнююче (підвищення фізико-механічних характеристик металу заготовки); формоутворююче (профілююча формоутворююча обробка отворів) [3].

При відновленні зношених деталей використовують вільне наскрізне деформуюче протягування, тобто деформації матеріалу відбувається по всій товщині стінки заготовки, при чому відсутні обмеження деформацій зовнішньої поверхні. Після даної операції спостерігається зміна всіх розмірів заготовки (діаметра отвору, діаметра зовнішньої поверхні та довжини) [1, 2]. Так в роботі [2] в залежності від режимів обробки, геометрії деталі та самої заготовки спостерігалися випадки як розбивки отвору після обробки (діаметр отвору ставав більше за діаметр циліндричної стрічки інструменту) так і усадки (діаметр отвору ставав менше за діаметр циліндричної стрічки інструменту). Також авторами роботи [3] в ході проведення експериментальних досліджень було виявлено випадки, коли осьові деформації призводили не тільки до укорочення обробленої деталі, але і до відсутності осьових деформацій або осьового подовження.

У попередніх дослідженнях було зрозуміло, що на формоутворення поверхонь оброблених заготовок впливають процеси, які відбуваються в осередку деформації, який складається з 3-х зон: ділянки контакту оброблюваного матеріалу з конічною поверхнею інструмента; та позаконтактних зон, сполучених з нею.

Нами були проведені дослідження направлені на уточнення процесів, які мають місце в осередку деформації та наукове обґрунтування схеми

формоутворення заготовки (отримання необхідних розмірів) при деформуючому протягуванні.

ЛІТЕРАТУРА

1 Розенберг А.М. Механика пластического деформирования в процессах резания и деформирующего протягивания [Текст] / А.М. Розенберг, О.А. Розенберг; отв. ред. П.Р. Родин. – К. : Наук. думка, 1990. – 320 с.

2 Немировский Я.Б. Технологическое обеспечение точности при обработке отверстий деформирующим протягиванием [Текст] / Я.Б. Немировский // Резание и инструмент в технологических системах: междунар. науч.-техн. сб. – Харьков: НТУ Украины «ХПИ», 2013. – Вып. 83. – С. 195–207.

3 Інженерія деталей, оброблених протягуванням: монографія / Е.К. Посвятенко, Я.Б. Немировський, С.Є. Шейкін, І.В. Шепеленко, О.В. Чернявський / ІНМ ім. Бакуля НАН України, ЦНТУ МОН України, Кропивницький: видавець Лисенко В.Ф., 2021. – 466 с.

Нечаєв В.П., Рязанцев А.О., Реброва С.В.
Криворізький національний університет

КОНТАКТНІ ЯВИЩА В ЗОНІ РІЗАННЯ ПРИ ПЛАЗМОВО-МЕХАНІЧНИЙ ОБРОБЦІ

Руйнування ріжучого леза інструмента й інтенсивність його зношування визначається рівнем сил і температур, що виникають в процесі різання. У зв'язку із цим доцільно більш докладно розглянути вплив попереднього плазмового нагрівання заготовки на характер розподілу силових і теплових навантажень, що діють на контактних поверхнях інструмента.

У якості завдання для подальшого дослідження можна представити гіпотезу, що при ПМО можуть складатися сприятливі умови для зниження інтенсивності руйнування та підвищення працездатності інструментів, у тому числі й внаслідок підвищення тендітної й пластичної міцності ріжучого клина. Це може дозволити здійснювати обробку з більшими перетинами зрізу й використовувати інструмент при більш високих величинах зношування, чому при звичайному різанні металів.

Аналіз раніше опублікованих робіт і власних результатів досліджень [1, 2] дозволяє узагальнити характер і особливості зношування інструментів при ПМО. При різанні із плазмовим нагріванням оброблюваного матеріалу зношування різального інструменту відбувається, як і при звичайному різанні, по передній і задній поверхнях ріжучого леза. Зношування по передній поверхні домінує в тих випадках пластина, що коли ріже, виготовлена з менш міцного матеріалу. У цьому випадку на передній поверхні леза утворюється й інтенсивно збільшується лунка, яка може служити джерелом викришування й руйнування ріжучої пластини.

Більш кращим є варіант експлуатації різального інструменту, коли домінує зношування по задній поверхні леза, а лунка зростає значно менш інтенсивно,

ніж в першому випадку. Як правило, зношування робочих поверхонь тут відбувається суттєво повільніше, причому фаска зношування по задній поверхні інструмента може досягати значної величини, до половини товщини пластини твердого сплаву.

Спостереження за роботою інструмента в лабораторних і виробничих умовах показують, що при фізичній природі зношування поверхонь ріжучого леза по ПМО носить переважно абразивно-адгезійний або адгезійний характер [1, 2].

Особливістю чорновий ПМО є нерівномірне зношування різних ділянок ріжучого леза інструмента (рис. 1). Характер процесу зношування й працездатність інструмента залежить від умов обробки, режимів різання й нагрівання, властивостей інструментального й оброблюваного матеріалів. Використання попереднього плазмового нагрівання заготовки в 2...3 рази знижує рівень напруг, що виникають близько ріжучої крайки, запобігаючи тим самим її інтенсивне округлення.

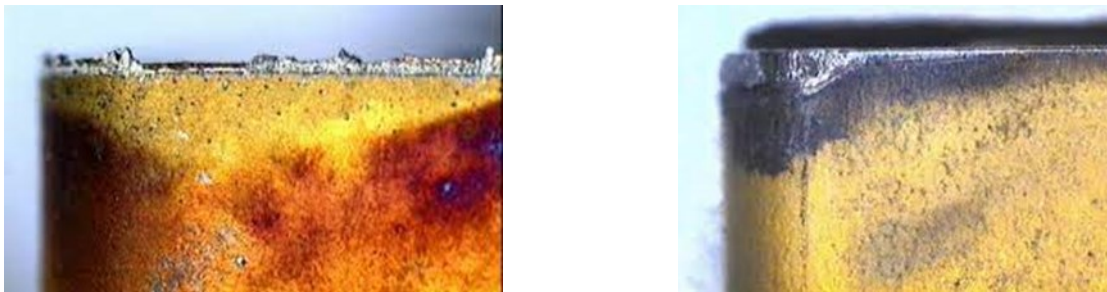


Рисунок 1 – Зношування твердосплавного різця по задній поверхні при ПМО сталі 110Г13Л ($t=6$ мм; $S=2,04$ мм/об; $V=15$ м/хв; $I=180$ А; $U=140$ В)

Ще одна особливість зношування різальних інструмент при ПМО важкооброблюваних матеріалів полягає у відносно короткому часі прироблення інструмента й подальшої лінійної залежності величини фаски зношування по задній поверхні інструмента від часу. Лінійний характер залежності підтверджує, що на контактній поверхні твердого сплаву в основному відбуваються адгезійні процеси.

Викладене дозволяє скласти уявлення про вплив різних факторів на період стійкості інструмента при ПМО. Априорі, період стійкості інструмента при ПМО залежить від виду ріжучого матеріалу, елементів режиму різання, режиму нагрівання оброблюваного матеріалу. Установлене, що до деякої межі температура нагрівання металу θ_h підвищує період стійкості T інструмента, а далі, зі збільшенням температури, період стійкості інструмента знижується. Наприклад, максимум періоду стійкості при ПМО заготовок зі сплаву ХН75МБТЮ, відповідав температурам нагрівання порядку 880...900°C [2].

Оптимальне значення θ_h залежить від властивостей оброблюваного, інструментального матеріалів і від режиму різання. Тому не може бути єдиних значень температур нагрівання, рекомендованих для забезпечення найбільшої стійкості інструмента, вони повинні зазнати оптимізації в кожному конкретному випадку для тих або інших умов ПМО.

ЛІТЕРАТУРА

1 Нечаєв В.П., Рязанцев А.О., Чернявська О.В., Лаухіна Л.І., Лавриненко Д.О. Вплив параметрів процесу плазмово-механічної обробки на якість поверхневого шару деталей. Кривий Ріг: Вісник Криворізького національного університету. Зб. науков. праць. Вип.49. 2019. С.105-112.

2 Нечаєв В.П., Рязанцев А.А. Особенности тепловых процессов при обработке заготовок с плазменным нагревом. Кривий Ріг: Вісник Криворізького технічного університету. Зб. науков. праць. Вип.26. 2010. С.157-160.

Нечаєв В.П., Рязанцев А.О., Реброва С.В.
Криворізький національний університет

ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ДЕТАЛЕЙ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ПЛАЗМОВО-МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

У результаті проведених досліджень були отримані дані про стан параметрів якості обробленої поверхні заготовки при нагріванні плазмовою дугою. Виявлена залежність виду мікроструктури від глибини поверхневого шару заготовки, установлений розподіл залишкових напруг по глибині поверхневого шару. Вивчені особливості схем розташування зон зі зміненою мікроструктурою і їх взаємозв'язок з режимами нагрівання й різання в конкретних умовах плазмово-механічної обробки.

Розроблений процес плазмово-механічного точіння, фрезерування та рекомендації з вибору параметрів нагрівання та різання дозволяють збільшити продуктивність обробки заготовок із середньо легованих сталей при забезпеченні заданих параметрів якості обробленої поверхні.

Нагрівання заготовки плазмовою дугою спричиняє чотири основні явища: зниження міцності оброблюваного металу; виникнення системи структурних перетворень і термічних напруг у поверхневих шарах заготовки; розплавлення частини металу, що підлягає зрізу, і зміна параметрів тертя на поверхнях контакту нагрітих металів заготовки й різального інструменту.

У таких умовах у поверхневих шарах заготовки відбуваються структурні зміни й розбудовуються термічні напруги, створюється дефектний шар.

У дефектному шарі можуть виникати тріщини, зміни хімічного складу металу, а також несприятливий розподіл залишкових напруг.

У процесі затвердіння й наступного охолодження ділянок заготовки, що розплавлялись під дією плазмової дуги, утворюється кілька зон структурно-зміненого, попередньо-напруженого металу. До поверхні нагрівання прилягає зона дезорієнтованих дендритів, у якій виникають глибокі тріщини. Під цією зоною розташовується шар зі стовпчастими дендритами, а далі - область, у якій виникають мікротріщини.

Оскільки ПМО в сучасних технологічних процесах застосовується на чорнових операціях, а подальша обробка заготовок здійснюється звичайними методами (без плазмового нагрівання), важливо з'ясувати, яка технологічна спадковість при ПМО залишкових напруг, що виникають після чистової обробки.

Становлять інтерес дослідження, у яких проводили виміру напруг у приповерхніх шарах матеріалу валів діаметром 550 мм і довжиною 1000 мм зі сталі 25ХНЗМФА. Спочатку вивчалися напруги після точіння із плазмовим нагріванням, а потім після чистової обробки [1]. Результати вимірів, представлені на рис. 1, показують, що режими ПМО впливають на величину й на розподіл залишкових напруг у поверхневих шарах металу.

Оскільки термічний цикл поверхневих шарів заготовки при плазмовому нагріванні, внаслідок структурно-фазових перетворень, істотно змінює їх фізико-механічні властивості у бік зменшення, з'являється можливість значно підвищити продуктивність обробки, забезпечуючи при цьому необхідну стійкість різального інструмента.

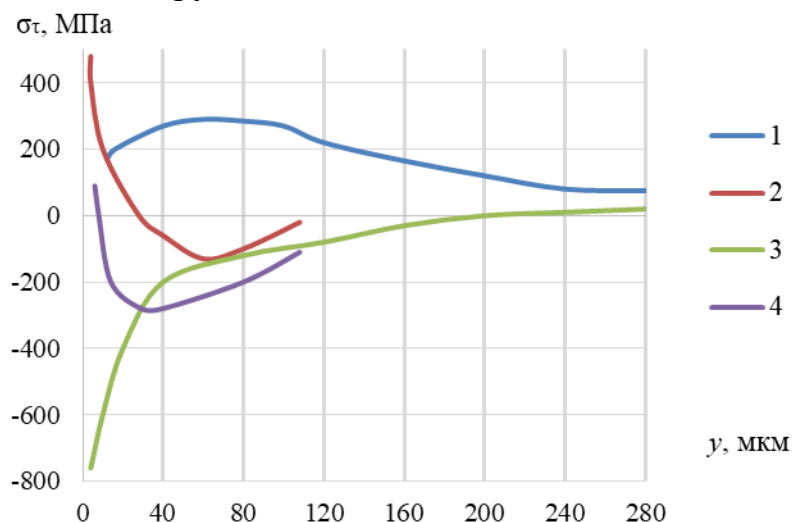


Рисунок 1 – Розподіл дотичних залишкових напруг у поверхневому шарі зразків зі сталі 25ХНЗМФА після чорнового точіння

При високотемпературному підігріві жароміцних сплавів можлива поява приповерхнього шару зі зміненою дрібнозернистою структурою глибиною 0,2...0,6 мм, що, однак, не знижує якості обробленої поверхні.

Дослідження, показали, що при чорновому й напівчистому точінні із плазмовим нагріванням шорсткість обробленої поверхні практично не відрізняється від шорсткості, отриманої при тому ж режимі різання без підігріву заготовки плазмовою дугою. Залишкові напруги в зовнішньому шарі формуються при ПМО як результат температурних і механічних деформацій, що відбуваються в металі під дією термічного циклу й процесу різання.

Висока ефективність ПМО робить актуальними подальші розробки, спрямовані на пошук нових способів застосування плазмової дуги для поверхневого нагрівання, знеміцнення припуску, що дозволило б значно підвищити продуктивність обробки важкооброблюваних матеріалів, за умовою забезпечення якості поверхневих шарів оброблюваних деталей

ЛІТЕРАТУРА

1 Нечаєв В.П., Позняков І.М. Структурні перетворення в зрізаному шарі при плазмово-механічній обробці. Київ: «Плазмотехнологія». Зб. наук.праць. 1991. С. 35-37

Ніколаєв О.Л., Поліщук В.А., Новошицький А.В.
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ГЛИБОКОГО СВЕРДЛІННЯ ТА РОЗРОБКА ОСНАСТКИ З МЕТОЮ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДРОБЛЕННЯ СТРУЖКИ ПРИ ВІБРАЦІЙНОМУ СВЕРДЛІННІ ОТВОРІВ

Обробка різанням пластичних матеріалів супроводжується появою великої кількості зливної стружки. У разі обробки свердлінням зливна стружка забиває канали відведення стружки, що призводить до необхідності зупинення виробничої операції та ускладнює експлуатацію обладнання. Таким чином, актуальним технологічним завданням є забезпечення надійного дроблення стружки під час обробки різанням.

Використання вібраційних технологій обробки різанням одна із можливих рішень отримання сегментної стружки. Шляхом правильного вибору комбінації частоти та амплітуди вібрацій для заданого поєднання частоти обертання, подачі та геометрії інструменту забезпечується надійне дроблення стружки, і зниження середніх значень сил різання, що призводить до збільшення терміну служби інструменту, і зниження витрат енергії на обробку.

Осьові вібрації інструменту досить великих амплітуд можуть призводити до виходу інструменту з матеріалу, отже, забезпечувати дроблення стружки. При цьому затирання по задній поверхні призводить до підвищеного зносу інструменту. У випадку малих амплітуд і радіальних коливань різання буде перериватися не через виходу інструменту з матеріалу, а перевищення віброшвидкості інструменту над швидкістю головного руху. Тобто. відбуватиметься короткочасна зупинка процесу різання, під час якого покращується підведення мастила в зону різання, інтенсифікуються процеси охолодження інструменту. Крім того, при свердлінні з осьовими вібраціями виникає ефект самонаведення інструменту, за рахунок багаторазової взаємодії бічної частини ріжучих кромок з вже обробленою бічною поверхнею отвору.

Таким чином, доцільно збудження переважно крутильних коливань інструменту у поєднанні з осевими. При цьому необхідно правильно вибирати частоти і амплітуди вібрацій для того, щоб звести негативні ефекти до мінімуму.

Основними типами пристроїв завдання зовнішнього гармонійного збудження є кінематичні конструкції з збудження. Крім того, існують вібросверлильні головки із застосуванням п'єзоелектричного, електромагнітного та інших фізичних принципів сполучення механічної енергії. Однак вони

повідомляють збудження малих амплітуд і високих частот і тому використовуються для дроблення стружки лише за дуже малих значень подач.

Недоліками існуючих рішень також є труднощі регулювання амплітуди збудження для конкретних вібропатронів, а також підвищений зношування деталей вібраційного пристрою. необхідними величинами амплітуд.

Розроблено конструкцію віброверлильної головки для свердління глибоких отворів у в'язких матеріалах з використанням крутильно-подовжніх автоколиваний інструменту зі змінною жорсткістю. В основу конструкції входить хвильовий перетворювач у вигляді борштанги із трьома призматичними пазами.

Для регулювання жорсткості використовується принцип переміщення суцільного перерізу при зміні вильоту борштанги, фіксація та регулювання якого здійснюється цанговим затискачем, при цьому забезпечуються по дві гармоніки крутильних та осьових коливаний. Дроблення стружки здійснюється переважно за рахунок крутильних коливаний, а осьові вібрації забезпечують самонаведення інструменту.

Висновок. Запропонована конструкція віброверлильної головки дозволяє ефективно дробити стружку при свердлінні глибоких отворів у в'язких матеріалах за рахунок використання двох гармонік крутильно-подовжніх автоколиваний вібраційного перетворювача. Частота та амплітуда коливаний в низькочастотному діапазоні (до 200 Гц) легко налаштовується і регулюється, що дозволяє покращити якість оброблюваної поверхні та оброблюваність матеріалу, підвищити стійкість інструменту та продуктивність обробки.

Новіков Д.Ф.

Харківський національний економічний університет
імені Семена Кузнеця

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЯМИ ВИРОБНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВ – ВАЖЛИВИЙ ЧИННИК ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ТА КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ПРОДУКЦІЇ, СОЦІАЛЬНОЇ ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ ТА ЗБІЛЬШЕННЯ ПРИБУТКУ

Відповідно принципам соціально відповідального маркетингу, продукція, що виготовляється, повинна відповідати вимогам замовника, бути безпечною в експлуатації та не завдавати шкоди навколишньому середовищу. Із огляду на специфіку, наприклад, машинобудівного виробництва більшість такої продукції розробляється під конкретного замовника за його технічними вимогами. Замовник вказує у технічному завданні перелік параметрів, яким має відповідати продукція, а розробник разом із виробником проектує нову продукцію або модернізують існуючий зразок згідно вимог конкретного замовника. Найчастіше замовник вказує у технічному завданні набір функцій, які має виконувати

виготовлений виріб, його відповідність екологічним нормам тощо. Завдання розробника – вказати необхідний перелік параметрів якості, яких слід дотримуватися під час виробництва, щоб продукція відповідала вимогам замовника. При цьому весь виробничий процес підприємства-виробника має бути рентабельним та приносити прибуток від виробництва продукції. На підприємстві має бути впроваджено систему якості ISO 9001:2015, яка дозволить здійснювати багаторазову перевірку якості продукції, що виготовляється.

Слід зазначити, що продукція повинна відповідати нормам сертифіката ISO 14001 та бути екологічно безпечною у виробництві та експлуатації, а також відповідати положенню ISO 26000:2010 щодо соціальної відповідальності підприємства. Більшість промислових підприємств, які асоціюють себе соціально відповідальними, мають сертифікати про впровадження ISO 9001:2015 та ISO 14001.

Питанням соціальної відповідальності маркетингу приділяють пильну увагу. При цьому багато уваги приділяють соціальній відповідальності маркетингу на ринку споживчих товарів, а ринок машинобудівної продукції залишається маловивченим. Проблема полягає у тому, що відсутній єдиний підхід із управління собівартістю та якістю продукції, що виготовляється. У класичній економічній літературі пропонують оптимізувати укрупнені складові процесу виробництва. Однак при цьому існує безліч варіантів оптимізації складових укрупненого показника, якими займаються вже технічні фахівці та які мають інше розуміння сутності оптимізації, ніж у економістів. У результаті економісти пропонують завдання на оптимізацію собівартості продукції, а технологи, одержуючи від економістів це завдання, оптимізують, переважно, параметри процесу виробництва та якості продукції.

При визначенні собівартості продукції необхідно аналізувати витрати на виконання технологічних операцій, оскільки вони безпосередньо пов'язані з виробничим циклом, і управління цими витратами дозволяє зменшити або збільшити прибуток підприємства. При зміні витрат на операцію змінюється якість продукції. І тут необхідно знати граничний рівень якості, при перевищенні якого продукцію будуть рахувати бракованою. Реалізуючи таку продукцію, керівництво підприємства навмисне порушує принципи соціально відповідального маркетингу, що приводить до накладення штрафних санкцій з боку замовника або контролюючих державних органів та, відповідно, зниження прибутку підприємства, а в деяких випадках і ліквідацію підприємства.

Для управління витратами на операції виготовлення кожної конкретної продукції необхідно визначити суттєвий показник якості або інтегральний показник кількох показників. У машинобудуванні одним із основних показників якості є шорсткість обробленої поверхні деталі. Тому на основі розробленої математичної моделі технологічних витрат на операції шліфування встановлено взаємозв'язок витрат на виконання операції та показника якості продукції (рис. 1). Витрати на виконання операції включають: заробітну плату основних робітників із соціальними відрахуваннями, витратний інструмент та матеріали, електроенергію на технологічні потреби.

На рис. 1 пунктирною лінією показано граничне значення показника якості продукції, перевищення якого вказує на те, що продукція бракована. Продукція, показник якості якої набуває значення, меншого граничного значення (розташованого ліворуч від пунктирної лінії), при реалізації відповідатиме заявленим у договорі вимогам, тобто відповідати принципам соціально відповідального маркетингу. Продукція, показник якості якої набуває значень, що перевищують граничне значення (розташовані праворуч від пунктирної лінії), буде бракованою, тобто, не відповідатиме деяким або всім вимогам, прописаним у контракті. Отже, у цьому випадку не виконуються принципи соціально відповідального маркетингу.



Рисунок 1 – Залежність витрат на виконання операції $V_{оп}$ від показника якості продукції



Рисунок 2 – Витрати на виконання операції $V_{оп}$ при різному рівні показника якості продукції

Аналіз значень показника якості продукції, що розташовані на схемі ліворуч від граничного кордону, показав, що існує безліч варіантів виробництва продукції (рис. 2). На рис. 2 видно, що у точці 1 продукція є якісною та відповідає найменшим витратам. У точці 2 якість продукції вище, ніж у точці 1, та й витрати на операцію вищі. У точці 3 якість продукції, а, відповідно, і витрати вищі, ніж у точках 2 та 1. У точці 4 якість продукції нижча, ніж у точках 1; 2; 3. При цьому продукція може бути навіть бракованою, хоча витрати менші, ніж в інших точках на схемі.

Підприємство, яке вирішило підвищити якість продукції, тобто, перейти зі стану, що визначається точкою 1 на схемі, до стану, що визначається точкою 2, збільшує свої витрати. Однак одночасно із підвищенням якості продукції, що виготовляється, відбудеться підвищення її конкурентоспроможності, збільшиться займана нею частка на ринку. Також у підприємства з'явиться можливість виходу зі своєю продукцією на закордонні ринки та участь у активній конкурентній боротьбі. Перехід у стан, що визначається точкою 3 на схемі, дозволить підприємству ще значніше збільшити свою конкурентоспроможність на вітчизняних та закордонних ринках аж до завоювання лідерства на них.

Отримання додаткового прибутку підприємства внаслідок підвищення якості продукції та зниження витрат на операцію можливе шляхом збільшення обсягів виробництва та реалізації продукції на нових ринках. На рис. 3 показано ще один варіант підвищення прибутку шляхом зниження витрат за незмінної якості або підвищення якості зі зниженням витрат.

Згідно до рис. 3, в умовах використання нових технологій, обладнання та інших технічних нововведень у виробництві продукції витрати на виконання операції знижуються при незмінному показнику якості продукції (перехід із точки 1 в точку 5). У цьому випадку можна досягти підвищення якості продукції без зміни витрат (здійснюючи перехід із точки 1 до точки 6) або навіть знижуючи їх (при переході із точки 1 до точки 7). Це рішення забезпечить підприємству суттєву конкурентну перевагу, що приведе до збільшення обсягів реалізації та, тим самим, до збільшення прибутку підприємства. Керівництво підприємства, спираючись на взаємозв'язок витрат на операцію та показники якості продукції, що виготовляється, може встановлювати необхідні рівні якості виготовленої продукції та витрат, які досягаються із придбанням нового обладнання, технологій, інструментів тощо.



Рисунок 3 – Витрати на виконання операції $V_{оп}$ із використанням нових технологій

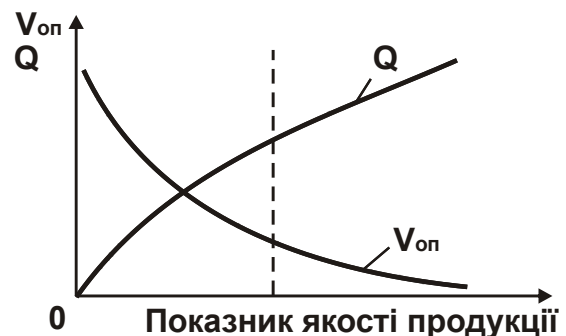


Рисунок 4 – Взаємозв'язок витрат на виконання операції $V_{оп}$, продуктивності праці Q та показника якості продукції

На рис. 4 показано взаємозв'язок трьох показників: витрат на операцію, продуктивності праці та якості продукції. Використовуючи цей взаємозв'язок, можна визначити величину витрат і продуктивність за певної величини показника якості продукції. Із аналізу взаємозв'язку продуктивності праці та якості продукції випливає, що при досягненні високих показників продуктивності праці якість продукції значно погіршується.

Соціально відповідальний маркетинг стає обмежувачем підвищення продуктивності праці вище певної величини, оскільки перевищення її призводить до випуску бракованої продукції (рис. 4). У таких випадках у керівника підприємства виникають три альтернативні рішення:

- працювати із мінімальною продуктивністю, але при цьому дотримуватися принципів соціально відповідального маркетингу та виготовляти якісну продукцію;
- підвищувати продуктивність і цим знижувати витрати на виконання операції для забезпечення можливості конкурувати на ринку завдяки нижчій ціні або отримання надприбутку, що порушує принципи соціально відповідального маркетингу, та реалізації бракованої продукції;
- впроваджувати нові технології у виробництво, що дозволяють підвищити продуктивність праці без зниження якості продукції (рис. 5).

Згідно до рис. 5, у результаті впровадження у виробництво нових технологій, у керівника підприємства з'являється можливість збільшення продуктивності праці без погіршення якості продукції. Це пов'язано зі значною зміною структури витрат на виготовлення продукції за новою технологією. Витрати на виготовлення додаткової продукції шляхом підвищення продуктивності праці включають витрати на: сировину і матеріали; витратні інструменти; електроенергію, що використовується на технологічні цілі; зміну амортизації виробничого обладнання на всю партію продукції.

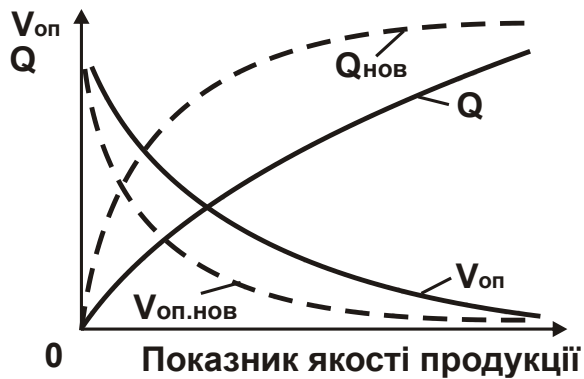


Рисунок 5 – Взаємозв'язок старої та нової технологій виробництва щодо якості продукції ($V_{оп}$ – витрати на операцію, Q – продуктивність праці)

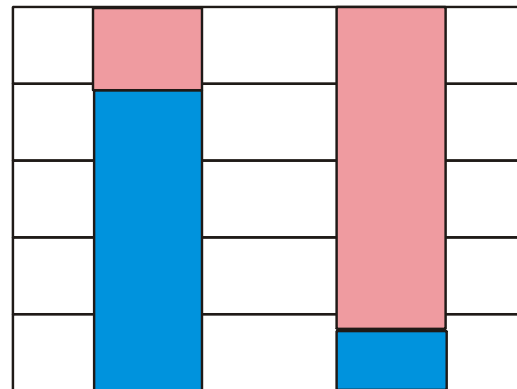


Рисунок 6 – Структура вартості продукції від впровадження нової технології виробництва

Постійні витрати враховують у собівартості партії продукції, що виготовляється за старою технологією. Витрати на заробітну плату із урахуванням соціальних відрахувань (якщо не змінюється тарифна ставка робітника) однакові для старої партії продукції та для нової партії продукції, збільшеної завдяки підвищенню продуктивності праці.

Якщо, наприклад, нове обладнання та технологія дозволяють збільшити продуктивність на 100 %, то підприємство зможе виготовляти за певний час не один виріб, а два вироби. Витрати на виробництво другого виробу дорівнюватимуть сумі вартості сировини, витратного інструменту, додатково використаної електроенергії, додаткової амортизації обладнання. Інші постійні витрати та витрати на фонд оплати праці основних робітників визначатимуть економічний ефект та збільшать валовий прибуток підприємства (рис. 6).

Основною вимогою для окупності проведеної модернізації підприємства є можливість укладання нових контрактів на виробництво продукції, збільшення частки ринку та вихід на нові закордонні ринки. Згідно до цих позицій, можна пояснити ефективність застосування на промислових підприємствах України нового високопродуктивного обладнання виробництва закордонних фірм. Як показує практика, від його застосування продуктивність праці збільшується до 10 разів при забезпеченні високої якості продукції, що виготовляється, й, відповідно, при дотриманні принципів соціально відповідального маркетингу. Це призводить до значного підвищення прибутку підприємства. Досягти такого

самого ефективного результату іншими маркетинговими методами для машинобудівних підприємств України практично неможливо.

Незважаючи на достатньо високу вартість зазначеного високопродуктивного обладнання закордонного виробництва, термін його окупності відносно невеликий. Наприклад, термін окупності придбаного АТ «Харківський машинобудівний завод «Світло шахтаря» (м. Харків) сучасного зубошліфувального верстата із ЧПУ моделі HOFLERRAPID 1250 (виробництво Німеччини) становив лише 6 місяців у зв'язку з досягнутим збільшенням продуктивності більш ніж у 5 разів та високою якістю продукції, що виготовляється. При цьому придбаний верстат також замінив роботу 4-х зубошліфувальних верстатів застарілої конструкції, що застосовувалися раніше на підприємстві. Все це і забезпечило зменшення терміну окупності придбаного зубошліфувального верстата до 6 місяців.

Тому зараз застосування закордонного обладнання на машинобудівних підприємствах України є найважливішою умовою інтенсифікації виробництва та створення високоякісної конкурентоспроможної продукції, що відповідає принципам соціально відповідального маркетингу, яка здатна вивести підприємства із кризового стану та домогтися їхньої беззбиткової діяльності.

Новіков Ф.В.

Харківський національний економічний університет
імені Семена Кузнеця

ТЕОРЕТИКО-ІМОВІРНІСНИЙ ПІДХІД ДО РОЗРАХУНКУ ТА АНАЛІЗУ ПАРАМЕТРІВ ШОРСТКОСТІ ОБРОБЛЕНОЇ ПОВЕРХНІ В ПРОЦЕСІ АБРАЗИВНОЇ ОБРОБКИ

Абразивну обробку застосовують для забезпечення високих показників якості, точності та шорсткості оброблюваних поверхонь деталей машин. При цьому особливого значення набувають питання обґрунтування умов суттєвого зменшення висотних параметрів шорсткості оброблюваних поверхонь. Для їх вирішення застосовують теоретико-імовірнісний підхід, який дозволяє аналітично встановити взаємозв'язки параметрів шорсткості поверхні з умовами абразивної обробки [1]. На цій основі встановлено імовірнісну функцію $\Phi(y)$ розподілу незнятого матеріалу за висотою мікропрофілю обробленої поверхні, починаючи із найглибшої западини мікропрофілю. Розглянуто 4 випадки, із яких 3 випадки без урахування застосування поперечної подачі абразивного інструменту.

1 Обробка абразивним інструментом із одновисотним (рівномірним) розташуванням абразивних зерен на його робочій поверхні (без урахування імовірності їх участі у процесі різання, рис. 1, а):

$$\Phi(y) = 1 - N \cdot \frac{y}{b}. \quad (1)$$

2 Обробка абразивним інструментом із одновисотним (рис. 1, б) і різновисотним розташуванням абразивних зерен на його робочій поверхні (урахування імовірності їх участі у процесі різання):

$$\Phi(y) = e^{-N \cdot \frac{y}{b}}; \quad (2)$$

$$\Phi(y) = e^{-N \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{y}{b} \right)^2}. \quad (3)$$

3 Обробка абразивним інструментом із різновисотним розташуванням абразивних зерен на його робочій поверхні (урахування поперечної подачі абразивного інструменту та імовірності участі зерен у процесі різання):

$$\Phi(y) = e^{-N \cdot \frac{1}{6} \left(\frac{y}{b} \right)^3}, \quad (4)$$

де $N = \frac{2 \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot n \cdot b}{B};$

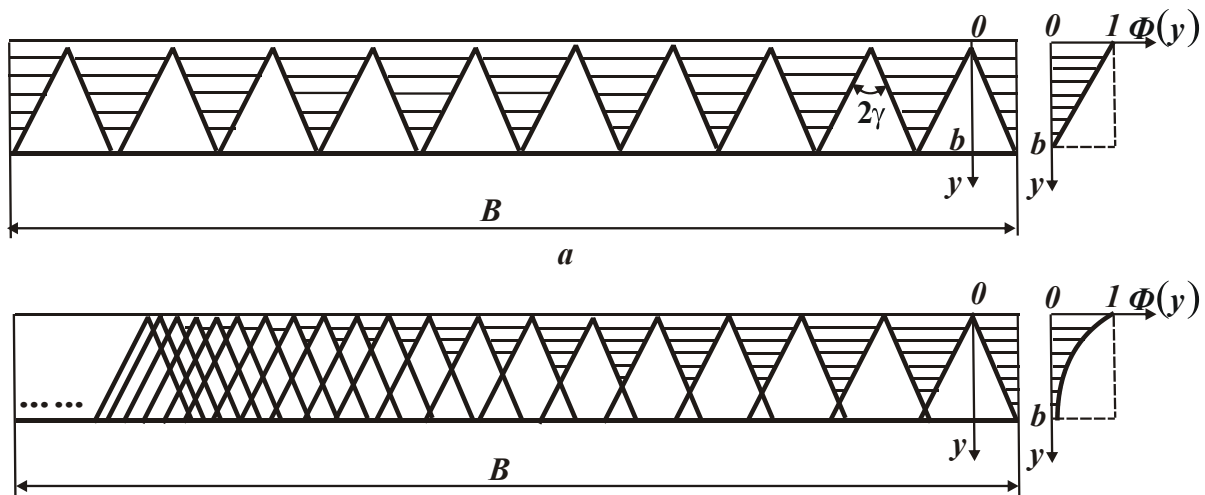
n – загальна кількість зерен, які приймають участь у формуванні шорсткості оброблюваної поверхні;

2γ – кут у вершини конусоподібного ріжучого зерна;

b – максимальна висота виступу вершин зерен над рівнем зв'язки абразивного інструмента, м;

B – ширина оброблюваної деталі, м;

y – координата, що відлічується від вершини зерна, м.



б
Рисунок 1 – Розрахункові схеми функції $\Phi(y)$ за умови рівномірного (а) і нерівномірного (б) розташування проекцій зерен на площині поперечного перерізу оброблюваної деталі

Величина $2 \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot n \cdot b$ визначає сумарну довжину основ проекцій n зерен на площині поперечного перерізу оброблюваної деталі за умови, що всі зерна рівновіддалені одне від одного (рис. 1,а). Тоді відношення $2 \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot n \cdot b / B$ буде

визначати, у скільки разів сумарна довжина основ проекцій n зерен на цю вертикальну площину $2 \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot n \cdot b$ буде більше ширини оброблюваної деталі B на рівні $y = b$. Отже, за фізичною суттю безрозмірна величина N визначає кількість накладань (1; 2; 3; ...) шарів робочої поверхні абразивного інструмента на площину поперечного перерізу оброблюваної деталі, які забезпечують виконання умови $y/b = 1$ при рівномірному розташуванні проекцій зерен на площині поперечного перерізу оброблюваної деталі (рис. 1, а).

На рис. 2 наведено графіки зміни функції $\Phi(y)$ для розглянутих 4-х випадків абразивної обробки. Найменші значення функція $\Phi(y)$ досягає в 1-му і 2-му випадках у зв'язку із тим, що зерна виступають над рівнем зв'язки абразивного інструмента на однакову висоту, а в 3-му та 4-му випадках – на різні висоти. Це, відповідно, приводить в 1-му і 2-му випадках до зменшення параметра шорсткості поверхні R_{max} (максимальної висоти мікронерівностей на оброблюваній поверхні).

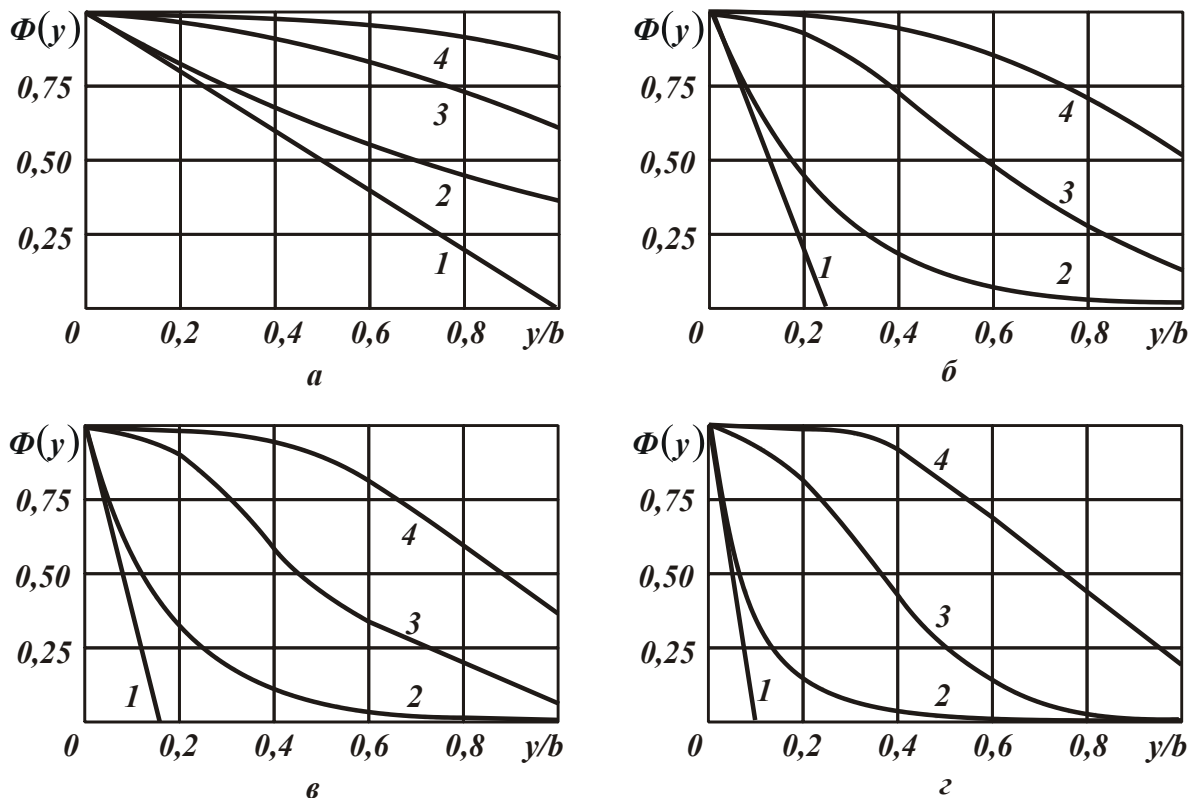


Рисунок 2 – Характер зміни функції $\Phi(y)$ за умов: $N = 1$ (а); $N = 4$ (б); $N = 6$ (в); $N = 10$ (г): 1; 2; 3; 4 – розрахунок функції $\Phi(y)$, відповідно, за залежностями (1) – (4)

Як видно, зі збільшенням безрозмірної величини N завдяки збільшенню загальної кількості зерен n , що приймають участь у формуванні шорсткості оброблюваної поверхні, значення функції $\Phi(y)$ суттєво зменшуються, наближаючись до нуля за умови $y/b = 1$. При цьому в 3-му і 4-му випадках форма функції $\Phi(y)$ зі збільшенням відношення y/b проходить точку перегину. Така форма функції $\Phi(y)$ є типовою для процесів шліфування [1].

За умови одновисотного розташування абразивних зерен (випадок 2 на рис. 2) типовою формою функції $\Phi(y)$ є форма, яка має місце під час обробки

вільним абразивом. Це указує на можливість зменшення шорсткості обробленої поверхні. Отже, зменшити шорсткість обробленої поверхні можна, перш за все, шляхом забезпечення рівномірного розташування ріжучих зерен на робочій поверхні абразивного інструменту.

На основі залежностей (1) – (4) визначено параметр шорсткості поверхні R_a для 4-х розглянутих випадків:

Випадок 1.
$$R_a = \frac{R_{max}}{4} = \frac{0,125 \cdot B}{tg\gamma \cdot n} \quad (5)$$

Як видно, чим більше величина n , тим менше параметр R_a . Однак відношення параметрів шорсткості поверхні R_{max} / R_a залишається незмінним та дорівнює $R_{max} / R_a = 4$.

Випадок 2.
$$R_a = \frac{0,367 \cdot B}{tg\gamma \cdot n} \cdot \frac{R_{max}}{R_{max}} = \frac{0,734 \cdot R_{max}}{N} \quad (6)$$

У цьому випадку параметр R_a тим менше, чим більше безрозмірна величина N . Застосовуване на практиці відношення $R_{max} / R_a = N / 0,734$ значно збільшується зі збільшенням безрозмірної величини N .

Із порівняння залежностей (5) і (6) випливає, що параметр R_a , розрахований на основі імовірнісного підходу (рис. 1, б), в 3 рази більше від параметра R_a , розрахованого на основі геометричних співвідношень за умови рівномірного розташування проекцій зерен на площині поперечного перерізу оброблюваної деталі (рис. 1, а).

Випадок 3.
$$R_a = 0,566 \cdot \frac{R_{max}}{\sqrt{N}} \quad (7)$$

Аналогічно залежності (6), параметр R_a теж зменшується зі збільшенням безрозмірної величини N , але з меншою інтенсивністю. Відповідно, відношення $R_{max} / R_a = \sqrt{N} / 0,566$ теж збільшується зі збільшенням безрозмірної величини N із меншою інтенсивністю, тобто приймає менші значення. Отже, забезпечення одновисотного розташування абразивних зерен на робочій поверхні абразивного інструмента дозволяє зменшити параметр шорсткості оброблюваної поверхні R_a порівняно із різновисотним розташуванням абразивних зерен на робочій поверхні абразивного інструмента.

Випадок 4.
$$R_a = 0,518 \cdot \frac{R_{max}}{\sqrt[3]{N}} \quad (8)$$

Таблиця 1 – Розрахункові значення відношення R_{max} / R_a

N	1	2	3	4	5	6	10	20	30
Випадок 1	4								
Випадок 2	1,36	2,72	4,08	5,44	6,8	8,16	13,6	27,2	40,8
Випадок 3	1,77	2,5	3,06	3,54	3,96	4,33	5,59	7,92	9,69
Випадок 4	1,93	2,43	2,8	3,07	3,3	3,51	4,17	5,24	6,0

Згідно до залежності (8), параметр R_a приймає ще більші значення порівняно із залежностями (6) і (7), а відповідно, відношення $R_{max}/R_a = \sqrt[3]{N}/0,518$ – менші значення (табл. 1). Це підтверджується експериментальними даними [1], за яких під час абразивного полірування параметр R_a приймає значно менші значення, а відношення R_{max}/R_a , навпаки, значно більші значення порівняно із процесом шліфування. Так, під час шліфування відношення R_{max}/R_a приймає значення в межах 4 – 6, а під час абразивного полірування може досягати значень на рівні 30. Як впливає із табл. 1, збільшення безрозмірної величини N в умовах шліфування (випадок 4) незначно впливає на збільшення R_{max}/R_a , тоді як в умовах абразивного полірування (випадок 2), навпаки.

ЛІТЕРАТУРА

1 Новіков Ф. В. Основи обробки металевих виробів з оптичними властивостями : монографія / Ф.В. Новіков, В.Г. Шкурूपій. – Харків : Вид. ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2015. – 388 с.

Новіков Ф.В.

Харківський національний економічний університет
імені Семена Кузнеця

ТЕОРЕТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ШЛІФУВАННЯ ТА УМОВ ЇЇ ЗМЕНШЕННЯ

Визначальним чинником ефективного застосування процесів шліфування деталей машин у більшості випадків є висока теплова напруженість процесу різання, яка може привести до появи припикань та інших температурних дефектів на оброблюваних поверхнях. Тому для обґрунтування умов зменшення теплової напруженості процесу різання та температури шліфування важливо провести теоретичний аналіз закономірностей формування температури шліфування.

Професор Якимов О. В. у роботах [1, 2] встановив, що під час шліфування розрахунок температури шліфування можна виконувати на основі спрощеної розрахункової схеми (рис. 1). Для цього слід подати припуск, що знімається, пакетом елементарних прямолінійних адіабатичних стержнів, через які (із-за теплопровідності оброблюваного матеріалу) тепло поширюється із зони різання вглиб поверхневого шару оброблюваної деталі (рис. 1).

У результаті розрахунок температури шліфування зводиться до визначення закону розподілу температури вздовж адіабатичного стержня, на торці якого (у зоні контакту шліфувального круга із оброблюваним матеріалом) діє теплове джерело із щільністю теплового потоку q протягом часу $\Delta\tau$. Для цього виділимо в адіабатичному стержні із площею поперечного перерізу S елементарний об'єм довжиною Δx і встановимо кількість тепла, яке надійшло до нього в результаті теплопровідності оброблюваного матеріалу за час $\Delta\tau$:

$$\lambda \cdot \frac{d\theta}{dx} \cdot S \cdot \Delta\tau, \quad (1)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності оброблюваного матеріалу, Вт/(м·град);
 θ – температура адіабатичного стержня в точці з координатою x , град.;
 $\Delta\tau$ – час, с.

За законом збереження енергії, таку ж кількість тепла витрачено на нагрівання цього ж елементарного об'єму адіабатичного стержня:

$$c \cdot \rho \cdot S \cdot \int_0^x \theta \cdot dx, \quad (2)$$

де c – питома теплоємність оброблюваного матеріалу, Дж/(кг·град);
 ρ – щільність оброблюваного матеріалу, кг/м³.

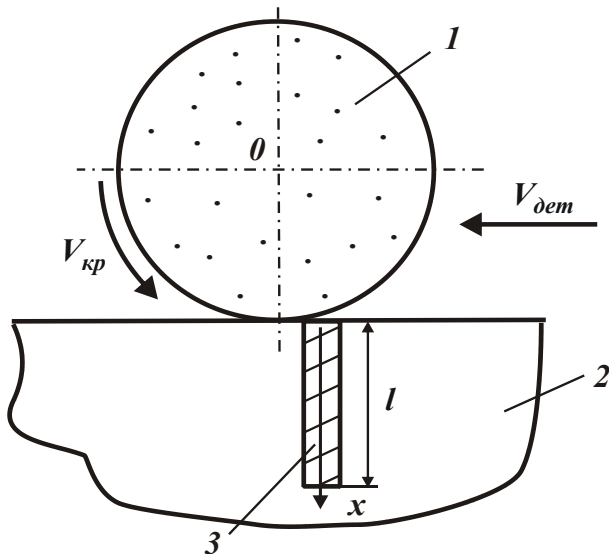


Рисунок 1 – Розрахункова схема температури шліфування: 1 – круг; 2 – деталь; 3 – адіабатичний стержень

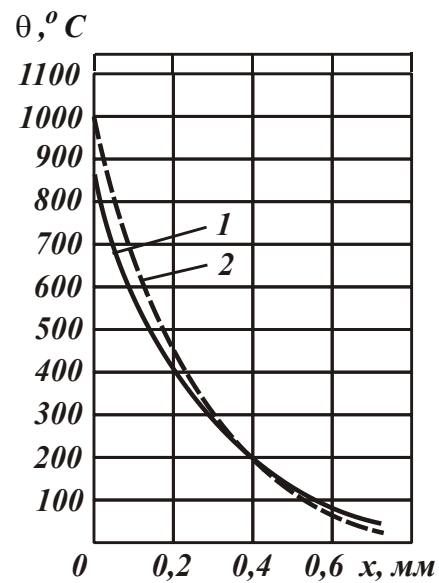


Рисунок 2 – Розрахункові (1) та експериментальні (2) значення температури шліфування

Тоді, порівнюючи кількості тепла, яке надійшло до елементарного об'єму адіабатичного стержня та витрачено на його нагрівання, тобто порівнюючи залежності (1) і (2), отримано рівняння:

$$\lambda \cdot \frac{d\theta}{dx} \cdot \Delta t = c \cdot \rho \cdot \int_0^x \theta \cdot dx. \quad (3)$$

Після диференціювання лівої і правої частин рівняння (3) за координатою x , отримано диференціальне рівняння:

$$\frac{d^2\theta}{dx^2} - \alpha \cdot \theta = 0, \quad (4)$$

де $\alpha = \frac{c \cdot \rho}{\lambda \cdot \Delta\tau}.$

Розглянемо випадок $\tau > \Delta\tau$, за яким теплове джерело із щільністю теплового потоку q діє на торець адіабатичного стержня на протязі всього часу

обробки τ . Тоді $\alpha = \frac{c \cdot \rho}{\lambda \cdot \tau}$. У результаті маємо диференціальне лінійне рівняння (4) другого порядку із постійними коефіцієнтами без правої частини. Його рішенням є функція $\theta = e^{-r \cdot x}$. При цьому число r повинно задовольняти характеристичне рівняння:

$$r^2 - \alpha = 0; \quad (r - \sqrt{\alpha}) \cdot (r + \sqrt{\alpha}) = 0. \quad (5)$$

Рішенням характеристичного рівняння (6) є:

$$\begin{cases} r_1 = \sqrt{\alpha}; \\ r_2 = -\sqrt{\alpha} \end{cases} \quad (6)$$

Тоді із урахуванням функції $\theta = e^{-r \cdot x}$ маємо:

$$\begin{cases} \theta_1 = e^{\sqrt{\alpha} \cdot x}; \\ \theta_2 = e^{-\sqrt{\alpha} \cdot x} \end{cases} \quad (7)$$

Функції $\theta_1 = e^{\sqrt{\alpha} \cdot x}$ і $\theta_2 = e^{-\sqrt{\alpha} \cdot x}$ дають два лінійно незалежних рішення. Загальним рішенням диференціального рівняння (4) є:

$$\theta = C_1 \cdot e^{\sqrt{\alpha} \cdot x} + C_2 \cdot e^{-\sqrt{\alpha} \cdot x}, \quad (8)$$

де C_1, C_2 – постійні інтегрування, визначаються із граничних умов:

$$\theta|_{x \rightarrow \infty} = 0; \quad (9)$$

$$\left. \frac{d\theta}{dx} \right|_{x=0} = -\frac{q}{\lambda}, \quad (10)$$

де $q = -\lambda \cdot \frac{\partial \theta}{\partial x}$ – щільність теплового потоку, Вт/м².

Підпорядковуючи рішення (8) першій граничній умові $\theta|_{x \rightarrow \infty} = 0$, видно, що вона виконується за умови $C_1 = 0$, оскільки зі збільшенням змінної $x \rightarrow \infty$ перший доданок залежності (8) буде необмежено збільшуватися, а другий доданок, навпаки, буде зменшуватися до нуля. Тому визначати температуру шліфування θ буде другий доданок:

$$\theta = C_2 \cdot e^{-\sqrt{\alpha} \cdot x}. \quad (11)$$

Відповідно, перша похідна температури шліфування θ від змінної величини x набуває вигляду:

$$\frac{d\theta}{dx} = -C_2 \cdot \sqrt{\alpha} \cdot e^{-\sqrt{\alpha} \cdot x}. \quad (12)$$

Підпорядковуючи залежність (11) другій граничній умові (10), маємо:

$$C_2 = \frac{q}{\lambda \cdot \sqrt{\alpha}} = q \cdot \sqrt{\frac{\tau}{c \cdot \rho \cdot \lambda}}. \quad (13)$$

У результаті залежність (11) приймає вигляд:

$$\theta = q \cdot \sqrt{\frac{\tau}{c \cdot \rho \cdot \lambda}} \cdot e^{-\sqrt{\frac{c \cdot \rho}{\lambda \cdot \tau}} \cdot x}. \quad (14)$$

Як видно, із віддаленням від торця адіабатичного стержня, тобто від місця дії теплового джерела щільністю q , температура шліфування θ безперервно зменшується за експонентним законом, асимптотично наближаючись до нульового значення. Максимальна температура шліфування θ_{max} досягається за умови $x = 0$ та визначається:

$$\theta_{max} = q \cdot \sqrt{\frac{\tau}{c \cdot \rho \cdot \lambda}}. \quad (15)$$

Зменшити максимальну температуру шліфування θ_{max} можна шляхом зменшення щільності теплового джерела q та часу його дії τ .

Для оцінювання достовірності отриманого теоретичного рішення проведено порівняння розрахункових та експериментальних значень температури шліфування θ під час здійснення плоского шліфування сплаву ЖС6К ($a = \lambda / (c \cdot \rho) = 3,73 \cdot 10^{-6}$ м²/с; $\lambda = 16,6$ Дж/(м·с·град); $c \cdot \rho = 4,46 \cdot 10^6$ Дж/(м³·град)) із режимом шліфування: $V_{dem} = 0,1$ м/с; $t = 0,02$ мм; $R_{кр} = 0,1$ м ([3]).

Час контакту шліфувального круга із оброблюваною деталлю визначається залежністю $\tau = l / V_{dem} = \sqrt{2t \cdot R_{кр}} / V_{dem}$, де $l = \sqrt{2t \cdot R_{кр}}$ – довжина контакту круга із оброблюваною деталлю, м. У результаті розрахунків встановлено: $\tau = 0,02$ с. Експериментальне значення щільності теплового потоку q для розглянутих умов обробки ($V_{dem} = 0,1$ м/с; $t = 0,02$ мм; $R_{кр} = 0,1$ м) дорівнює: $q = 52 \cdot 10^6$ Вт/м².

Після підстановки встановлених вихідних даних у залежність (14) отримано розрахункові значення температури шліфування θ (табл. 1, рис. 2). На рис. 2 також наведено експериментальні значення температури шліфування за роботою [3].

Таблиця 1 – Розрахункові значення температури шліфування θ

x , мм	0	0,1	0,2	0,4	0,6
θ , °С	856	594	413	201	95

У результаті порівняння розрахункових і експериментальних значень температури шліфування θ (рис. 2) встановлено, що вони відрізняються в межах 14 %. Це указує на достовірність отриманого теоретичного рішення та дозволяє у першому наближенні застосовувати отриману залежність (14) для практичних розрахунків температури шліфування θ під час розроблення технологічних процесів шліфування деталей машин [4].

ЛІТЕРАТУРА

- 1 Якимов О. В. Переривчасте шліфування / О. В. Якимов. – Київ: Вища школа, 1986. – 175 с.
- 2 Теплофізика механічної обробки : підручник / О.В. Якимов, А.В. Усов, П.Т. Слободяник, Д.В. Іоргачов. – Одеса: Астропринт, 2000. – 256 с.

3 Ящерицын П.И. Тепловые явления при шлифовании и свойства обработанных поверхностей / П. И. Ящерицын, А. К. Цокур, М. Л. Еременко. – Минск: Наука и техника, 1973. – 184 с.

4 Шевченко С.М., Погрібний М.А., Новіков Ф.В., Дитиненко С.О., Реброва О.М., Протасенко Т.О. Вплив алмазно-іскрового шліфування на параметри якості поверхні твердого сплаву реліт. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я. (MicroCAD-2024): XXXII Міжнародної науково-практичної конференції, 22-25 травня 2024 р. – С. 330.

Олесюк О.В, Погорєлов А.І., Перпері Л.М.
Національний університет «Одеська політехніка»

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ НАПРУГИ ДЛЯ ЦИФРОВОГО МУЛЬТИМЕТРА В СЕРЕДОВИЩІ SCILAB

Важливість застосування цифрових технологій Industry 4.0 на сьогодні підтверджена як багатьма дослідженнями, так і практичним провадженням їх результатів у різних галузях виробництва. В цьому аспекті використання сучасних програмних продуктів для моделювання та симуляції виробничих процесів і процесів вимірювання, як для проведення досліджень, так і в освітньому процесі є актуальним завданням [1, 2].

В даній роботі розглядається моделювання системи вимірювання напруги для цифрового мультиметра, які широко застосовуються в різних сферах інженерної діяльності, за допомогою вільно розповсюджуваного програмного середовища Scilab.

Слід відзначити, що сьогодні існує безліч моделей з різними функціональними можливостями та не існує «точного» визначення для мультиметра. Під мультиметром, частіше за все, розуміють вимірювальний прилад, здатний вимірювати декілька різних параметрів фізичних величин (наприклад напруги, струму та опору). Також поширення у використанні набули мультиметри, в яких реалізовано можливості підключення до комп'ютеру з метою передачі отриманих даних в інформаційні системи, що надає можливості візуалізації відображення зміни параметрів в реальному часі або відображення їх у графічному вигляді. Це може мати істотне значення при використанні в освітньому процесі [3].

Змодельована система дозволяє імітувати вхідний сигнал з реальними похибками, виявляти й коригувати похибки у вимірюваннях за допомогою функції калібрування та аналізувати результати у графічному вигляді. Модель імітує зміну напруги з часом у вигляді синусоїдального сигналу, похибка реалізується за рахунок додавання білого шуму, який моделює реальні перешкоди. Функція калібрування реалізується системою автоматичного коригування вимірюваних значень, порівнюючи їх з еталонною напругою.

Введення даних

Амплітуда:

Частота:

Амплітуда шуму:

Рисунок 1 – Вікно введення даних

Для запуску програми необхідно ввести вхідні параметри: амплітуду, частоту сигналу, амплітуду шуму та натиснути кнопку [Запустити]. Вікно введення представлено на рисунку 1.

При генерації сигналу формується синусоїдальний сигнал з урахуванням амплітуди та частоти. До сигналу додається білий шум із заданою амплітудою. Для аналізу похибок визначається середнє значення виміряного сигналу та обчислюється відхилення від еталонної напруги. На етапі калібрування скоригований сигнал обчислюється як:

$$V_{corrected} = V_{measured} - mean(V_{measured}) + V_{ref},$$

де $V_{corrected}$ – скориговане значення сигналу після калібрування;

$V_{measured}$ – значення виміряного сигналу, що включає реальні похибки;

$mean(V_{measured})$ – середнє значення виміряного сигналу;

$mean$ – функція, яка обчислює середнє значення сигналу (визначає середню похибку через зсув напруги);

V_{ref} – еталонна напруга, яка використовується як точка відліку для калібрування (встановлено 5 Вольт).

Отримані результати у графічному вигляді представлено на рисунку 2.

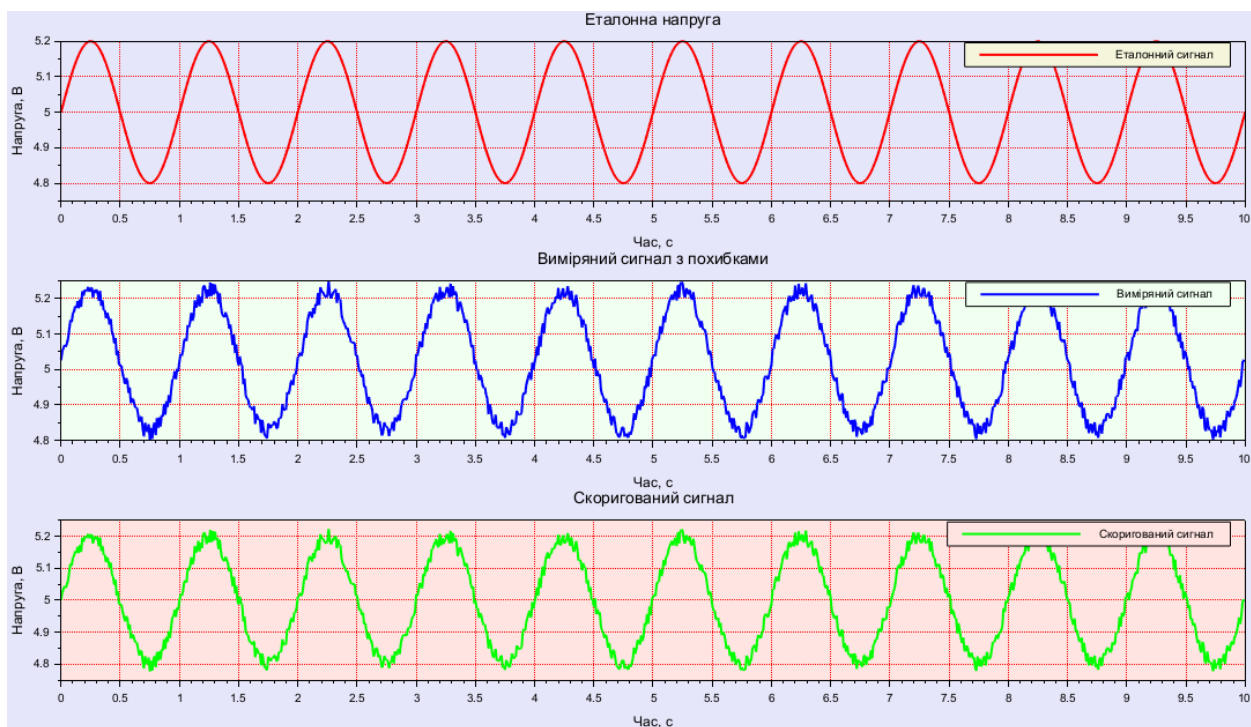


Рисунок 2 – Графічна візуалізація

Аналогічним чином може бути створена програма для вимірювання струму та опору.

ЛІТЕРАТУРА

1 Oborskyi, G., Gugnin, V., Perperi, L., Goloborodko, G., Goloborodko, V. (2024). Evaluation of Dust Concentration Using Computer Measurement Technologies. In: Tonkonogyi, V., Ivanov, V., Trojanowska, J., Oborskyi, G., Pavlenko, I. (eds) Advanced Manufacturing Processes V. InterPartner 2023. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. P. 541-549.

2 Перпері Л.М., Голобородько Г.М., Гугнін В.П., Голобородько В.В. Застосування сучасних комп'ютерних технологій в підготовці здобувачів за інженерними спеціальностями / Всеукраїнський науково-педагогічний форум «Інноваційні технології в освіті», 21-22 жовтня 2024 р., м. Івано-Франківськ, ІФНУНГ. С. 33-34. – Режим доступу: <https://drive.google.com/file/d/1W-WBi3HRaeexBl2kgewHx4y-3QcMiUNH/view>

3 Цифрові мультиметри: використання та призначення. – Режим доступу: <https://res.ua/blog/oglyad/tsyfrovi-multymetry-pryznachennja-ta-vykorystannja.html>

Пірогов Д.О., Воронцов Б.С.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ОСОБЛИВОСТІ ОБРОБЛЕННЯ ЗАГОТОВОК ІЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВУ Ti-6AL-4V ОТРИМАНИХ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ 3D ДРУКУ МЕТАЛІВ

На сьогоднішній день галузь виробництва титанових сплавів значно розвинена, нові технології та застосування цих сплавів продовжують збільшуватися. В останні роки усвідомлюється важливість використання титанових сплавів у виробництві деталей для літаків і автомобілів, газових турбін в енергетиці, медичних імплантатів і компонентів в інших галузях промисловості. Попит на титанові сплави зумовлений їхніми особливими механічними та термічними властивостями.

Титановий сплав Ti-6AL-4V широко використовується в перспективних галузях промисловості, оскільки поєднує в собі міцність, малу вагу і високу корозійну стійкість, а також демонструє хорошу оброблюваність, хороші втомні властивості і прийнятну в'язкість руйнування. Водночас Ti-6AL-4V є найпоширенішим титановим сплавом і використовується як витратний матеріал у сучасних технологіях 3D друку металів. Це значно спрощує виробництво заготовок з Ti-6AL-4V, дозволяє уникнути багатьох технічних проблем, отримати заготовки максимальної точності та якості, а також мінімізувати подальші етапи обробки [1].

З вищесказаного можна зробити висновок, що хоча титанові сплави мають великий потенціал для прискорення розвитку ключових технологій в різних галузях промисловості, взаємозв'язок між виробництвом заготовок і подальшою обробкою також потребує оптимізації і прискорення, а час, необхідний для виробництва титанових заготовок, може бути скорочений за рахунок використання сучасних адитивних технологій для виробництва заготовок замість

традиційних методів, таких як порошкове лиття, плазмове спікання, лазерне легування, штампування і волочіння.

Адитивне моделювання – це процес створення формованого об'єкта на основі CAD-моделі, створеної за допомогою системи автоматизованого проектування, шляхом пошарового створення заготовки та додавання матеріалу для кожного шару. Це ілюструє різницю між 3D-друком і традиційними методами виробництва. Технологія дозволяє видаляти зайвий матеріал із заготовки за допомогою механічної обробки. Адитивне виробництво може автоматизувати завдання створення прототипів продуктів і компонентів і має такі переваги, як зниження виробничих витрат завдяки скороченню часу створення заготовки, оскільки спеціальні та специфічні рухи інструменту можна звести до мінімуму. Економічна доцільність дрібносерійного виробництва, функціональна оптимізація або друк конфігурацій, які важко піддаються механічній обробці, гнучкість дизайну та зменшення втрат і відходів у виробництві. Однак водночас такі несприятливі фактори, як погана шорсткість, залишкова пористість, неоднорідна структура, різна чутливість продукції до температурних стресів, висока вартість обладнання та низька частка досліджень у сфері контролю якості та подальшої обробки кінцевого продукту також призводять до високої собівартості кінцевого продукту [2].

Щоб подолати проблеми розплавленого матеріалу, ефекту сходів та загалом низької якості поверхні необхідна додаткова якісна механічна обробка, використання правильних параметрів процесу обробки та інструменту для досягнення необхідної шорсткості та точності поверхні. Дослідження показали, що вплив швидкості різання та швидкості подачі на зусилля різання при обробці штампованих титанових сплавів та адитивно виготовлених значно відрізняється, так при обробці штампованих заготовок із титанового сплаву Ti-6Al-4V, сили різання зменшуються зі збільшенням швидкості, ніж при обробці заготовок отриманих адитивно, пояснюється це вищою текучістю та твердістю, тому що при збільшенні швидкості різання тепло, що генерується в зонах деформації збільшується в результаті нагріву через високу швидкість деформації і тертя між інструментом і заготовкою. Тепло яке виникає, не може розсіюватись в заготовці через погану теплопровідність титанових сплавів. Також при обробці адитивно виготовленої заготовки інструмент має швидший знос через вищі швидкості різання і постійне збільшення сили різання, так як ефекту термічного розм'якшення при якому сили різання зменшуються не спостерігалось. Сили подачі, мають таку ж тенденцію, при обробці як адитивних, так і штампованих заготовок. Сили подачі зростають, відповідно зростають і сили різання, через збільшення площі перерізу зрізаної стружки, оскільки матеріал чинить більший опір розриву і вимагає більших зусиль для видалення стружки. Шорсткість поверхні для адитивних заготовок при збільшенні швидкості різання знижується при обробці адитивних заготовок ніж для штампованих, це пов'язано із вищою твердістю і крихкістю адитивних заготовок. Більш тверді матеріали мають меншу пластичність, як наслідок шорсткість стає нижчою. Крім того, при високих швидкостях різання кількість матеріалу який знімається зменшується,

відповідно зменшується налипання матеріалу на передній поверхні інструмента, як результат, якість оброблюваної поверхні вища. При збільшенні швидкості подачі шорсткість обох заготовок зростала [3].

ЛІТЕРАТУРА

1 Veiga C., Davim J.P., Loureiro A. J. R. Properties and applications of titanium alloys: a brief review. *Rev. Adv. Mater. Sci.* 2012. № 32(2), – С. 133–148.

2 Полупан А.С. Дослідження питання впровадження адитивних технологій в авіабудівну галузь. *Open Information and Computer Integrated Technologies*. 2020. № 88. – С. 112–122.

3 Polishetty A., Shunmugavel M., Goldberg M. та ін. Cutting Force and Surface Finish Analysis of Machining Additive Manufactured Titanium Alloy Ti-6Al-4V. *Procedia Manufacturing*. 2017. №7. – С. 284–289.

Полянський В.І.

ТОВ «Імперія металів»

Новіков Ф.В.

Харківський національний економічний університет
імені Семена Кузнеця

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УМОВ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ТА ПРОДУКТИВНОСТІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

Сучасне машинобудування вимагає значного підвищення точності та продуктивності механічної обробки. Для цього застосовують ефективні технології високошвидкісної обробки на високооберткових металорізальних верстатах із ЧПУ типу «обробний центр» та прогресивні різальні лезові твердосплавні й керамічні інструменти зі зносостійкими покриттями закордонного виробництва. Однак, як встановлено на практиці, ці технології недостатньо вивчено, фактично відсутні науково обґрунтовані рекомендації щодо вибору раціональних методів механічної обробки, режимів різання та характеристик різальних інструментів для їх ефективного застосування на вітчизняних промислових підприємствах. Це стримує їх впровадження у виробництво. Тому важливо теоретично встановити та обґрунтувати нові технологічні можливості підвищення точності та продуктивності механічної обробки. Для цього аналітично визначено пружні переміщення (похибки розміру та форми поверхні), які виникають під час точіння, шліфування, розточування, свердління і фрезерування та визначають точність обробки.

Під час точіння пружне переміщення у за проходами n визначається:

$$y_1 = \frac{t}{\left(1 + \frac{c \cdot K_{pi3}}{\sigma \cdot S \cdot \cos \varphi}\right)}; \quad y_2 = \frac{t}{\left(1 + \frac{c \cdot K_{pi3}}{\sigma \cdot S \cdot \cos \varphi}\right)} + \frac{t}{\left(1 + \frac{c \cdot K_{pi3}}{\sigma \cdot S \cdot \cos \varphi}\right)^2}; \quad y_n = \frac{\sigma \cdot Q \cdot \cos \varphi}{c \cdot K_{pi3} \cdot V},$$

де c – приведена жорсткість технологічної системи, Н/м;

$K_{piz} = P_z / P_y$ – коефіцієнт різання;

$Q = S \cdot t \cdot V$ – продуктивність обробки, м³/с;

S – подача, м/об.;

V – швидкість різання, м/с;

φ – головний кут різця в плані.

Під час круглого поздовжнього шліфування пружні переміщення y за n проходів круга визначаються аналогічними залежностями:

$$y_1 = \frac{t}{\left(1 + \frac{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}}{\sigma \cdot H \cdot V_{дет}}\right)}; y_2 = \frac{t}{\left(1 + \frac{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}}{\sigma \cdot H \cdot V_{дет}}\right)} + \frac{t}{\left(1 + \frac{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}}{\sigma \cdot H \cdot V_{дет}}\right)^2}; y_n = \frac{\sigma \cdot Q}{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}},$$

де $Q = H \cdot t \cdot V_{дет}$ – продуктивність обробки, м³/с;

H – ширина шліфування, м;

$V_{дет}, V_{кр}$ – швидкості деталі та круга, м/с;

$K_{ш} = K_{piz}$.

Оскільки відношення σ / K_{piz} під час точіння значно менше, ніж під час шліфування, то, незважаючи на умову $V_{кр} > V$, під час точіння можна досягти зменшення пружного переміщення y_n та, відповідно, підвищення точності й продуктивності обробки.

Обґрунтовано умови підвищення точності механічної обробки отвору лезовими інструментами. Для цього визначено похибку форми оброблюваного отвору (як різницю найбільшого y_1 і найменшого y_2 пружного переміщень в двох протилежних напрямках) під час розточування (рис. 1) за проходами інструмента за умови розбіжності осей різця та отвору на величину Δ :

$$\Delta y_1 = y_1 - y_2 = \frac{t_1}{\left(1 + \frac{c \cdot K_{piz}}{\sigma \cdot S \cdot \cos \varphi}\right)} - \frac{t_2}{\left(1 + \frac{c \cdot K_{piz}}{\sigma \cdot S \cdot \cos \varphi}\right)} = \frac{\Delta}{\left(1 + \frac{c \cdot K_{piz}}{\sigma \cdot S \cdot \cos \varphi}\right)};$$
$$\Delta y_2 = \frac{t + y_1}{\left(1 + \frac{c \cdot K_{piz}}{\sigma \cdot S \cdot \cos \varphi}\right)} - \frac{t + y_2}{\left(1 + \frac{c \cdot K_{piz}}{\sigma \cdot S \cdot \cos \varphi}\right)} = \frac{\Delta}{\left(1 + \frac{c \cdot K_{piz}}{\sigma \cdot S \cdot \cos \varphi}\right)^2}; \Delta y_n = \frac{\Delta}{\left(1 + \frac{c \cdot K_{piz}}{\sigma \cdot S \cdot \cos \varphi}\right)^n},$$

де $t_1 = t + \Delta$;

$t_2 = t$ – максимальна та мінімальна глибини різання, м.

Як видно, зі збільшенням кількості проходів інструмента n величина y_n прагне до нуля. Це дозволяє усунути похибку форми оброблюваного отвору у вигляді невісесиметричності. За умови $\left(\frac{c \cdot K_{piz}}{\sigma \cdot S \cdot \cos \varphi} > 1\right)$ можна значно швидше

допомогтися заданої точності форми оброблюваної поверхні. Це досягається застосуванням технологій розточування отворів різцями із синтетичних

надтвердих матеріалів та сучасних збірних твердосплавних і керамічних різців зі зносостійкими покриттями закордонного виробництва.

Визначено похибку форми отвору під час його розсвердлювання зі зміщенням осі свердла відносно осі оброблюваного отвору на величину Δ :

$$y_1 = \frac{2 \cdot \sigma \cdot S \cdot \cos \varphi \cdot \Delta}{K_{\text{різ}} \cdot c}; \quad y_2 = \left(\frac{2 \cdot \sigma \cdot S \cdot \cos \varphi}{K_{\text{різ}} \cdot c} \right)^2 \cdot \Delta; \quad y_n = \left(\frac{2 \cdot \sigma \cdot S \cdot \cos \varphi}{K_{\text{різ}} \cdot c} \right)^n \cdot \Delta.$$

Сумарне уточнення $\varepsilon_{\text{сум}}$ та уточнення на проході ε визначаються:

$$\varepsilon_{\text{сум}} = \frac{\Delta}{y_n} = \left(\frac{K_{\text{різ}} \cdot c}{2 \cdot \sigma \cdot S \cdot \cos \varphi} \right)^n; \quad \varepsilon = \frac{\Delta}{y_1} = \frac{y_1}{y_2} = \frac{y_2}{y_3} = \dots = \frac{y_{n-1}}{y_n} = \frac{K_{\text{різ}} \cdot c}{2 \cdot \sigma \cdot S \cdot \cos \varphi}.$$

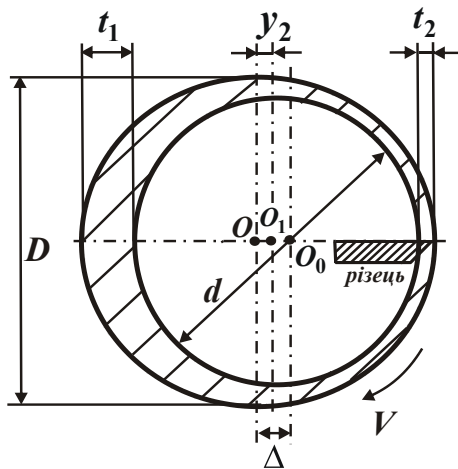


Рисунок 1 – Розрахункова схема пружного переміщення під час розточування отвору із початковим діаметром d

Виходячи із отриманого рішення, встановлено, що зі збільшенням проходів свердла пружне переміщення зменшується, а це приводить до збільшення похибки форми отвору. Тому обробку слід здійснювати за один прохід або за декілька проходів свердлами із різними діаметрами, збільшуючи діаметри свердел за проходками. Встановлено, що під час розсвердлювання отвору пружне переміщення (похибка форми оброблюваного отвору) більше, ніж під час його розточування.

Пружне переміщення під час розфрезерування отвору за n проходів:

$$y_1 = \frac{t}{\left(1 + \frac{c \cdot K_{\text{різ}} \cdot V_{\text{фр}}}{\sigma \cdot H \cdot V_{\text{дет}}} \right)}; \quad y_n = \frac{\sigma \cdot Q}{c \cdot K_{\text{різ}} \cdot V_{\text{фр}}},$$

де $Q = H \cdot t \cdot V_{\text{дет}}$ – продуктивність обробки, $\text{м}^3/\text{с}$;

H – ширина фрезування, м ;

$V_{\text{дет}}$, $V_{\text{фр}}$ – швидкості деталі та фрези, $\text{м}/\text{с}$.

Оскільки під час високошвидкісного розфрезерування отвору відношення $\sigma / K_{\text{різ}}$ менше, ніж під час шліфування, а $V_{\text{фр}} \approx V_{\text{кр}}$, то в цьому випадку величина y_n буде меншою, що дозволяє підвищити точність та продуктивність обробки порівняно із шліфуванням. Це указує на ефективність застосування на фінішних операціях обробки отворів сучасних технологій лезової обробки замість технологій шліфування.



Рисунок 2 – Штуцер. Матеріал – берилієва бронза БрБНТ: $n=1150$ об/хв., $S=0,05$ мм/об., $t=0,5$ мм; $Ra=0,8$ мкм. Обладнання – EX910, TAKISAWA (Тайвань)



Рисунок 3 – Фільєра макаронна «макарон». Матеріал – тефлон і латунь ЛС59: $n=1700$ об/хв, $S=0,02$ мм/об., $t=0,2$ мм; $Ra=0,8$ мкм. Обладнання – EX910, TAKISAWA (Тайвань)

На основі отриманих теоретичних рішень розроблено та впроваджено у виробництво ТОВ «Імперія металів» сучасні технологічні процеси точіння, розточування та фрезування складнопрофільної формуючої оснастки для харчової промисловості (рис. 2, рис. 3). Вони засновані на застосуванні сучасних збірних лезових твердосплавних і керамічних різальних інструментів зі зносостійкими покриттями та сучасних високообертових металорізальних верстатів із ЧПУ типу «обробний центр». Це дозволило замінити малоефективні традиційні технологічні процеси лезової обробки, до 10 разів підвищити показники точності, якості та продуктивності обробки, що важливо в умовах переходу від великосерійного до дрібносерійного і штучного виробництва складнопрофільної формуючої оснастки для харчової промисловості.

Пошванюк В.А.

Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України

МОДЕЛЮВАННЯ ЯВИЩ У ЗОНІ РІЗАННЯ ЯК ЕФЕКТИВНИЙ ІНСТРУМЕНТ ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ

Моделювання методами скінченних елементів (МСЕ) є одним із найефективніших інструментів для дослідження і вдосконалення процесів механічної обробки матеріалів. Завдяки своїй універсальності, МСЕ дозволяє дослідникам глибоко аналізувати явища, які відбуваються в зоні контакту інструменту з матеріалом, а також прогнозувати їхній вплив на кінцеві результати обробки.

Основними етапами моделювання є постановка задачі, створення моделі, вибір матеріальних властивостей, налаштування симуляції та аналіз отриманих результатів. На початковому етапі важливо визначити геометричні параметри оброблюваного матеріалу і інструменту, окреслити область контакту та сформулювати граничні умови. Наприклад, це можуть бути значення температур, швидкості подачі інструменту або тиску в зоні контакту. Після цього

в спеціалізованих CAD-програмах створюється тривимірна геометрична модель. Одним із важливих аспектів є генерування сітки скінченних елементів, причому особливу увагу слід приділяти підвищенню щільності сітки у критичних зонах, таких як область контакту інструменту і матеріалу. Саме якість сітки є ключовим фактором для підвищення точності розрахунків [1].

Наступним важливим кроком є вибір матеріальних моделей. Для важкооброблюваних сталей доцільно використовувати моделі, які враховують пластичну деформацію, зміцнення, температурну залежність та можливі фазові перетворення. Інструментальний матеріал, як правило, моделюється як жорстке тіло з урахуванням його термостійкості. Особливу увагу слід приділяти правильному налаштуванню симуляції: температурні режими, швидкість подачі та геометричні параметри інструменту визначаються на основі експериментальних даних або попередніх розрахунків.

Зокрема, дослідження температурних полів дозволяє визначити оптимальні режими різання, що сприяють зменшенню зносу інструменту та поліпшенню якості обробки. Аналіз напружень і деформацій у матеріалі показує, як змінюються механічні властивості заготовки в процесі обробки, а також допомагає оцінити залишкові напруження, які впливають на міцність і довговічність готових деталей.

Практичне застосування 3D-моделювання дозволяє оптимізувати геометрію інструменту, вибрати найкращі режими обробки і покращити якість поверхні оброблюваних деталей. Наприклад, результати моделювання допомагають визначити параметри покриттів інструменту, що мінімізують адгезійне зношування і збільшують термін його експлуатації. Застосування отриманих даних сприяє підвищенню продуктивності та економічності процесів різання.

У перспективних дослідженнях слід зосередитися на розробці моделей, які враховують зміну умов різання в реальному часі, а також на впровадженні цих моделей у промислові процеси. Використання моделювання забезпечує можливість глибокого аналізу складних процесів і відкриває нові підходи для підвищення ефективності механічної обробки матеріалів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Криворучко, Д.В. Основи 3D-моделювання процесів механічної обробки методом скінченних елементів: навчальний посібник / Д.В. Криворучко, В.О. Залога, В.Г. Корбач. – Суми : Вид-во СумДУ, 2010. – 208 с.

ПРОГНОЗНА ОЦІНКА ТОЧНОСТІ РОЗМІРІВ ПРИ ОБРОБЛЕННІ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК

Широке використання гнучких технологічних оброблювальних систем на основі верстатів з ЧПК, конструкції яких постійно вдосконалюються, що приводить до розширення їх технологічних можливостей, з одного боку, та до зростання їх вартості, а відповідно і вимог до ефективності їх застосування - з іншого. Одним із шляхів вирішення такого завдання є створення ефективних (оптимальних) ТП, які надійно забезпечуватимуть, зокрема вимоги по точності одержуваних розмірів без надмірних запасів точності та витрат ресурсів на їх досягнення. Основою для створення таких ТП та визнання їх прийнятності буде виконання розмірного моделювання та аналізу ТП (РМА ТП).

Виконання завдань РМА ТП, у тому числі визначення розмірних параметрів та оцінка точності конструкторських розмірів, заданих на креслениках, виконується на основі формування і розрахунку операційних розмірних ланцюгів (ОРЛ), у яких відповідні КР будуть замикаючими ланками, а ТР складовими. Такі розрахунки можуть виконуватись у процесі повного розмірного аналізу ТП або при аналізі окремих операцій ТП. Вони потребують певних витрат часу, але їх виконання не вимагає зупинки процесів оброблення та простою верстатів на час виявлення та усунення недоліків ТП, і результатом буде гарантоване забезпечення необхідних параметрів точності розмірів. Ефективне скорочення витрат часу може бути досягнуто за рахунок використання програм для автоматизації процедур РМА ТП [1, 2].

Незалежно від повноти розмірного аналізу, завдання оцінка точності одержуваних КР, та їх відповідності заданим вимогам виконується першим і воно є визначальним для виконання інших завдань проектування ТП, тому важлива висока якість і достовірність отриманих оцінок.

Якість прогнозних оцінок точності КР, буде визначатись якістю оцінки прогнозних величин полів розсіювання складових ланок-технологічних розмірів, які задаються на операційних ескізах та методологією розрахунку ОРЛ, у тому числі повнотою урахування особливостей формування КР, зокрема – взаємокомпенсації (ВЗК) похибок ТР.

Низька достовірність даних чи недосконалість методики розрахунку ОРЛ наприклад неврахування (ВЗК), може привести до заниження прогнозної оцінки точності КР та до хибного висновку, щодо недостатності рівня точності одержуваних розмірів, і засвідчить необхідність введення додаткового оброблення тоді, як фактично, потреби в додатковому обробленні не буде. Покажемо це на прикладі оброблення деталі на токарному верстаті з ЧПК (рис. 1). На ескізі (рис. 1) використано наступні позначення [1]: 1.0, 5.1, 6.1, 8.1 –

поверхні заготовки; $A1...A3$ – конструкторські розміри; $F1, F2, F3$ – технологічні розміри (1-й варіант); $F11, F21, F31$ – технологічні розміри (2-й варіант); $\omega1, \omega5, \omega6, \omega8$ – величини полів розсіювання технологічної бази та оброблюваних поверхонь.

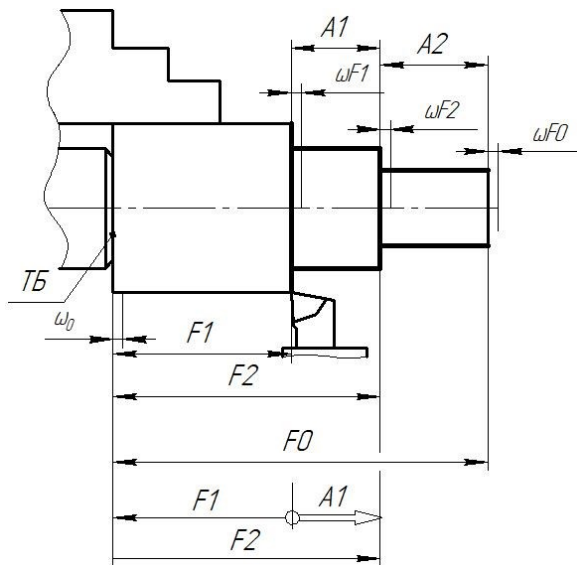


Рисунок 1 – Операційний ескіз і схема ОРЛ (1-й варіант)

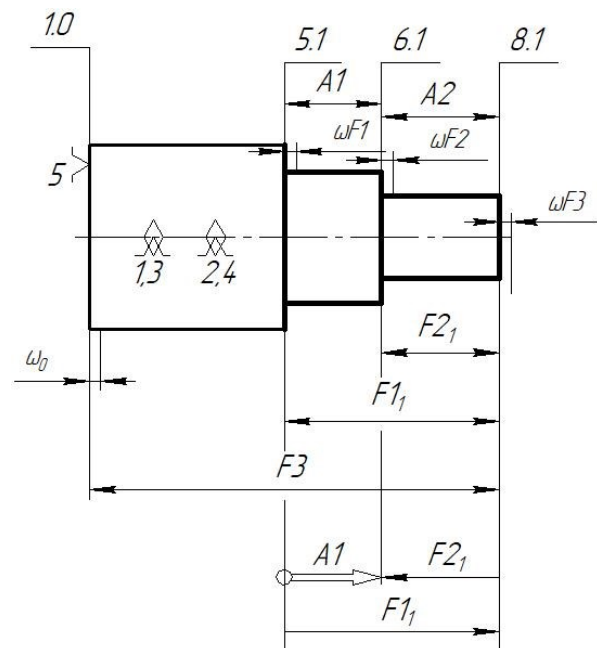


Рисунок 2 – Операційний ескіз і схема ОРЛ (2-й варіант)

Представимо ОРЛ та визначимо прогнозні значення полів розсіювання КР $A1$ для двох варіантів (рис. 1, 2), з урахуванням і без урахування (ВЗК), порівняємо їх.

1-й варіант: ОРЛ1

$$[A1] = -F1 + F2 \quad (1)$$

Рівняння прогнозної величини поля розсіювання КР $A1$, з урахуванням (ВЗК) [1, 2]:

$$[\omega A1] = \omega F1 + \omega F2 - 2\omega_k \quad (2)$$

При цьому, величина поля розсіювання ТР буде представляти собою суму полів розсіювань поверхонь, зв'язаних розмірами $F1, F2, F1_1, F2_1$ та іншими.

Отже, з урахуванням позначень поверхонь (рис.2) отримаємо:

$$\omega F1 = \omega_0 + \omega_5; \quad \omega F2 = \omega_0 + \omega_6;$$

В ОРЛ1 розміри $F1, F2$ мають протилежні знаки, у зв'язку з чим одночасна їх зміна на одну і ту ж величину ω_0 (похибка установки) приведе до повної їх (ВЗК) та означатиме відсутність впливу на КР $A1$. З урахуванням чого рівняння 2 матиме такий вид:

$$[\omega A1] = \omega_5 + \omega_6 - 2\omega_k \quad (3)$$

При цьому, згідно [1, 3] приймається, що $2\omega_k = 2 \cdot k \cdot \omega F_i$, а коефіцієнт $k = 0,6$ ($k = \omega_k / \omega F_i$) та відображає частку меншого за величиною поля розсіювання $\omega_5 F_i$, яка буде компенсована і не вплине на точність замикаючої ланки $A1$.

Отже, рівняння для розрахунку прогнозної величини поля розсіювання КР $A1$ матиме такий вид:

$$[\omega A1] = \omega_5 + \omega_6 - 2 \cdot k \cdot \omega_5 \quad (4)$$

Якщо прийняти, що для такої схеми оброблення $\omega_6 = \omega_5$, а коефіцієнт $k = 0,6$ то остаточно отримаємо:

$$[\omega A1] = \omega_5 + \omega_5 - 2 \cdot 0,6 \cdot \omega_5 = 0,8 \cdot \omega_5$$

Визначимо величину $\omega A1$ без урахування (ВЗК), тоді на основі рівняння (1) отримаємо

$$[\omega A1] = \omega F1 + \omega F2 \quad (5)$$

або після підстановки значень ω_i рівняння (3) матиме вигляд

$$[\omega A1] = \omega_5 + \omega_0 + \omega_6 + \omega_0$$

і навіть з урахуванням очевидної (ВЗК) ω_0 (похибки установки заготовки) отримаємо:

$$[\omega A1] = \omega_5 + \omega_6 = 2 \cdot \omega_5.$$

Отримані результати свідчать про те, що навіть при неповному врахуванні (ВЗК) прогнозні величини будуть завищеними у 2,5 рази.

Аналогічні розрахунки виконаємо для 2-го варіанту (рис. 2). ОРЛ1

$$[A1] = F1_1 - F2_1 \quad (6)$$

$$[\omega A1] = \omega_5 + \omega_8 + \omega_6 + \omega_8 \quad (7)$$

З урахуванням повної (ВЗК) ω_8 і часткової – ω_5 і ω_6 отримаємо:

$$[\omega A1] = \omega_5 + \omega_5 - 2 \cdot 0,6 \cdot \omega_5 = 0,8 \cdot \omega_5.$$

Тобто результат аналогічний 1-му варіанту, що відповідає механізму формування КР А1, який в обох варіантах призначення розмірів буде однаковий і не залежатиме від схеми технологічних розмірів, що є підтвердженням правильності та обґрунтованості такої методології урахування (ВЗК).

Висновки

1 Оцінка точності КР повинна виконуватись із урахуванням (ВЗК) похибок ТР, оскільки забезпечує високу якість прогнозування, незалежно від способів призначення ТР (координатний, ланцюговий чи їх комбінації), та слугує надійною основою для формулювання висновків щодо прийнятності розроблених ТП і можливого їх вдосконалення.

2 Не врахування схеми формування КР, зокрема (ВЗК) похибок ТР, може привести до недостовірної оцінки їх точності (прогнозні величини полів розсіювання можуть бути істотно завищеними) та формування на такій основі хибних рекомендацій, щодо необхідності введення додаткового оброблення.

ЛІТЕРАТУРА

1 Приходько В.П. Розмірне моделювання та аналіз технологічних процесів. [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» – Електронні текстові дані (1 файл: pdf. – 15,2 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 249 с. Доступ: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/38826>

2 Приходько В., Пуховський Є., Данилова Л., Лапковський С., Сапон С. Інформаційне забезпечення розмірного моделювання та аналізу технологічних процесів. – Технічні науки та технології, Чернігів. 2022, №3 (29), С.77-93. DOI:10.25140/2411-5363-2022-3(29)-77-93

3 Приходько, В.П., Пуховський, Є.С., Данилова, Л.М., Лапковський, С.В., Гаврушкевич, Н. В. (2023). Визначення та урахування величини взаємної компенсації похибок при прогнозуванні точності обробки на верстатах з ЧПК. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Механізація та автоматизація виробничих процесів, (4 (50), 78-85. <https://doi.org/10.32845/msnau.2022.4.12>

ПРОБЛЕМИ ОЦІНКИ ТОЧНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РОЗМІРІВ ПРИ ОБРОБЛЕННІ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК

Результати розмірного моделювання ТП і, одержані на їх основі, висновки та рекомендації в значній мірі будуть визначати рівень ефективності ТП, зокрема продуктивність і собівартість оброблення при безумовному забезпеченні вимог до точності розмірних параметрів. Достовірність та дієвість рекомендацій за результатами РМА ТП залежатимуть від якості прогнозової оцінки точності одержуваних конструкторських розмірів. Використання при РМА ТП оцінок точності розмірів, що значно відхилятимуться від реальних значень може призвести до помилкових рішень та рекомендацій щодо вдосконалення ТП. У зв'язку з чим підвищення якості прогнозування точності конструкторських розмірів (КР) є одним із основних засобів отримання адекватних оцінок і рекомендацій щодо прийнятності розроблених ТП та шляхів їх поліпшення.

У свою чергу, якість прогнозних оцінок точності КР, буде, у значній мірі, визначатись якістю оцінки прогнозних величин полів розсіювання технологічних розмірів (ТР), які задаються на операційних ескізах.

Розвиток конструкцій верстатів з ЧПК сприяє підвищенню точності, одержуваних у процесі оброблення, розмірів, що є позитивним фактором. У той же час, прогнозування точності ТР потребує актуалізації даних, щодо середньої економічної точності оброблення при використанні нових моделей верстатів.

Розглянемо та проаналізуємо проблеми, які необхідно вирішувати та враховувати при оцінці точності ТР.

У залежності від способу формування технологічних розмірів, їх можна розділити на 2 основні типи [1]: 1 тип – технологічні розміри, що забезпечуються від технологічної бази чи бази налаштування, шляхом оброблення однієї з двох поверхонь зв'язаних розміром F_i .

2 тип – ТР, що формуються паралельною чи послідовною обробкою в одному установі обох, зв'язаним розміром F_i , поверхонь, наприклад, розміри, що формуються інструментом, набором інструментів, програмою ЧПУ, копіром або верстатним пристроєм.

При обробленні заготовок на верстатах з ЧПУ, досить надійно і просто оцінюється точність технологічних розмірів циліндричних та інших замкнених поверхонь - діаметрів, радіусів, лінійних розмірів, які відносяться до технологічних розмірів 2 типу, для яких прогнозна величина поля розсіювання визначається[1]: $\omega F_i = \omega_{ек} F_i$. Їх точність не залежать від впливу похибок установки заготовок та просторових відхилень ТБ.

Значно складніше оцінюється точність ТР 1 типу. Прогнозна величина поля розсіювання технологічних розмірів 1 типу, що характеризує їх точність, визначається на основі залежності [1]: $\omega F_i = \omega_{\text{ек}} F_i + \Delta \varepsilon_y + \Delta \rho_{\text{ТБ}}$

Величина прогнозного значення поля розсіювання технологічного розміру (ωF_i) залежить від точності прогнозування і правильного врахування 3^x складових, які відображають вплив способу оброблення, похибки установки та просторового відхилення технологічної бази.

Складова $\omega_{\text{ек}} F_i$ характеризує середню економічну точність способу оброблення і визначається на основі довідкових даних, приведених в довідниках, науковій літературі, каталогах фірм та інших джерелах. Вона має найбільшу величину серед усіх складових, отже і найбільший вплив на точність ТР, характеризується залежністю від конструкції та характеристик верстатів, потребує систематичного уточнення.

Проблема оцінки прогносної точності ТР, її достовірність та відповідність реальним (фактичним) умовам оброблення ускладнюється відсутністю реальних показників точності розмірів, що забезпечується певною ТОС (верстатом з ЧПК). В паспортах верстатів такі дані відсутні. Приводяться дані тільки щодо точності позиціонування, які становлять тільки частину (близько 10-15%) технологічного допуску, що недостатньо для прогнозування точності оброблення. На практиці накопичення даних щодо точності оброблення відбувається на рівні цехових технологів та операторів верстатів з ЧПК, які, можуть мати свою суб'єктивну оцінку, на основі власного досвіду. Очевидно, що такої інформації недостатньо для якісного прогнозування точності при виконанні РМА ТП. Системне вирішення проблеми оцінки точності ТР можна досягти проведенням періодичних тестувань ТОС з виконанням статистичного аналізу точності розмірів різних типів. При цьому, для забезпечення відтворюваності результатів такі дослідження доцільно проводити на спеціальних тестових деталях, які мають різні типи розмірів. Інша методологія оцінки може бути реалізована в реальному виробництві у вигляді пасивного експерименту, на основі статистичного аналізу результатів вимірювань розмірів різних типів на різних деталях, що виготовляються на певних верстатах в умовах виробництва.

Крім того, у зв'язку з використанням застарілих довідників потребує вирішення проблема достовірності та відповідності усереднених значень величин полів розсіювання, що характеризують $\omega_{\text{ек}} F_i$ фактичним величинам, для чого необхідне проведення порівняльного аналізу даних, що приводяться в різних джерелах та розроблення рекомендацій щодо умов і можливостей або особливостей їх використання. Без такого аналізу, використання даних, що приводяться в довідниках, знижує якість прогнозування точності та може бути одним із факторів появи суттєвих відхилень прогнозних значень від фактичних.

ЛІТЕРАТУРА

1 Приходько В.П. Розмірне моделювання та аналіз технологічних процесів. [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» – Електронні текстові дані (1 файл: pdf.- 15.2 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 249 с. Доступ: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/38826>

ЗАЛЕЖНІСТЬ СИЛ РІЗАННЯ ВІД ПАРАМЕТРІВ РІЗАННЯ ПРИ ФІНІШНОМУ ТОРЦЕВОМУ ФРЕЗЕРУВАННІ ПЛОСКИХ ПОВЕРХОНЬ ВИРОБІВ ІЗ ЧАВУНІВ З ВЕРМИКУЛЯРНИМ ГРАФІТОМ

Торцеве фінішне фрезерування плоских поверхонь виробів із чавунів із вермикулярним графітом є одним із найефективніших способів забезпечення високої якості оброблених поверхонь. Однак цей процес може супроводжуватися виникненням високих сил різання, які спричиняють інтенсивне зношування інструменту, підвищення температур в зоні різання та погіршення якості оброблених поверхонь. На величину сил різання під час фрезерування великий вплив мають швидкість різання, подача, глибина різання та матеріал різального інструмента. Пошук параметрів різання, які зменшують і стабілізують сили різання є дуже важливим для забезпечення ефективності обробки та досягнення високої якості оброблених поверхонь.

В тезах даної доповіді представлені результати дослідження залежностей сил різання від параметрів різання під час фінішного торцевого фрезерування плоских поверхонь виробів з чавунів з вермикулярним графітом. Обробку виконували торцевою фрезою з круглими пластинами з різних інструментальних матеріалів (твердосплави з PVD та CVD покриттями, нітридна кераміка та кубічний нітрид бору) на універсальному обробному центрі DMU 80 eVo. Вимірювання сил виконувалося при використанні динамометра KISTLER.

Зі збільшенням швидкості різання до 800 м/хв спостерігалось загальне зниження сил різання. Збільшення сил різання було при збільшенні глибини різання для всіх інструментальних матеріалів. Значний вплив на сили різання мала подача різання. Збільшення її до 0,25 мм/зуб призводило до значного збільшення сил різання. При застосуванні охолодження складові сил різання зменшувалися, але незначно (для твердосплавів з PVD покриттям – 3%, для твердосплавів з CVD покриттям – близько 15 %). При обробці твердосплавом з CVD покриттям сили різання мали найбільші значення при всіх режимах різання (складова F_z досягала 200Н). Для твердосплавів з PVD-покриттям отримані сили різання були майже вдвічі нижчі в порівнянні з силами отриманими при фрезеруванні твердосплавами з CVD-покриттям. При обробці нітридною керамікою складові сили різання F_z значно перевищували складові F_y . Для кубічного нітриду бору усі складові сил різання майже рівні, а їх величини коливалися в межах від 45Н до 95Н, в залежності від режимів різання. Найнижчі значення сил отримано при швидкості різання 800м/хв, глибині різання до 0,08 мм і подачі до 0,1 мм/зуб.

Плануємо дослідити як впливають отримані значення сил різання на зношуваність різальних пластинок та на якість оброблених поверхонь при фінішному торцевому фрезеруванні плоских поверхонь виробів з чавунів з вермикулярним графітом.

ІМПУЛЬСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ШТАМПУВАННЯ ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ В УМОВАХ СЬОГОДЕННЯ

Використання імпульсних методів металообробки, в створенні яких величезна роль належить саме українській школі, засновником якої був видатний вчений, професор Харківського авіаційного інституту Р.В. Піхтовников, в тяжких умовах сьогодення стає все більш актуальним.

Серед досить широкої кількості можливих варіантів застосування імпульсних методів для рішення складних завдань найпростішими технологічними рішеннями будуть методи використання енергії вибуху конденсованих бризантних вибухових речовин (БВР) типу амоніт та використання енергії вибуху газових сумішей.

Основні положення, на яких базується використання імпульсних технологій та робить їх надзвичайно ефективними за можливостями [1 – 3]:

1) мінімізації витрат на технологічне переоснащення для виробництва виробів великих габаритів та на транспортування елементів оснастки до місця призначення;

2) забезпечення екологічної безпеки з позицій максимального ресурсо- та енергозбереження;

3) економічна ефективність завдяки відсутності витрат на вартісне пресове обладнання та можливості використання неметалевого оснащення;

4) використання і створення технологічних систем, практично незалежно від місця розташування об'єктів, що відновлюються, їх мобільність.

З цією метою досліджувались можливості інтенсифікації методів штампування виробів з тонколистових плоских та просторових, переважно конічних і циліндричних, заготовок. Визначено важливе значення цілеспрямованого розподілу зовнішнього навантаження щодо заготівлі для покращення кінематичних умов при її формозміні.

Запропоновано для управління зовнішнім навантаженням використовувати спеціальної форми та розмірів екрани та неметалеві різні технологічні прокладки, що розміщуються в середовищі між заготівлею і енергоносієм. Їх використання дозволяє зменшити витрати енергоносіїв та покращити якість виконання штампувальних робіт.

ЛІТЕРАТУРА

1 Піхтовников Р.В., Завьялова В. И. Штамповка листового металла взрывом. – М.: Машиностроение, 1964. – 175 с.

2 А. с. 577734 СССР. Устройство для взрывной штамповки / Р.В. Піхтовников, Б.А. Хохлов, Л. Р. Кириченко, С.И. Молодых, Н.Ф. Савченко; Харьковский авиационный институт (СССР). – № 1973067; заявлено 30.11.73; зарегистр. 28.06.77, Госуд. реестр изобретений СССР.

Савченко М.Ф., Невешкін Ю.О., Савченко М.М.
Харківський національний економічний університет
імені Семена Кузнеця

ДО РОЗРОБКИ МОБІЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНОГО ГАСІННЯ ПОЖЕЖІ

В останній час збитки, які виникають при аваріях, що супроводжуються пожежами, мають тенденцію до зростання та збільшують негативний вплив на довкілля. Надзвичайно гострою стає проблема гасіння пожежі, що потребує пошуку нових технологій використання швидкодіючих засобів придушення полум'я, по-перше, на ранніх стадіях виникнення пожежі і, по-друге, з використанням малих обсягів вогнегасячих речовин (ВР) та їх доступністю [1, 2].

Частіше воду використовують при пожежогасінні та захисті об'єктів, розташованих поруч з пожежею. Вода є розповсюдженою, дешевою і екологічно безпечною, її хімічні властивості в багатьох випадках не перешкоджають її використанню в якості вогнегасної речовини майже при всіх класах пожеж. У цьому сенсі слід особливо підкреслити, що пожежогасіння на основі води є головним способом боротьби з пожежами і захистом сусідніх з пожежею об'єктів.

Для подальшого створення нових зразків пожежно-рятувальної техніки доцільно використовувати імпульсні пристрої універсального типу, використовувані для метання як однофазних, так і багатофазних середовищ. Одним з високоефективних методів підвищення ефективності пожежогасіння, як показує практика, є використання води як ефективного засобу видалення тепла із зони горіння та ізоляції її від окислювача – навколишнього повітря.

Використання імпульсних джерел енергії, перш за все, вибухових речовин і горючих газів, розташованих у спеціальних пристроях або у штучно створених ємностях, дозволяє створити нові типи обладнання для попередження і ліквідації аварій – малогабаритні імпульсні.

Головною особливістю такого типу пристроїв є можливість їх швидкого транспортування до місця виникнення аварії та застосування як різних швидкодіючих пристроїв для дискретного або умовно-безупинного знешкодження аварійно-небезпечних ситуацій, що виникають при функціонуванні техногенних об'єктів (ТО).

Малогабаритні імпульсні пристрої можуть доставлятися у зону аварії за схемою на колісній платформі (мотоцикл, візок) або «ранця» з використанням ручного або автоматичного спрацювання за допомогою спеціальних датчиків для оцінювання факторів ризику і часу або подання відповідної команди після

спрацювання. При цьому дія швидкодіючих імпульсних пристроїв може мати вплив на палаюче середовище як одномиттєвий, так і ланцюговий характер, коли спрацювання одного елементу пристрою повністю або частково стає передумовою роботи другого або підсилює його дію.

ЛІТЕРАТУРА

1 Пат. 87023 Україна. Вогнегасник / М. Ф. Савченко; опубл. 10.06.2009, Бюл. № 3.

2 Цикановский В.Л. Принципы построения переносных импульсных огнетушителей для профессиональных спасателей / В.Л. Цикановский // Перспективные разработки науки и техники : межд. науч-практ. конф., 16-30 ноября 2006 : тезисы докл. – Прага – Белгород – Днепропетровск, – 2006. – С. 312–314.

*Володимир СМОКВИНА, Галина ІЛЬНИЦЬКА,
Нонна ОЛІЙНИК, Григорій ПЕТАСЮК,
Валерій ЛАВРІНЕНКО, Вікторія ТИМОШЕНКО*

*Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України
Ольга СИЗОНЕНКО*

Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України

ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ФЛОТАЦІЙНОГО РОЗДІЛЕННЯ АЛМАЗНОГО ШЛІФПОРОШКУ АБРАЗИВНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ВПЛИВУ НА НЬОГО ВИСОКОВОЛЬТНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ РОЗРЯДІВ

В машинобудуванні порошки синтетичного алмазу невеликої міцності марок АС6–АС32 широко застосовуються в процесах механообробки, однак працездатність будь-якого алмазовміського інструменту значною мірою визначається властивостями шліфпорошку алмазу. В сучасних публікаціях розглядається використання флотації як способу покращення якості уже виготовлених кондиційних алмазних порошків не тільки за статичною міцністю, але і за абразивною здатністю та за окремими морфометричними характеристиками.

В даній роботі дослідження проводили на шліфпорошках алмазу марки АС20 зернистості 100/80, що синтезовані у системі Ni-Mn-C, та продуктах його флотаційного розділення: пінного та камерного. Методика дослідження включала визначення впливу різних способів попередньої обробки зерен шліфпорошків алмазу при флотаційному розділенні на зміну показників їх фізико-механічних та фізико-хімічних характеристик. Додатково застосовували обробку високовольтними електричними розрядами (ВЕР). Дослідження морфометричних характеристик і формоподібності проекції зерен включно із однорідністю алмазних шліфпорошків за допомогою приладу DiaInspect.OSM.

Встановлено, що під впливом флотаційного розділення алмазного порошку марки АС20 зернистості 100/80, яке відбувається у гравітаційному полі, можна отримати порошки, фізико-механічні характеристики яких суттєво

відрізняються від характеристик вихідного порошку. З отриманих результатів випливає, що кількість частинок, які знаходяться у пінному продукті, значно менша, ніж у камерному, тобто маса відрізняється у 6,5 разів. Пінний продукт у порівнянні з камерним продуктом характеризується зниженою питомою поверхнею, низьким вмістом домішок та включень, підвищеною міцністю при статичному стиску та однорідністю за міцністю. Морфометричні характеристики продуктів флотаційного розділення близькі за значеннями до характеристик вихідного порошку. Розподілення за міцністю зерен порошку пінного продукту при статичному стисканні найбільш однорідне.

Разом з тим, для подальшого розділення було проведено дослідження впливу застосування оброблення високовольтними електричними розрядами (ВЕР) шліфпорошку алмаза АС20 зернистості 100/80 на процес флотаційного розділення. Вплив ВЕР-обробки на зміну фізико-механічних характеристик пінного продукту показано в табл. 1. Встановлено, що застосування способу, який включає підготовку порошку ВЕР-обробленням до розділення при флотації дозволяє отримати порошок, який характеризується збільшеним показником міцності при статичному стиску на 23,8 %, збільшеною однорідністю за міцністю на 25,0 %, суттєво зниженою кількістю включень.

Таблиця 1 – Фізико-механічні характеристики пінного продукту вихідного порошку алмазу марки АС20 зернистості 100/80, який виготовлено із застосуванням виключно флотаційного розділення та з застосуванням ВЕР-оброблення та флотаційного розділення

Характеристики	Вихідний порошок	Спосіб отримання пінного продукту	
		флотаційне розділення	ВЕР-оброблення та флотаційне розділення
А, мг	3,9	4,7	5,2
Р, Н	17,4	16,5	18,9
Коднорід.міцніст., %	16,0	30	27
Ка, %	1,5	1,3	1,9
α , мас.%	6,2	1,4	1,0
$\chi \cdot 10^8$ м ³ /кг	20,9	1,3	1,0

З результатів характеристик, поданих в табл. 1, видно, що в порівнянні з порошком, який отримано з пінного продукту вихідного порошку після хімічного очищення, порошок, який отримано з пінного продукту (після ВЕР-оброблення флотаційного розділення) має суттєво знижені показники питомої магнітної сприйнятливості та масової частки домішок; підвищений на 26,6 % коефіцієнт поверхневої активності, підвищену абразивну здатність порошку на 12,8 %, підвищену міцність при статичному стисканні порошку на 14,5 %. Однорідність за міцністю порошоків, які отримано з пінних продуктів становить 27–30 %, що на 68,8–87,5 % вище однорідності за міцністю вихідного порошку. З отриманих результатів слід зазначити, що застосування ВЕР-оброблення та флотаційного розділення призводить до збільшення кількості різальних кромek на 10%, що відображається на збільшенні абразивної спроможності порошку.

Були вивчені експлуатаційні характеристики шліфувальних кругів із алмазами після флотаційного розділення. Встановлено, що для порошоків алмазу

пінного флотаційного сортування основним чинником підвищення зносостійкості є підвищення їх показника міцності, а ось для порошків алмазу камерного флотаційного сортування основним чинником є частка в них домішок. З боку зносостійкості алмазного круга саме пінне флотаційне сортування алмазного шліфпорошку є найбільш ефективним. Причому із підвищенням продуктивності шліфування така ефективність зростає. Так, при продуктивності шліфування у $200 \text{ мм}^3/\text{хв.}$ підвищення зносостійкості відносно вихідного круга складає 1,125 раз, а при $400 \text{ мм}^3/\text{хв.}$ вже 1,76 раз. Тоді як застосування алмазів від їх камерного флотаційного сортування гарантовано підвищує знос круга навіть відносно застосування вихідних алмазів.

Соколов О.С, Іванов В.О.
Сумський державний університет

АДАПТИВНЕ КЕРУВАННЯ НА ОСНОВІ ЦИФРОВОГО ДВІЙНИКА СВЕРДЛИЛЬНОГО ВЕРСТАТА

Технологічні процеси на виробництві неможливі без використання різноманітних пристроїв. Керування такими пристроями є важливою складовою управління якістю. Під час керування зазвичай враховуються тільки ті параметри і явища, які найбільш істотно впливають на процес керування. Решту параметрів називають неконтрольованими. Їх наявність викликає похибку керування ε . Похибка ε впливає на відхилення результату від заданого значення.

Для зменшення впливу похибок на результат керування в процесі експлуатації приладів, зазвичай, рекомендовано підтримувати, так звані, «нормальні умови» експлуатації, або прийняти факт похибки керування. Альтернативним рішенням цієї проблеми є врахування максимальної кількості таких факторів, що робить модель і саме керування складними і громіздкими, але навіть такий підхід не гарантує відсутності похибки.

Для мінімізації кількості похибок в управлінні використовують метод максимально точного керування, з використанням адаптивних систем керування (рисунок 1). Особливістю таких систем є наявність додаткового пристрою адаптації, що коригує параметри керуючого пристрою залежно від зміни умов експлуатації.

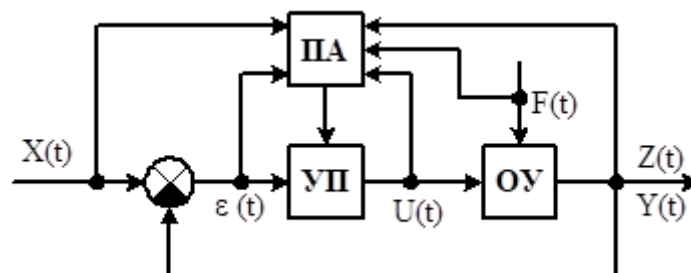


Рисунок 1 – Узагальнена схема адаптації [1]

Сучасний рівень еволюції адаптивних систем заснований на використанні фізичних двійників та їх трансформація у цифрові, де поєднуються фізичні та цифрові моделі. Завдяки високому рівню розвитку цифрових технологій і створенню більш ефективних протоколів передачі даних, з'явилася можливість комплексно використовувати створення цифрових двійників поряд з їх модифікаціями: цифровою моделлю і цифровою тінню.

Особливістю цифрового двійника є повна інтеграція обладнання в систему керування: від вимірювання параметрів до впливу на прилад. Такий принцип дозволяє не тільки значно підвищити точність контролю, але і наочно слідкувати за процесом обробки.

При експлуатації свердлильного верстата неконтрольовано мінливими умовами експлуатації є зовнішні фактори, такі як знос обладнання та ріжучих інструментів, термічні процеси, вібрації, різний склад заготовок, забруднення тощо.

Існує ряд середовищ для створення цифрових двійників. Найбільш відомими є середовище моделювання MatLab/SIMULINK з модулем Simscape.

Аналогічно до робіт [2] і [3], в модулі Simscape в MatLab / SIMULINK буде створена адаптивна система керування свердлильним верстатом на основі цифрового двійника, з урахуванням неконтрольованих факторів. Така система дозволить повністю автоматизувати процес свердління за умов обробки, що змінюються обробки, мінімізувати похибку керування, а також забезпечить можливість віддаленого контролю та керування параметрами технологічного процесу за необхідності.

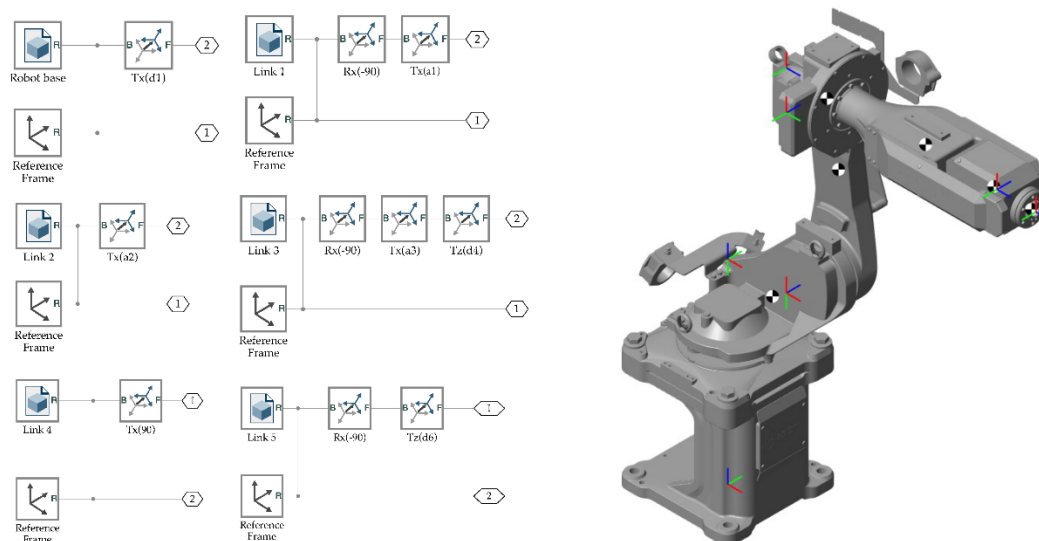


Рисунок 2 – 3D-візуалізація пристрою, створена в модулі Simscape [2]

Модуль Simscape дозволяє інтегрувати віртуальну 3 D модель, створену в середовищі Solidworks. Такий підхід робить можливим симулювання усіх основних похибок на реальному виробничому пристрої. Симуляція в MatLab / SIMULINK дозволяє створити кореляцію виробничих процесів та факторів, що впливають на виникнення похибок. Після внесення усіх параметрів, є можливість запустити симуляцію, де після цього процесу система одержить данні на основі яких сама відкоригує модель. Такий тип моделей є масштабним

та уможлиблює внесення змін з урахуванням різних факторів, тим самим підвищуючи якість виробничого процесу.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Соколов, С.В. Оптимальні та адаптивні системи: навч. посіб. / С. В. Соколов. — Суми : СумДУ, 2018. — 221 с.
- 2 Boschetti, G., & Sinico, T. (2024). Designing Digital Twins of Robots Using Simscape Multibody. *Robotics*, 13(4), 62. <https://doi.org/10.3390/robotics13040062>
- 3 Çaşka, S., & Özbaltan, M. (2024). Adaptation of Symbolic Discrete Control Synthesis for Energy-Efficient Multi-Pocket Milling. *Processes*, 12(3), 584. <https://doi.org/10.3390/pr12030584>

*Степанов М.С., Іванова Л.П., Літовченко П.І.,
Іванова М.С.*

Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

АНАЛІЗ ТЕПЛОВИХ ПОТОКІВ, ЩО ДІЮТЬ НА ШЛІФУВАЛЬНУ БАБКУ КРУГЛОШЛІФУВАЛЬНОГО ВЕРСТАТУ

Точність обробки деталей на круглошліфувальних верстатах великою мірою визначається загальною кількістю тепла, що виділяється під час роботи верстатів, і тепла з навколишнього середовища. В результаті роботи теплових деформацій взаємне розташування деталей і вузлів, у тому числі, і шліфувальної бабки (ШБ) змінюється в просторі.

Шліфувальна бабка, з однієї сторони, є одним з джерел тепла, причому більш висока температура спостерігається в зоні розташування підшипників шпинделя шліфувального круга. З іншого боку, ШБ сприймає теплові потоки та потоки охолодження від інших джерел.

Температура в різних точках корпусу шліфувальної бабки може змінюватися в межах 10-50°C. Температура шпинделя може становити на 30-40% вище середньої температури корпусної деталі, в якій вона змонтована [1].

Аналіз схем теплових потоків нагріву та охолодження показує, що найбільш важливі джерела тепла, які підходять до корпусу ШБ, є:

- теплота, що виділяється в лівому і правому підшипниках шпинделя;
- теплота, що виділяється в напрямних;
- теплота, виділяється в зоні різання;
- теплота, яку отримує корпус ШБ в результаті дії нагрітої МОР на її передню (лицеву) стінку;
- теплота з потоку повітря, що відводиться системою вентиляція електродвигуна приводу шліфувального круга;
- теплота (потік охолодження) з потоку повітря, виникаючого від обертання шківів та руху приводних пасів приводу шліфувального круга;

– теплота від вентиляційного ефекту, що рухається під кожухом шліфувального круга в результаті його обертання з високою окружною швидкістю;

– теплота (охолодження), що поступає в шків пасової передачі приводу шліфувального круга, встановленого на вихідному кінці шпинделя та ін.

Рівняння балансу теплових потоків, що діють на шліфувальній бабці:

$$Q_{\Sigma} = Q_{\text{під}} + Q_{\text{МОР}} + Q_{\Sigma\text{вод.к}} + Q_{\text{РП}} + Q_{\text{НАП}} + Q_{\text{ок.ср}}, \quad (1)$$

де Q_{Σ} – загальна кількість теплоти, що сприймається ШБ;

$Q_{\text{під}}$ – потік тепла, що поступає в бабку з робочих рідин підсистеми мащення підшипників шпинделя шліфувального круга;

$Q_{\text{МОР}}$ – потік тепла, що поступає в бабку в результаті її контакту з розігрітою мастильно-охолоджуючою рідиною (МОР);

$Q_{\Sigma\text{вод.к}}$ – потік тепла (охолодження), утворений повітряними потоками, що утворюються в результаті обертання шліфувального круга;

$Q_{\text{РП}}$ – потік тепла (охолодження), утворений повітряними потоками, що виникають в результаті роботи пасової передачі приводу шліфувального круга;

$Q_{\text{НАП}}$ – потік тепла, що утворюється в результаті тертя у напрямних;

$Q_{\text{ок.ср}}$ – потік тепла, що поступає в шліфувальну бабку з навколишнього середовища.

Кількість виділеного в зоні різання тепла (кДж) протягом часу шліфування (год.) визначається за формулою

$$Q_{\text{ш}} = 3600Nt, \quad (2)$$

де N – ефективна потужність шліфування, кВт.

Параметри точності верстатів у багатьох випадках визначають тепловий стан шпиндельного вузла в процесі обробки, який залежить від температурних полів та викликаних ними температурних деформацій [2]. Тепловиділення регламентується допустимим нагрівом підшипників. Для станків класу точності П, В, А та С допустима температура нагріву підшипників становить 48, 38, 32 та 25°C, відповідно [3]. Кількість теплоти, що передається від підшипників у шпиндель і корпус шліфувальної бабки, залежить від, з однієї сторони, від теплоємності останніх, а з другої сторони – від умов роботи підшипників і, особливо, від в'язкості та товщини шару мастила.

Теплоутворення за одиницю часу у підшипниках ковзання визначає втрату потужності на тертя і може бути розраховано за формулою:

$$Q_{\text{під}} = M_{\text{тр}} \omega_{\text{ш}} / 60, \text{ Вт} \quad (3)$$

де $M_{\text{тр}}$ – сумарний момент тертя в шарі мастила підшипників, Н·м;

$\omega_{\text{ш}}$ – кутова швидкість шпинделя, с⁻¹.

Нагрів масла в підшипниках визначається за формулою:

$$\Delta t = \frac{Q_{\text{під}}}{c_p Q_{\text{рід}}} \quad (4)$$

де $Q_{\text{під}}$ – теплота, що виділяється у підшипниках, Вт;

c, ρ – питома теплоємкість і густина робочої рідини; для мінерального масла $c=1,7 \cdot 10^6$ Дж/(м³ · °C);

$Q_{ж}$ – потрібна витрата робочої рідини, м³/с.

Рух в кінематичних парах напрямних стола супроводжується тертям, що також є однією з причин виділення тепла. Теплота, що виділяється в напрямних стола, визначається за формулою:

$$Q_{нап} = G_H S_H V_H f_{тн}, \quad (5)$$

де G_H – тиск в напрямних, МПа;

S_H – площа робочих поверхонь напрямних, м²;

V_H – швидкість переміщення в напрямних, м/с;

$f_{тн}$ – коефіцієнт тертя в напрямних.

Кількість теплової енергії, що виділяється за рахунок тертя у напрямних при поступальному переміщенні шліфувальної бабки, можна визначити:

$$Q_N = F_T V_{шб} \quad (6)$$

де F_T – сила тертя (тягова сила) в напрямних, Н;

$V_{шб}$ – швидкість руху шліфувальної бабки по напрямних, м / с.

Тягове зусилля визначається як сума сил подачі P_y і сумарною сили тертя. Спрощена формула для розрахунку тягового зусилля має вигляд

$$F_T = P_y + 3F_{T0} + \frac{3f_k}{d} N_{\Sigma}, \quad (7)$$

де P_y – радіальна складова сили різання, Н;

F_{T0} – початкова сила тертя на одній грани напрямних (при відсутності зовнішнього навантаження), $F_{T0}=4 \dots 5$ Н;

f_k – коефіцієнт тертя в напрямних кочення, $f_k=0,001$ см для чавунних напрямних, $f_k=0,0025$ см для сталевих напрямних;

d – діаметр тіл кочення, контактуючих з гранями напрямних, $d=0,07 \dots 0,1$ м;

N_{Σ} – сумарне нормальне навантаження на напрямні.

Сумарне нормальне навантаження на напрямні можна визначити:

$$N_{\Sigma} = P_Z + G_Z, \quad (8)$$

де P_Z – тангенціальна складова сили різання, Н;

G_Z – сила ваги бабки в зборі з урахуванням ваги її корпусу, шпинделя, шківів, шліфувального круга, планшайби і підшипників, Н.

В електродвигуні втрати енергії виникають за рахунок активного опору обмоток, в стали при зміні магнітного потоку в магнітопроводі. Крім того, існують механічні втрати на тертя в підшипниках і тертя об повітря обертових частин. Кількість тепла, що виділяється електродвигуном за час τ визначиться:

$$Q_{Вз} = 0,24 \sum N_3 \tau, \quad (9)$$

де $\sum N_3$ – сумарні втрати потужності в електродвигуні: $\sum N_3 = \left(\frac{100 - \eta_3}{100} \right) N_3$;

η_3, N_3 – ККД і потужність електродвигуна верстата, відповідно.

Рух приводного пасу і шківа клинопасової передачі сприяє охолодженню правої бічної стінки корпусу шліфувальної бабки, що викликає його викривлення. Потік тепла від пасової передачі в шків шпинделя можна визначити, знаючи зв'язок між потужностями на відомому і ведучому валах передачі, тобто, $N_{\text{рп}} = \eta_{\text{рп}} N_{\text{з}}$, де $\eta_{\text{рп}}$ – КПД клинопасової передачі. Із урахуванням цього та часу роботи передачі τ , маємо

$$Q_{\text{рп}} = \left(\frac{100 - \eta_{\text{рп}}}{100} \right) N_{\text{рп}} \tau. \quad (10)$$

При обдуві бічної стінки шліфувальної бабки потоками повітря від руху елементів клинопасової передачі (зокрема шківа) тепло, що сприймається (втрачається) цією поверхнею, можна визначити за формулою:

$$Q = \alpha F (t_c - t_v), \quad (11)$$

де t_c – середня по поверхні температура стінки, °C;

t_v – температура повітря вдалині від шліфувальної бабки, °C;

F – площа поверхні бабки, через яку здійснюється теплообмін, м²;

α – коефіцієнт теплопередачі конвекцією.

Теплообмін поверхні стінки інтенсифікується за рахунок підвищення швидкості її обдування. Для розрахунку за формулою (11) необхідно знати значення коефіцієнта α , який можна визначити за залежністю:

$$\alpha = 0,271 \lambda_v \left(\frac{\pi \omega_{\text{ш}}}{v_v} \right)^{0,6} D_{\text{ш}}^{0,2} \quad (12)$$

де λ_v – коефіцієнт теплопровідності навколишнього середовища, Вт/(м·К);

$\omega_{\text{ш}}$ – кутова швидкість обертання шківа, 1/с;

$D_{\text{ш}}$ – зовнішній діаметр шківа, м;

v_v – кінематична в'язкість навколишнього середовища, м²/с.

З урахуванням (11) і (12) отримано формулу для розрахунку кількості тепла, що розсіюється бічною поверхнею шліфувальної бабки, в результаті обдуву потоками повітря, що генеруються шківом клинопасової передачі:

$$Q = 0,271 F \lambda_v D_{\text{ш}}^{0,2} \left(\frac{\pi \omega_{\text{ш}}}{v_v} \right)^{0,6} (t_c - t_v) \quad (13)$$

Вентилюючи потоки повітря всередині кожуха шліфувального круга можуть охолоджувати не тільки кожух, а й ліву бічну стінку корпусу шліфувальної бабки. На етапі завантаження заготовки, МОР в зону різання не надходить і на ШБ діє повітряний потік, створюваний кругом. Потужність, витрачена на створення вентиляційного потоку кругом, визначається

$$N_{\text{вв}} = \frac{c D_{\text{к}}^5 n^3}{V_y} \quad (14)$$

де $D_{\text{к}}$ – діаметр шліфувального круга, см;

n – частота обертання круга, об/хв;

V_y – питомий об'єм повітря, м³/кг;

c – емпіричний коефіцієнт, $c = 0,005$.

Тепло, що виділяється при обертанні шліфувального круга:

$$Q_{\text{вв}} = N_{\text{вв}} \tau_3 = \frac{c D_{\text{к}}^5 n^3}{v_y} \tau_3 \quad (15)$$

де τ_3 – сумарний час завантаження заготовок при шліфуванні їх партіями.

Сумарну потужність, що витрачається на подолання тертя шліфувального круга об повітря, можна визначити за формулою

$$N_{\text{вв}} = \pi c_{\text{в}} \rho_{\text{в}} v_{\text{к}} R_{\text{к}}^4 (0,2 + H_{\text{к}}), \quad (16)$$

де $c_{\text{в}}$ – коефіцієнт опору (тертя) повітря, для проведення орієнтовних розрахунків $c_{\text{в}}=0,01$;

$\rho_{\text{в}}$ – густина повітря, кг/м³;

$v_{\text{к}}, R_{\text{к}}, H_{\text{к}}$ – швидкість шліфувального круга, його радіус і висота, м.

Тепло, яке може утворитися в результаті тертя шліфувального круга об повітря за рахунок потужності, яка визначається формулою (16), визначиться

$$Q_{\text{к}} = [\pi c_{\text{в}} \omega_{\text{к}} R_{\text{к}}^4 (0,2 + H_{\text{к}})] \tau, \quad (17)$$

де $\omega_{\text{к}}$ – кутова швидкість шліфувального круга, 1/с;

τ – час обертання шліфувального круга, с.

За формулою (13) можна розрахувати тепло, що розсіюється протилежною стінкою ШБ в результаті обдування її потоками повітря, що генеруються шліфувальним кругом на етапі завантаження і розвантаження деталей. Кількість тепла, що переходить в МОР можна визначити:

$$Q_{\text{МОР}} = k_{\text{ш}} Q_{\text{ш}}, \quad (18)$$

де $k_{\text{ш}}$ – коефіцієнт, який визначається схемою шліфування, наприклад, при торцевому двосторонньому шліфуванні приймають $k_{\text{ш}}=0,85$.

На етапі шліфування МОР подається в зону різання і контактуючи з кругом, розбризкується у вигляді аерозолі в кожусі шліфувального круга на бічну сторону шліфувальної бабки. Сумарне тепло визначається потужністю, що витрачається на подолання сили тертя МОР об шліфувальний круг, потужністю, витраченої на розпорошення МОР і часом шліфування.

При цьому повна теплота з врахуванням (17) визначиться за залежністю:

$$Q = \left[\rho_{\text{МОР}} v_{\text{к}} R_{\text{к}}^2 Q_{\text{МОР}} \left(\frac{v_{\text{к}} R_{\text{к}} Q_{\text{МОР}}}{v_{\text{МОР}}} \right)^{\frac{1}{3}} + 0,5 \rho_{\text{МОР}} v_{\text{к}}^2 R_{\text{к}}^2 Q_{\text{МОР}} \right] \tau_{\text{різ}} = \\ = \left[\left(\frac{v_{\text{к}} R_{\text{к}} Q_{\text{МОР}}}{v_{\text{МОР}}} \right)^{\frac{1}{3}} + 1,5 \right] \rho_{\text{МОР}} v_{\text{к}}^2 R_{\text{к}}^2 Q_{\text{МОР}} \tau_{\text{різ}}, \quad (19)$$

де $Q_{\text{МОР}}, v_{\text{МОР}}$ – витрата і кінематична в'язкість МОР;

$\tau_{\text{різ}}$ – сумарний час обробки партії заготовок.

Тепло, передане, МОР оцінюється виразом (12), з якого видно, що кількість теплоти залежить від температури МОР і тепловіддачі. З формули (13) видно, що коефіцієнт тепловіддачі α прямо пропорційний коефіцієнту λ теплопровідності середовища, що омиває стінку. Це середовище на етапі шліфування є газоповітряна суміш з характеристиками, які відрізняються від характеристик середовища в разі обдування повітрям. Коефіцієнт теплопровідності повітря $\lambda_{\text{в}}$

$=0,0257 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$, а води – $\lambda_{\text{вд}}=0,598 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$, що більш ніж в 20 разів більше. Це в значній мірі інтенсифікує процес передачі тепла в порівнянні з обдувом повітрям.

Шліфувальна бабка деформується також за рахунок впливу потоку повітря, створюваного крильчаткою електродвигуна приводу шліфувального круга на верхню площину ШБ, на якій встановлений електродвигун. При цьому інтенсивність обдуву залежить значною мірою від швидкості обертання шліфувального круга. Однак цей процес охолодження частково нівелюється попаданням в кожух нагрітої МОР, яка навпаки нагріває цю бічну стінку.

Таким чином, з врахуванням зростання вимог до точності деталей сучасних машин, проаналізована схема дії потоків тепла (охолодження) на шліфувальну бабку круглошліфувального верстата і оцінене потужності джерел тепловиділення. Результати аналізу можуть бути використані при проектуванні шліфувальних верстатів підвищеної точності.

ЛІТЕРАТУРА

1 Stepanov, M., Litovchenko, P., Ivanova, L., Ivanova, M., Gasanov, M. Heat Flows Affected on the Wheelhead of a Cylindrical Grinding Machine. In: *Ivanov V. et al. (eds) Advances in Design, Simulation and Manuf. DSMIE 2018. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. pp 490-500.

2 Дубров Д.Ю. О возможности стабилизации температуры шпиндельного узла металлорежущего станка / Д.Ю. Дубров, Ю.С. Дубров, Д. А. Сыромятников // Интернет-журнал «Науковедение», 2017. Том. 9. №8. Режим доступа: naukovedenie.ru/PDF/155TVN617.pdf (доступ свободный). Загл. с экрана.

3 Сапон С.П. Підвищення точності шпиндельних вузлів з регульованими гідростатичними опорами. Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС2014 / Сапон С.П. // Четверта міжнародна науково-практична конференція, 19–21 травня 2014. – Чернігів, Україна. – Чернігів: ЧНТУ, 2014.– С. 97–99.

Стрельчук Р.М.

Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

ВПЛИВ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОГО АЛМАЗНОГО ШЛІФУВАННЯ НА ЗАЛИШКОВІ НАПРУЖЕННЯ І ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ТВЕРДОСПЛАВНИХ ІНСТРУМЕНТІВ

Залишкові напруження в поверхневому шарі матеріалів суттєво впливають на експлуатаційні характеристики виробів. У процесі шліфування виникає складна взаємодія термічних, механічних і фазових факторів, що визначає рівень і знак залишкових напружень [1]. Вивчення цих напружень, особливо при обробці твердосплавних матеріалів, таких як ВК6, має важливе значення для підвищення зносостійкості ріжучих інструментів. Метою цієї роботи є аналіз залишкових напружень, що

формуються під час електроерозійного алмазного шліфування, і їх впливу на експлуатаційні властивості твердосплавних пластин ВК6.

Сучасні дослідження акцентують увагу на необхідності детального вивчення механізмів формування залишкових напружень у різних умовах обробки. Особливо актуальним є питання впливу параметрів шліфування на характеристики залишкових напружень у поверхневому шарі [2]. Це має значення для підвищення якості обробки, зменшення дефектності виробів та оптимізації технологічних процесів. Виявлено, що значення залишкових напружень суттєво впливають на тривалість експлуатації інструментів, що робить їх ключовим фактором у проектуванні обробки.

Обробка твердих сплавів шліфуванням призводить до виникнення залишкових макро- та мікронапружень. Макронапруження (першого роду) формуються в результаті механічного та термічного впливу, а мікронапруження (другого роду) виникають між різними фазами матеріалу. Фазові перетворення, що відбуваються в процесі обробки, також сприяють зміні напруженого стану [3]. Проте їх внесок залишається неоднозначним, особливо в гетерофазних матеріалах, таких як ВК6. Дослідження показують, що компресійні напруження підвищують зносостійкість, тоді як розтягувальні знижують міцність і стійкість інструментів.

Експерименти проводилися на зразках із твердого сплаву ВК6, оброблених методами електроерозійного та алмазно-іскрового шліфування. Для електроерозійного шліфування використовувалася установка з чашковими кругами конічної форми. Умови обробки включали: тиск 1,2 МПа, швидкість круга 25 м/с, амплітуду розрядного струму 8 А та частоту імпульсів 44 кГц. Напружений стан поверхневого шару оцінювався методом $\sin^2\psi$ із використанням дифрактометра ДРОН 2.0. Розмір областей когерентного розсіювання визначався за формулою Селякова-Шеррера. Стійкість ріжучих пластин перевірялася в процесі точіння сірого чавуну СЧ20 без охолодження за стандартних режимів.

Вимірювання залишкових напружень показало, що після електроерозійного шліфування рівень стискаючих макронапружень досягав $\sigma = -3,8$ ГПа, тоді як при алмазно-іскровому шліфуванні $\sigma = -1,2$ ГПа. Розмір областей когерентного розсіювання після електроерозійного шліфування збільшувався до 200 Å порівняно з 150 Å після алмазно-іскрового. Час зносу ріжучої пластини до критичного значення $h_z = 0,4$ мм становив 84 хвилини при електроерозійному шліфуванні, що на 53% перевищує стійкість після алмазно-іскрового шліфування (55 хвилин).

Електроерозійне шліфування зі змінною полярністю електродів сприяє формуванню значних стискаючих макронапружень, що пояснюється домінуванням силового фактора при зниженій теплонапруженості. Ці напруження, у свою чергу, підвищують зносостійкість інструмента та зменшують шорсткість ріжучої кромки. Збільшення розміру областей

когерентного розсіювання свідчить про менший ступінь пошкодженості кристалічної структури після електроерозійної обробки.

Отримані дані підтверджують, що вибір оптимальних параметрів обробки дозволяє досягти суттєвого покращення експлуатаційних характеристик. Особливу увагу слід приділяти дослідженню взаємодії термічних і механічних факторів, які впливають на кінцеві властивості оброблених поверхонь. У майбутніх дослідженнях доцільно розширити діапазон матеріалів і умов обробки, що сприятиме розробці нових технологій для різних сфер промисловості.

Залишкові макронапруження стиску, що формуються при електроерозійному шліфуванні, сприяють підвищенню зносостійкості твердосплавних інструментів. Електроерозійне шліфування забезпечує більш рівномірний напружений стан поверхневого шару порівняно з алмазно-іскровим шліфуванням. Застосування електроерозійного шліфування дозволяє збільшити термін служби ріжучих інструментів із сплаву ВК6 на 53%.

Представлені результати підтверджують ефективність методу електроерозійного алмазного шліфування для підвищення якості та стійкості ріжучих інструментів із твердих сплавів.

ЛІТЕРАТУРА

1 Cruz, D.C., Christoforo, A.L., Sordi, V.L., & Ventura, C.E. (2024). The Influence of Residual Stresses Induced by Grinding on the Fracture Toughness of Cemented Tungsten Carbide. *Journal of Materials Engineering and Performance*.

2 Uhlmann, E., Sammler, F., Meixner, M., Heinrich, D., Gansert, F., Reimers, W.G., Berger, D., & Rieck, I. (2015). Analysis of residual stresses and wear mechanism of HF-CVD diamond coated cemented carbide tools. *Production Engineering*, 9, 99-107.

3 Zhang, M., Wang, X., Jiao, F., Niu, Y., & Chen, S. (2023). Residual stresses in ultrasonic vibration assistance turning cemented carbide. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1-11.

Тіхенко В.М., Ганусовський В.О.

Національний університет «Одеська політехніка»

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ДІАГНОСТИКИ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАШИН ТА ОБЛАДНАННЯ

Головне завдання діагностики електричного двигуна – недопущення непередбаченої відмови технологічної машини у процесі її експлуатації. Електроприводи технологічних машин у більшості випадків побудовані на основі асинхронних трифазних електродвигунів із короткозамкненим ротором. Проблема діагностики таких електродвигунів полягає у необхідності створення відносно простих методів визначення їхнього технічного стану, що дозволить до мінімуму знизити ризики від пошкоджень асинхронних двигунів, за рахунок раннього виявлення дефектів, що виникають під час роботи. Бажаною умовою є

вимірювання параметрів електроприводу без демонтажу електродвигуна та транспортування його на спеціалізовані діагностичні стенди [1].

Відомий ряд методів діагностики асинхронних електродвигунів, заснованих на оцінці різних параметрів електродвигунів, ланцюгів їх живлення від електричної мережі та механічної частини електроприводів:

Методом вібродіагностики [2] оцінюють стан підшипників, виявляють ексцентриситет ротора та дефекти його обмоток. Метод дозволяє перетворювати на електричні сигнали п'єзоелектричними, оптичними або індукційними перетворювачами коливання технологічної машини та електродвигуна. Переваги методу – можливість аналізу вібропереміщень, віброшвидкостей та віброприскорень у різних точках технологічної машини та електродвигуна. Необхідність встановлення численних віброакустичних датчиків, складність інтерпретації результатів вимірювань роблять цей метод дорогим та трудомістким.

Методи, що засновані на аналізі акустичних коливань, створюваних працюючою машиною або обладнанням отримують інформацію за допомогою мікрофонів, які встановлюють у відповідних точках біля обладнання. Вибір акустичних явищ в якості джерела інформації про стан машин зумовлений низкою причин. По-перше, вони є відображенням найбільш істотних фізичних процесів, що відбуваються всередині машини при її функціонуванні, таких, як деформації та напруження в деталях, коливання робочого середовища в гідравлічних системах та інше. По-друге, шум як носій інформації має велику ємність. По-третє, реєстрація шуму дозволяє проводити швидкі вимірювання в природних умовах роботи машин. Для вимірювання шуму застосовують шумоміри різних видів, смугові фільтри, аналізатори, вимірювальні мікрофони, самописці, магнітофони та інші прилади. У загальному випадку шумовимірювальний комплекс складається з мікрофона, підсилювача, частотних фільтрів і вимірювального приладу. В якості перетворювача звукових коливань в електричні сигнали (мікрофона) використовується капсуль з чутливим елементом до звукового тиску у вигляді мембрани з тонкої нікелевої фольги товщиною 5 мкм.

Методи безконтактного термодіагностування, які засновані на вимірі та аналізі температури окремих елементів технологічної машини або промислового обладнання [3], дозволяють в режимі реального часу оцінити стан працюючих механічних вузлів. Всі тіла випромінюють енергію інфрачервоного випромінювання. Кількість випромінюваної енергії залежить від двох основних чинників: температури поверхні об'єкта і коефіцієнта випромінювання поверхні об'єкта. За допомогою тепловізора визначається наявність інфрачервоного випромінювання від об'єкта, і ця інформація використовується для оцінки його температури. Наприклад, тепловізори Ti9, Ti10, Ti25, TiRx, TiR і TiR1 виробництва компанії Fluke представляють собою портативні камери, що використовуються для діагностичного обслуговування, усунення несправностей обладнання та контролю. Всі зазначені тепловізори передають теплове і видиме зображення на дисплей з роздільною здатністю 640×480 . Теплові та видимі

зображення передаються на ЖК-дисплей тепловізора, також їх можна зберегти на карту пам'яті SD. Після того як карта пам'яті SD буде залучена з тепловізора та підключена до комп'ютера за допомогою пристрою для зчитування карт пам'яті, зображення можна перенести на комп'ютер. Обмеженнями застосування цього методу можуть бути спеціальні конструкції машин, які мають елементи захисту, що обмежують пряме вимірювання температури окремих вузлів.

Методи діагностики механічних вузлів, що ґрунтуються на аналізі вмісту заліза в олії, яка змащує вузли, вимагають зупинки електродвигунів, демонтажу їх підшипникових вузлів, а також проведення лабораторного аналізу олії.

Методи, які засновані на діагностиці стану ізоляції можуть застосовуватись в електродвигунах з напругою живлення вище 4 кВ, при повній зупинці приводу та вимагають проведення випробувань обмотки електродвигуна.

Методи, що засновані на аналізі електричних параметрів, здатні дати найбільш повну та точну картину стану електродвигуна.

Такі методи як спектральний аналіз струму дозволяють виявляти як механічні, і електричні несправності електродвигунів на різних стадіях. Головними недоліками даного методу вважається складність обробки та аналізу результатів вимірювань, вплив великої кількості факторів на результати вимірювань, таких як несиметрія та несинусоїдність напруги, характер навантаження, процеси комутації, наявність напівпровідникових приладів у ланцюзі керування та пристроїв частотного регулювання.

Метод, заснований на вимірюванні та аналізі магнітного потоку в зазорі двигуна, вимагає конструктивного втручання в існуючий електродвигун або встановлення заводом-виробником датчиків магнітного поля. Оскільки датчики магнітного поля чутливі навіть до незначних змін магнітних полів, результати вимірювання можуть бути спотворені зовнішніми електромагнітними випромінюваннями.

Кілька років тому з'явилися програмно-апаратні комплекси, що дозволяють оцінювати мікроколивання електромагнітного поля [4]. Відстежуючи різні гармоніки поля, можна зробити відповідні висновки про стан електродвигуна. Фізичний принцип, який лежить в основі цього методу, такий: будь-які збурення в роботі електричної та/або механічної частини електродвигуна і пов'язаного з ним приводу призводять до змін магнітного потоку в зазорі електричної машини, а значить – слабкої модуляції споживаного електричною машиною струму. Наявність у спектрі струму електричної машини характерних частот певної величини говорить про імовірність пошкоджень електричної та/або механічної частини електродвигуна. Гармоніки, кратні частоті струму, вказують на проблеми в електричній частині. Гармоніки, кратні оборотній частоті обертання двигуна пов'язані з механічними елементами. Цей метод знайшов втілення лише відносно недавно, коли з'явилися нормальні алгоритми data mining для цих показників та процесори для роботи в реальному часі, які можна розмістити у відносно компактних пристроях.

Проблему підвищення експлуатаційної надійності електричних приводів можна вирішити за умови безперервної діагностики електродвигунів (моніторингу) в робочих режимах технологічних машин та обладнання, що дозволяє запобігти розвитку ушкоджень завдяки своєчасно виявленим відхиленням контрольованих параметрів. Завдання зниження рівня прямих і непрямих витрат у процесі експлуатації асинхронних двигунів, покращення якості їхньої діагностики для підвищення надійності актуальні на сьогоднішній день у будь-якій галузі виробництва.

ЛІТЕРАТУРА

- 1 Аврутов В.В. Випробування і контроль приладів і систем / В.В. Аврутов // КІП ім. Ігоря Сікорського. Електронне мережне навчальне видання. Київ, 2022. – 225 с.
- 2 Тихенко В.Н. Вибродіагностика станка для обробки колесних пар / В.Н. Тихенко, В.И. Старцев, А.А. Анисимов, С.В. Пчелинский // Вісник Черніговського держ. технологічного ун-ту, Чернігів, ЧДТУ. – №2(78), 2015. – С. 60-64.
- 3 Zaitsev, V. Tikhenko. Improving methods for monitoring bearing units of electric motors in reverse water supply systems of nuclear power plants // Proceedings of Odessa Polytechnic University: Scientific, science and technology collected articles. Odessa, 2023. Issue 1(67). – 96-105 pp. DOI 10.1527/opu.1.67.2023.12
- 4 Зубенко Д.Ю., Петренко О.М. Діагностика асинхронного електродвигателя тепловизором с использованием нейронных сетей / Д.Ю. Зубенко, О.М. Петренко // Вісник Хмельницького національного університету, №4, 2019. С.192-194.

Tonkonogiyi V.M., Larshin V.P., Buchka Y.V.
Odessa Polytechnic National University

DISTANCE LEARNING TECHNOLOGICAL PROCESS

1. Introduction. The period of global development "Industry 4" that we are experiencing creates conditions for the transition of modern society to “scaling up learning”. This means a transition to a model of education and training in which knowledge, skills and competencies are transferred to a wide audience. Conditions are created in which learning becomes mass, accessible to a large number of people thanks to new technologies, online platforms and scalable educational programs.

The main aspects of scaled learning are as follows.

1. Use of digital technologies – online courses, platforms, applications and other forms of distance learning allow engaging and train thousands of people at the same time.
2. Automation and individualization of learning – adaptive learning systems can adjust to each student, taking into account their individual capabilities (pace of information perception, level of knowledge and preferences).
3. Reducing cost and accessibility – mass programs and courses are often cheaper than traditional education, which makes knowledge accessible to a wider audience.

4. Globalization of coverage – access to the Internet allows people from different parts of the world to receive the same educational resources, which contributes to the globalization of knowledge.

Thus, the transition to scaling up education means transforming the education system so that it can cover a huge number of people, making the learning process more accessible, cheaper, flexible and adaptive. However, the lack of live communication between the lecturer and the audience interrupts or significantly delays the emotional and emphatic feedback that the lecturer feels during live communication with the audience. In this regard, new approaches and methods are needed to organize the “creative interaction” between the lecturer and the audience, which (interaction) still refers to the so-called esoteric knowledge.

One of such approaches is, for example, the creation of a specific immersive environment in which the process of distance learning is carried out, as a new potential opportunity to increase the effectiveness of distance learning [1]. In this case, we have the opportunity to create a “captivating sensation” in listeners, the so-called “immersive perception”, due to virtual reality. Listeners are “immersed” in a new environment that arouses additional interest, in which, for example, 3D modeling, animation and other means of representing information material are used.

2. General. The primary stage of the learning process is the transfer of initial information on the relevant subject from the teacher to the students, which (information) may (or may not) transform into knowledge and skills with varying degrees of probability when appropriate conditions are created (independent work of the student, practical and laboratory work, industrial practice). Therefore, verbal communication between the teacher and the audience alone is not enough to transfer knowledge and skills to the students. Painstaking, systematic independent work of these students on the subject being studied is needed. During this independent work, students have questions for the teacher and a dialogue (discussion, debate, clash of opinions) arises, which is useful not only for the students, but also for the teacher himself. The student’s independent work is a form of training in which knowledge is acquired by the student himself under the methodological guidance of the teacher. In senior courses, this work should be aimed at creative disclosure of personality, which begins with the student bench. The university contains the following types of student activities: preparation for lectures, seminars, laboratory work and practical exercises, tests (module controls), exams. This work also includes writing essays, term papers and dissertations (projects). By the degree of creativity, the student’s independent work is divided into the following types: according to the model, reconstructive-variable, heuristic (partial search), creative research.

At the stage of student’s independent work, it makes sense to transfer the experience of the supervisor with graduate students to students. This requires the interest of both the student and the teacher in the systematization and acquisition of knowledge, which is possible if the student is involved in the sphere of scientific interests of his supervisor.

To increase the interest of listeners, distance learning can be supplemented by creating appropriate conditions based on modern computer technologies. This can be,

for example, the so-called “immersive perception”, based on the principles of virtual reality, 3D modeling and animation of objects. The word “immersive” comes from the English verb “immerse”, which in turn comes from the Latin “immerses”, a form of the verb “immergere”. The word “immersive” originally described the process of becoming immersed or completely included in something.

In the context of the phrase "immersive perception", the term "immersive" refers to the feeling of being completely immersed in a virtual or real environment, where a person (student) is maximally involved and feels “part” of what is happening, whether physically or mentally. This perception is created using technologies that affect a person’s senses and make the interaction more natural and believable.

Thus, “immersive perception” is not only awareness or perception, but an active, exciting involvement in an environment or event, thanks to which the distance learning course participant (student) feels like a part of this reality.

3. Technological approach to educating process. One of the main conditions for the any teaching viability is the presence in it of an appropriate a teaching system which in turn is a subsystem of an educating system.

According systems approach, all systems (both natural and man-made) are divided into two categories: space dependent structure (system-construction) and time dependent structure (system-process).

A construction (or design) is such a system whose elements are located in space (i.e., occupy a place in a certain sequence). A process is a system whose elements are located in time (i.e., take time in a certain sequence). Therefore, the education system is more a process than a construction, namely the educating process (similar to the technological process in the mechanical engineering technology). At the same time, every process is implemented in the corresponding (specially created) construction (space dependent structure), which is usually called a technological system (similar to one in the production manufacturing).

Here we can give an analogy with the technological process of manufacturing parts and assembling machines in mechanical engineering technology. Only instead of the product like part (or machine) we have unusual product – the worldview of the person (individual) being taught. In turn, the educating system is surrounded by appropriate infrastructure.

In addition, the known specifics of different types of education (formal, informal, non-formal) must be taken into account [2]. Formal education is structured hierarchically, planned and deliberate; it has a syllabus and is subject-oriented. The syllabus has to be covered within a specific time period. Informal education is independent of boundary walls, has no definite syllabus; it is not pre-planned and has no timetable. Non-formal education takes place apart from the school system; it is more practical and vocational education which can be performed in a homogeneous group of like-minded people, for example, online or in specially selected groups, for example, for formal education in English. It has no age limit.

In the frame of formal education, the learning is a control system “by deviation”. In other words, it can be explained by a structure, a model of the learning process for a person (individual) can be represented as an automatic closed-loop automatic control

system (learning automatic control “by deviation”), at the input of which the initial information from the teacher is compared via a feedback loop with similar information from the student. It follows that the primary stage of the learning process is the transfer of initial information on the relevant subject from the teacher to the students.

REFERENCES

- 1 Larshin, V. P., Lishchenko, N. V., Babiychuk, O. B. & Pitel', Ján. Virtual Reality and Real Measurements in Physical Technology. Applied Aspects of Information Technology. Publ. Nauka i Tekhnika. Odesa: Ukraine. 2021; Vol.4 No.1: 24–36. DOI: <https://doi.org/10.15276/aaait.01.2021.2>.
- 2 Larshin V., Sviatenko A. (2020) Educational Technology for the Society Sustainable Development. The International Journal Sustainable Development. Year X, Volume 1/2020, pp. 70-76, <https://maurorg77.wixsite.com/maur-org>.

Топтун А.В.

Черкаський державний технологічний університет

АНАЛІЗ СТАБІЛЬНОСТІ ГЕНЕРАЦІЇ СУЧАСНИХ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В УКРАЇНІ

У сучасному світі збільшується необхідність використання відновлювальних джерел енергії. До основних причин відноситься вичерпність викопних джерел енергії та високий рівень вуглекислого газу під час їх видобутку, що призводить стрімкої зміни клімату.

На сьогоднішній день найбільш розповсюдженими відновлювальних джерел енергії є сонячна енергетика, вітроенергетика, гідроенергетика, геотермальна енергетика, біоенергетика та воднева енергетика (рис.1).

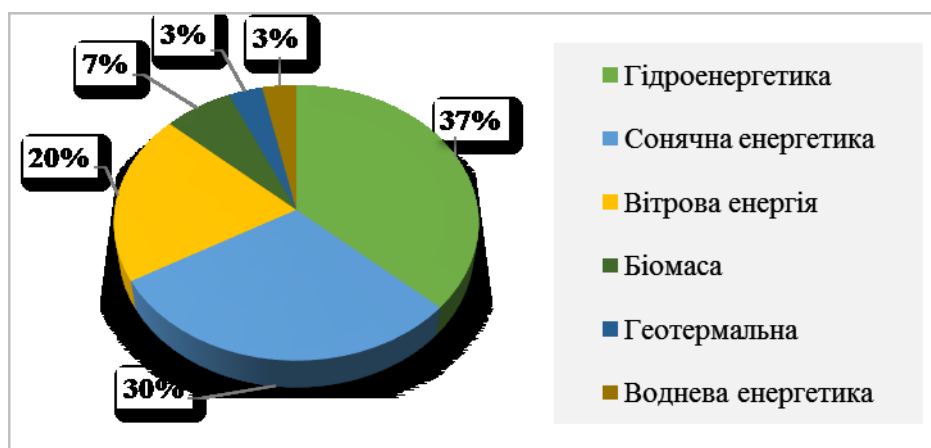


Рисунок 1 – Розподіл відновлювальних джерел енергії в Україні у 2023 [1,2]

Деякі гідроелектростанції можуть використовуватись для акумулювання надлишків виробленої енергії, що впливає на їх стабільність.

В Україні окрім гідроенергетики досить розповсюдженим джерело відновлювальної енергії є також сонячна та вітрова енергетика. Незважаючи на високий відсоток генерованої енергії цими ВДЕ, вони не є стабільними, а

видобуток залежить від впливу зовнішніх факторів. Зокрема для сонячної енергетики такими зовнішніми факторами є [4]:

- інтенсивність сонячного випромінювання,
- кліматичні умови (хмарність, сезонність),
- температура навколишнього середовища

Стабільність генерації сонячної енергії знижується взимку через меншу тривалість дня та менший кут падіння сонячних променів і високу хмарність. Однак, зберігання енергії в акумуляторах дозволяє компенсувати коливання в генерації [3, 4].

У свою чергу стабільність вітрової енергетики також залежить від багатьох зовнішніх факторів, які впливають на стабільність вітроенергетики належать:

- швидкість та стабільність вітру (мінливий вітер та часті зміни швидкості),
- географічне розташування (рельєф місцевості),
- висота та ефективність вітрових турбін (розмір лопатей, адаптивні системи, системи автоматичного відключення),
- технічне обслуговування (регулярність обслуговування).

Стабільність генерації енергії вітру досягається при постійному вітровому потоці (12-50 км/год), У випадку змінного чи надто сильного вітру (більше 90 км/год) стабільність знижується, оскільки, задля запобігання пошкодженням, вітрові турбіни вимикаються [3, 4].

Постійний доступ до органічних відходів та біомаси забезпечують стабільність біоенергетики. До основних факторів, які впливають на стабільність біоенергетики відноситься регулярність постачання сировини та сезонності (особливо в сільському господарстві).

Геотермальна енергетика вважається найбільш стабільним джерелом енергії [3, 4]. Оскільки, генерація не залежить від кліматичних умов, температури повітря та сезонності. Стабільність геотермальної енергетики ґрунтується на забезпеченні доступу до геотермальних ресурсів.

На стабільність водневої енергетики впливає стабільність відновлювальних джерел енергії, які використовуються для видобутку водню. Можливість надійного зберігання водню дозволяє забезпечити неперервну генерацію енергії водню.

ЛІТЕРАТУРА

1 Національний план дій з відновлюваної енергетики в Україні. (н.д.). Отримано з <https://dlf.ua/ua/natsionalnij-plan-dij-z-vidnovlyuvanoyi-energetiki-v-ukrayini/>

2 Аналітичний звіт: Відновлювальна енергетика в Україні. (2023). Отримано з https://www.bdo.ua/getmedia/240e9c15-71b4-4e1f-82c2-3ea1eb3da5a7/Analytical-Report-Ukrainian-Renewable-Energy-Sector_2023_ukr.pdf

3 Кудря, С. О. (Ред.). (2020). Відновлювані джерела енергії. Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАН України.

4 Кудря, С. О. (Ред.). (2020). Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України. Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАН України.

МОЖЛИВОСТІ ПРОГРАМНОГО ФОРМУВАННЯ МАРШРУТНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС» ДЛЯ ГРУПОВОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ З ВИКОРИСТАННЯМ СТРУКТУРНО-АНАЛІТИЧНОЇ МОДЕЛІ

В роботі [1] показані переваги структурно-аналітичного метода для проектування елементів ТП. В доповіді представлена програмна реалізація метода для формування маршрута обробки для групового ТП (рис. 1) деталі типу «Корпус».

На рис. 2 представлено маршрут групового ТП для цієї деталі, який переробляється в аналітичний вид за допомогою розробленого авторами в ХАІ модуля «Будівника дерева технологічних рішень» (рис. 3).

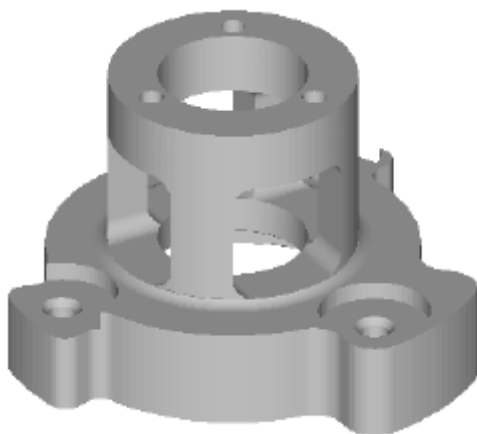


Рисунок 1 – Вид деталі «Корпус»

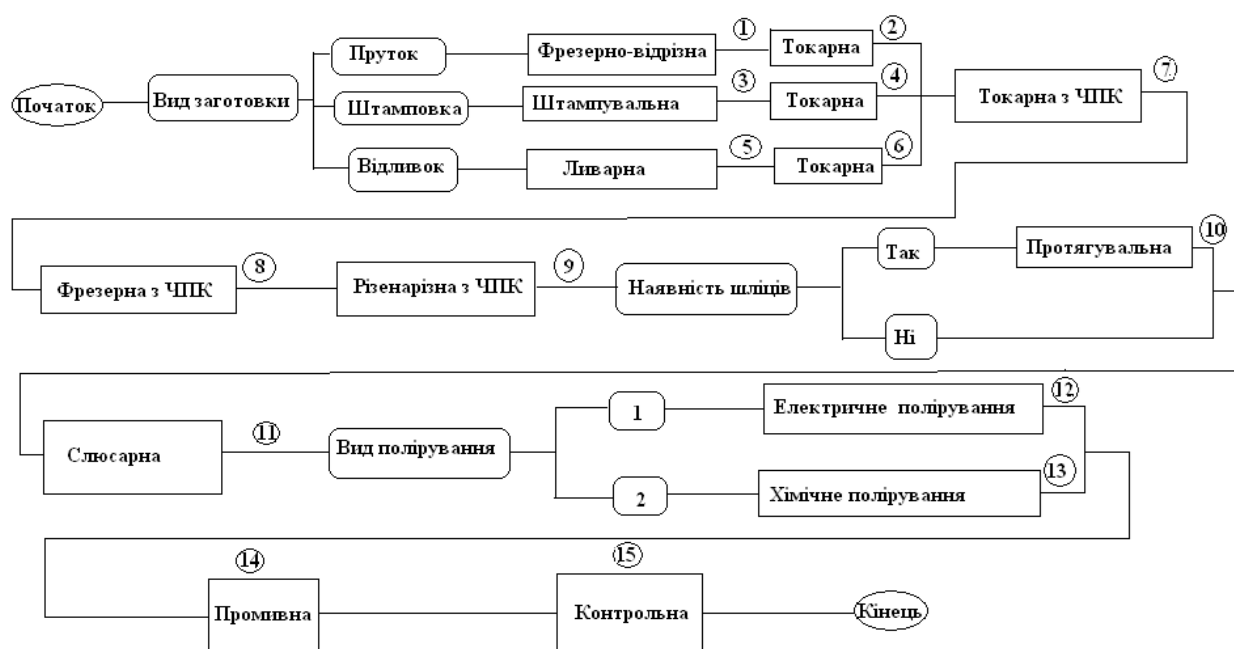


Рисунок 2 – Дерево групового маршрута ТП

1	4	1	1	2	3	1
2	0	0	0	3	3	2
3	4	1	2	4	5	3
4	0	0	0	5	5	4
5	4	1	3	6	7	5

Рисунок 3 – Екранна форма «Будівника дерева технологічних рішень» з часткою дерева маршрута в аналітичному виді

Для формування вершин графа використано 15 вершин, а для формування гілок графа, використано 3 ознаки, які мають строковий тип.

- 1 – Вид заготовки;
- 2 – Наявність шлиців;
- 3 – Вид полірування

Метод дозволяє одночасно користуватися такими видами даних – бінарні, кількісні, порядку і строкові.

На рис. 4 представлено результат роботи програмного модуля «Будівник елементів технології» зі сформованим маршрутом по вхідним даним деталі.

Рисунок 4 – Відні дані і результат роботи «Будівника елементів технології».

На рис. 5 і 6 представлено фрагменти екранної форми (рис. 4) для інших вхідних даних.

Рисунок 5 – Інші вхідні дані

Рисунок 6 – Результат формування маршрута

Рішення автоматично передається в формувач маршрутної карти.

ЛІТЕРАТУРА

1 Третяк В.В., Близнюк О.О. Можливості формування елементів ТП за допомогою структурно-аналітичного методу розпізнавання подоби в САПР ТП. Нові та нетрадиційні технології в ресурсо-та енергозбереженні. Матеріали міжнародної конференції, 6-7 грудня 2023 р. – Одеса: 2023. – С. 324-326.

Фасахов О.М., Мельничук П.П.

Державний університет «Житомирська політехніка»

ТЕРМІЧНА ОБРОБКА ЛАТУННИХ БЕЗСВИНЦЕВИХ СПЛАВІВ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ОБРОБЛЕННЯ РІЗАННЯМ

Свинцеві латуні характеризуються високою корозійною стійкістю, електропровідністю та пластичністю, але їх основне промислове застосування засноване на чудовій оброблюваності різанням, яка необхідна для високоточних та продуктивних виробничих процесів [1].

Високим показником оброблюваності такої латуні, сприяє наявність у ній частинок свинцю, які виступають у ролі елементів змащення і полегшують руйнування стружки, зводячи до мінімуму знос ріжучого інструменту [2]. Незважаючи на те, що наявність свинцю має багато переваг для оброблюваності, вона також має багато недоліків, враховуючи шкідливий вплив свинцю на здоров'я та навколишнє середовище через його токсичність. Оскільки вимога заміни свинцевих латунних сплавів на нові екологічно чисті безсвинцеві латуні у сфері медицини та питної води стає все більш явною, відсутність свинцю призводить до погіршення оброблюваності, обмежуючи якість та продуктивність процесів обробки.

У зв'язку з цим, Грецький дослідницький центр металів (Oinofyta, Greece) провів дослідження з метою покращення оброблюваності безсвинцевих латуней після введення додаткової термічної обробки перед операцією зовнішнього точіння [3].

Для дослідження були обрані заготовки із двох типів сплавів безсвинцевої латуні: CuZn42 (CW510L) та CuZn38As (CW511L).

Умови термообробки були обрані з метою підвищення твердості, та зниження пластичності на основі критеріїв специфікації EN 12164 [4, 5], а саме:

а) CuZn42 (CW510L): 775° протягом 60 хв. з подальшим різким охолодженням у воді. Отримана твердість HV₁середня – 138 од.

б) CuZn38As (CW511L): 850° протягом 120 хв. з подальшим різким охолодженням у воді. Отримана твердість HV₁середня – 97 од.

У результаті, після проведення термічної операції та здійснення процесу різання на однакових режимах (табл. 1) для зразків без термічної обробки та після неї, отримали наступні результати (рис. 1).

Таблиця 1 – Результат морфології стружки безсвинцевої латуні після обраних процесів термообробки [3].

Темп. термічної обробки С°	Час термічної обробки, хв.	Режими різання				СМ* (стан поставки)	СМ* (після термічної обробки)
		n ⁻¹ , об/хв.	t, мм.	S, мм/хв	Матеріал		
775	60	1500	0,5	150	CW510L	4	2
850	120	2000	1,5	150	CW511L	5	3

* - Класифікація морфології стружки (СМ): 1 - голкова стружка, 2 - дужкоподібна стружка, 3 - конічна спіральна стружка, 4 - шайбподібна спіральна стружка, 5 - зливна стружка, відповідно до ISO 3685 [6].

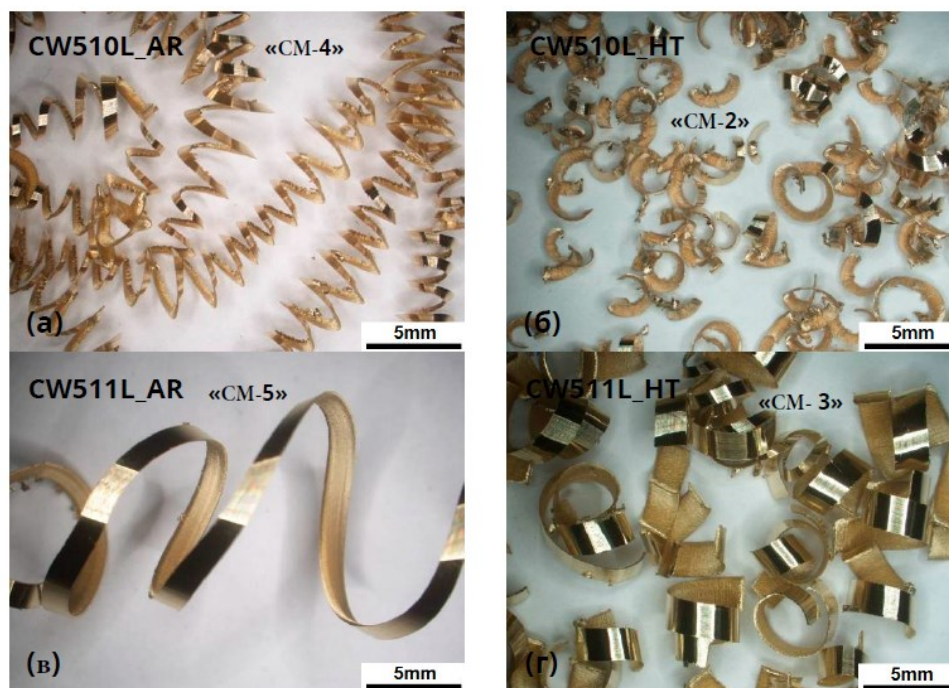


Рисунок 1 – Умови морфології стружки для досліджуваних сплавів після термічної обробки (а) CW510L – у стані поставки, (б) CW510L – після термообробки, (в) CW511L – у стані поставки, (г) CW511L – після термообробки [3].

Спостерігаємо, що латунні сплави під час обробки різанням з однаковими режимами, після попередньої термічної обробки, продемонстрували значне поліпшення утворюваної стружки, знизивши рейтинг морфології стружки на два класи, що в свою чергу позитивно впливає на оброблюваність матеріалу та полегшує видалення стружки із зони різання без пошкодження обробленої поверхні.

Таким чином слід зазначити, що термообробка латунних сплавів без вмісту свинцю є перспективним підходом, спрямованим на покращення оброблюваності шляхом модифікації мікроструктури, без зміни стандартного хімічного складу та збереження і навіть покращення механічних властивостей.

Однак, автори даного дослідного експерименту наполягають на необхідності подальших досліджень для більш точного визначення умов термообробки та перенесення процесу у промислові масштаби з метою розробки та впровадження економічно життєздатного виробничого процесу.

ЛІТЕРАТУРА

- 1 Kuyucak, S.; Sahoo, M. A review of the machinability of copper-base alloys. Can. Metall. Q. 1996, 35, 1–15.
- 2 Nobel, C.; Klocke, F.; Lung, D.; Wolf, S. Machinability enhancement of lead-free brass alloys. Procedia CIRP 2014, 14, 95–100.
- 3 https://www.researchgate.net/publication/326607218_Final_Heat_Treatment_as_a_Possible_Solution_for_the_Improvement_of_Machinability_of_Pb-Free_Brass_Alloys (дата звернення 27.11.2024)
- 4 Toulfatzis, A.; Pantazopoulos, G.; Paipetis, A. Microstructure and properties of lead-free brasses using post-processing heat treatment cycles. Mater. Sci. Technol. 2016, 32, 1771–1781.
- 5 Pantazopoulos, G.; Vazdirvanidis, A. Characterization of microstructural aspects of machinable phase brass. Microsc. Anal. 2008, 22, 13–16.
- 6 ISO. ISO 3685: Tool-Life Testing with Single-Point Turning Tools; International Organization for Standardization (ISO): Geneva, Switzerland, 1993.

Фоменко В.О., Пікільняк А.В.

Криворізький національний університет

ОПТИМІЗАЦІЯ ВПЛИВУ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ НА ШОРСТКІСТЬ ОБРОБЛЮВАНОЇ ПОВЕРХНІ ДЕТАЛЕЙ ІЗ МАРГАНЦЕВОЇ СТАЛІ

Марганцеві сталі широко застосовуються в промисловості завдяки своїй винятковій міцності, зносостійкості та пластичності. Висока твердість марганцевих сталей створює труднощі під час обробки. Оптимізація параметрів різання є необхідною для підвищення ефективності обробки, забезпечення точності та зменшення зносу інструментів.

Основні результати досліджень та аналіз графіків залежностей показують вплив параметрів різання на шорсткість.

Швидкість різання: Залежність між шорсткістю поверхні деталі з марганцевої сталі та швидкістю різання є складною і значною мірою залежить від фізичних властивостей матеріалу. Зі збільшенням швидкості різання (швидкості обертання шпинделя) шорсткість поверхні зазвичай зменшується, оскільки вищі швидкості забезпечують більш ефективне видалення стружки, зменшуючи її розмір і кількість дефектів на поверхні. Крім того, на високих швидкостях інструмент працює при нижчих температурах, що зменшує знос і покращує точність обробки. Однак при занадто високих швидкостях різання

може відбутися перегрів інструмента та матеріалу, що призводить до зниження зносостійкості інструмента, утворення мікротріщин на обробленій поверхні і, як наслідок, збільшення шорсткості. Крім того, марганцева сталь має підвищену схильність до утворення нальотів і задирок при високих температурах, що додатково погіршує якість поверхні.

Подача інструмента: Шорсткість поверхні деталей із марганцевої сталі безпосередньо залежить від подачі ріжучого інструменту: зі збільшенням подачі шорсткість також зростає. За низьких подач (0,05–0,1 мм/об) забезпечується гладкіша поверхня завдяки більш рівномірному різанню, однак занадто мала подача може спричинити мікровібрації та нерівномірний зріз, що погіршує якість. Середні значення подачі (0,1–0,2 мм/об) дозволяють досягти балансу між продуктивністю та якістю поверхні, особливо при використанні твердосплавних інструментів. Висока подача (понад 0,2 мм/об) призводить до збільшення шорсткості через утворення глибших борозенок на поверхні та підвищення навантаження на інструмент. Для мінімізації шорсткості важливо враховувати властивості матеріалу, тип інструменту та обирати оптимальну подачу відповідно до режиму обробки.

Глибина різання: Шорсткість поверхні деталей із марганцевої сталі залежить від глибини різання, що впливає на навантаження на інструмент і стабільність процесу обробки. За малої глибини різання (до 0,5 мм) шорсткість може бути підвищеною через нестабільне утворення стружки, що призводить до мікровібрацій і нерівномірної обробки.

Зі збільшенням глибини різання часто погіршується якість поверхні через посилення сил різання і температурного навантаження. Це може викликати нерівномірне утворення поверхневих шарів.

Середні глибини різання (0,5–2 мм) зазвичай забезпечують кращу якість поверхні завдяки стабільнішому контакту інструмента з матеріалом і зменшенню мікровібрацій. Водночас за великої глибини різання (понад 2 мм) шорсткість зростає через посилений знос інструмента, глибші сліди від ріжучої кромки на поверхні та підвищені сили різання, які можуть викликати деформацію або перегрів у зоні обробки.

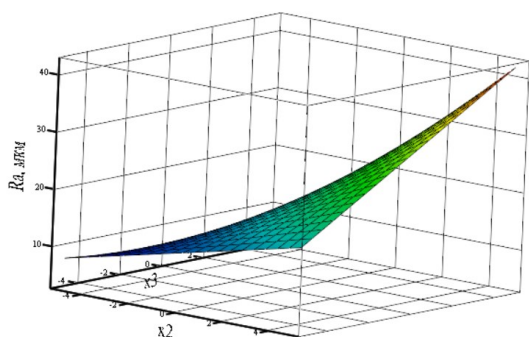


Рисунок 1 – Поверхня відгуку шорсткості оброблюваної поверхні від режимів різання в кодованій формі

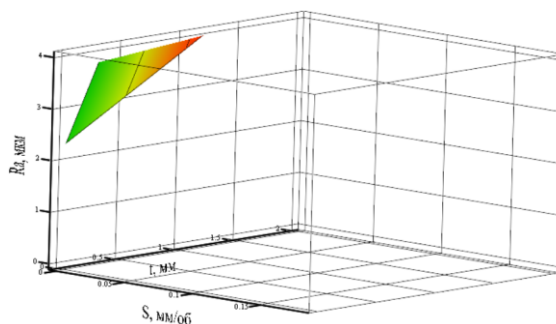


Рисунок 2 – Поверхня відгуку шорсткості оброблюваної поверхні від режимів різання в натуральній формі

Передній кут різця TP2501 від Seco Tools: оптимальний передній кут у межах $\pm 5^\circ$ сприяє отриманню гладкої поверхні. Зміна кута від оптимального збільшує напружений стан матеріалу, що призводить до погіршення якості.

Математичні моделі, побудовані на основі цих факторів, дозволяють прогнозувати параметри шорсткості залежно від обраних режимів, що спрощує процес планування обробки і підвищує її ефективність (рис. 1, 2).

Висновок: у результаті проведеного дослідження оброблюваності марганцевих сталей було визначено вплив основних параметрів різання на якість поверхні.

Зокрема, встановлено залежність шорсткості поверхні від швидкості різання, подачі та глибини різання, що дозволило оптимізувати параметри технологічного процесу. Отримані результати стали основою для розробки практичних рекомендацій щодо вибору режимів різання, які забезпечують баланс між високою продуктивністю та необхідною якістю поверхні. Запропонована методика є ефективним інструментом для оптимізації процесів обробки деталей із марганцевої сталі, сприяючи підвищенню точності та зносостійкості виробів у промислових умовах.

*Фролов В.К., Лапковський С.В., Приходько В.П.,
Данилова Л.М.*

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Ярова І.А.

Національний університет «Одеська політехніка»

БЕЗКОНТАКТНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ГАБАРИТНИХ РОЗМІРІВ ДЕТАЛЕЙ

Автоматизація виробництва сучасних машин вимагає значного підвищення продуктивності, точності, надійності і достовірності вимірювань. Автоматизація засобів вимірювання і контролювання займає одне з важливих місць в комплексній автоматизації виробничих процесів.

Для автоматизації контролю лінійних розмірів деталей найбільшого поширення набули електроконтактні датчики. При досягненні певного значення контрольованої величини вони розмикають або замикають контакти електричних кіл, які управляють виконавчими органами контрольної системи. Датчик налагоджують за двома еталонами, які мають найбільший і найменший граничні розміри вимірюваної деталі. Попри незаперечну перевагу цих пристроїв – точність, вони відрізняються складністю конструкції і процесу налагодження на вимірюваний розмір.

Авторами запропонований альтернативний спосіб контролю габаритних розмірів деталей, оснований на використанні цифрової фотографії (рис. 1, 2) [1]. Спосіб реалізують наступним чином.

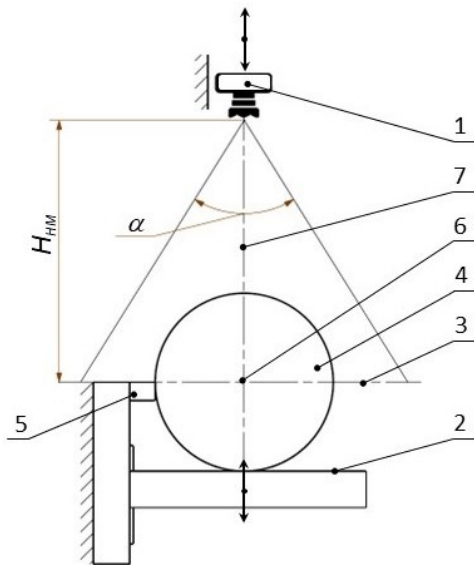


Рисунок 1 – Схема контролю (вид збоку)

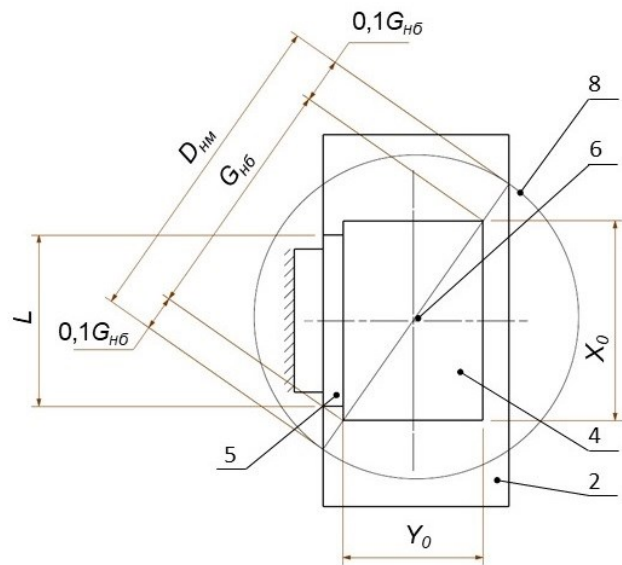


Рисунок 2 – Схема контролю (вид зверху)

Цифровий фотоапарат 1 розміщують над базовою поверхнею 2 та фокусують на площині 3 вимірювання розмірів. Для запобігання появи неточностей вимірювання розмірів, що виникають через «ефект перспективи», розташування площини 3 вимірювання розмірів призначають в залежності від форми вимірюваного об'єкта 4. Для об'єкта, габаритні розміри якого є незмінними в будь-якому його перетині по висоті, площиною вимірювання розмірів призначають верхню площину об'єкта. Для об'єкта, розміри якого відрізняються в перетинах по висоті, площиною вимірювання розмірів призначають площину з найбільшими габаритними розмірами.

В площині 3 вимірювання розмірів встановлюють калібровану лінійку 5 відомого розміру L .

Вимірюваний об'єкт 4 встановлюють на базовій поверхні 2 таким чином, щоб його геометричний центр 6 в площині 3 вимірювання розмірів був розташований на осі 7 об'єктива фотоапарата 1, яка проходить через центр кола 8 зображення об'єктива. Виконують фотографування об'єкта 4, отриману цифрову фотографію 9 передають до обчислювального пристрою. За допомогою комп'ютерної програми визначають габаритні довжину X_0 та ширину Y_0 об'єкта, співставивши їх з розмірами каліброваної лінійки.

Для запобігання погіршення якості зображення на цифровій фотографії розміри зони фотографування обмежують. Найменший діаметр $D_{нм}$ кола зображення об'єктива в площині вимірювання і найменшу відстань $H_{нм}$ від об'єктива до площини вимірювання визначають за залежностями:

$$D_{нм} = 1,2 G_{нб}; H_{нм} = 0,5 D_{нм} / \tan \frac{\alpha}{2},$$

де $G_{нб}$ – найбільший габаритний розмір об'єкта;

α – кут зору об'єктива фотоапарата.

При суттєвій зміні габаритних розмірів або зміні форми вимірюваних об'єктів для забезпечення точності вимірювання коригують відстані від базової поверхні 2 до площини 3 вимірювання розмірів і від площини 3 вимірювання розмірів до об'єктива фотоапарата 1. При цьому просторове положення

площини 3 вимірювання розмірів, в якій встановлена калібрована лінійка 5, не змінюють, а корегування здійснюють переміщенням в вертикальному напрямку базової поверхні 2 та/або фотоапарата 1 (рухи показані стрілками на рис. 1).

При застосуванні пропонованого способу безконтактного визначення габаритних розмірів об'єкта важливими є параметри використовуваної фотоапаратури. Для отримання якісного неспотвореного зображення на всій площі цифрової фотографії, що забезпечить вимірювання розмірів з необхідною точністю, доцільно використовувати нормальний об'єктив з кутом зору від 40° до 60°, у якого фокусна відстань становить від 37 до 70 мм.

В якості каліброваної лінійки можна використовувати, наприклад, набір кінцевих мір довжини.

Запропонований спосіб безконтактного визначення габаритних розмірів об'єкта підвищить точність та загальну продуктивність вимірювання розмірів.

ЛІТЕРАТУРА

1 Спосіб безконтактного визначення габаритних розмірів об'єкта : пат. на корисну модель № 154839 Україна : МПК G01B 21/02 / В. К. Фролов, І. А. Ярова, С. В. Лапковський, В. П. Приходько, Л. М. Данилова та інші. № u202303572 ; заявл. 24.07.23 ; опубл. 20.12.2023, Бюл. № 51.

Khavin G.L.

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»

MODEL OF WEARING WC-CO TOOLS WITH PLANTED POLYMER COMPOSITE MATERIALS

The characteristic microstructure of the WC-Co tool wear surface of hard alloys during the processing of polymer composite materials (PCM) shows that the wear of the tungsten carbide cutting edge occurs by the preferential removal of the cobalt binder followed by fragmentation, destruction and loss of WC grains. The binder (Co) is removed from the space between the tungsten carbide grains by a combination of plastic deformation (extrusion) and micro-abrasive wear. Then, when a sufficient amount of the binder has been removed, the carbide grains are removed from the surface by destruction and loss.

During the processing of PCM, after the destruction of the reinforcing material during interaction with the front surface of the tool, contact of the cut fibers with the flank surface of the cutting part occurs. It is this contact that leads to the fact that frees microfragments of the hard and abrasive phase of the reinforcement at the boundary between the tool and the workpiece are able to penetrate under the cutting pressure between the carbide grains and destroy the cobalt binder by micro-abrasive wear. In this case, there is abrasion of the already cut surface, its cleaning, accompanied by the processes of the bond and reinforcing material destruction, the appearance of cracks,

tearing out of fibers, i.e. all the effects characteristic of abrasive wear of the PCM surface.

Such a representation of the interaction process along the back surface allows it to be interpreted as mutual wear of two composite materials. Despite the significant difference in the physical and mechanical properties of the interacting objects, they are united by the abrasive type of wear in contact and all the patterns inherent in it. From this point of view, the problem can be formulated as mutual wear of two contacting composite materials.

Surface and volumetric destruction of PCM during cutting has been studied quite intensively and continues to be studied as the most important component of modern mechanical engineering. For abrasive wear, existing models for composites are greatly simplified and do not allow one to easily predict the role of the microstructure of the composite. In general, they are based on two simplified equations, the first of which, the inverse rule of mixtures, was introduced for two-phase composites or the wear equation for multiphase materials, includes the linear rule of mixtures, where the wear behaviour of the composite is not determined by a single phase, but instead the contribution of each component is linearly proportional to its volume fraction in the composite.

Both models are based on the idea that all components in a composite wear in the same way as in the bulk material; therefore, the contribution of each component can depend only on its volume fraction and wear rate. The influence of other important factors, such as the properties of the interface between the distinctive phases and the relative sizes of these phases, is not considered.

Хомяк Ю.М., Кібаков О.Г.

Одеський національний морський університет

Жеглова В.М.

Національний університет «Одеська політехніка»

СПОСОБИ ПІДВИЩЕННЯ НАВАНТАЖУВАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ БЛОКУ ЦИЛІНДРІВ АКСІАЛЬНО-ПОРШНЕВИХ ГІДРОМАШИН

Удосконалення аксіально-поршневих гідромашин (АПГ) насамперед спрямоване на підвищення робочого тиску та частоти обертання зі збереженням габаритів та мас. Підвищення тиску зумовлює зростання напружень в основних деталях (а отже – зниження міцності), інтенсифікацію зношування при їх відносних переміщеннях, збільшення робочої температури.

Кінематика АПГ визначається конструкцією накачувального вузла, основними деталями якого є приводний вал, блок циліндрів (БЦ), торцевий розподільник, поршні з шатунами і підшипники. З них до найбільш відповідальних відноситься БЦ, який лімітує ресурс АПГ внаслідок високого рівня напружень, що виникають при роботі та їх циклічній зміні (рис. 1).

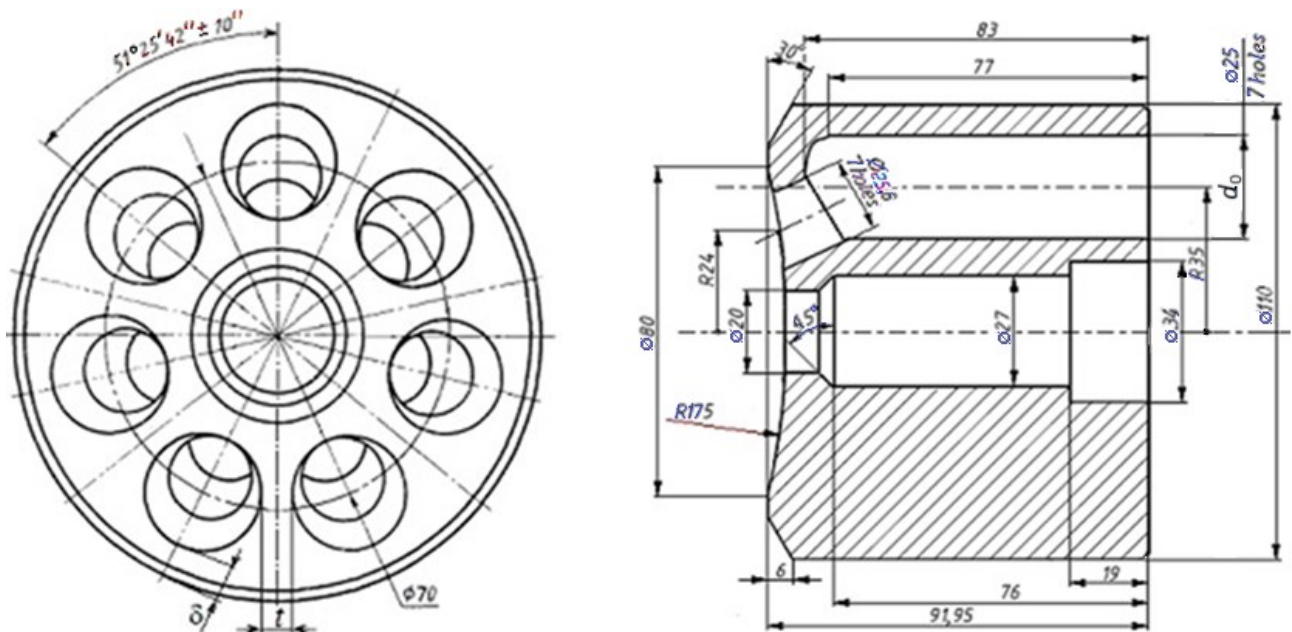
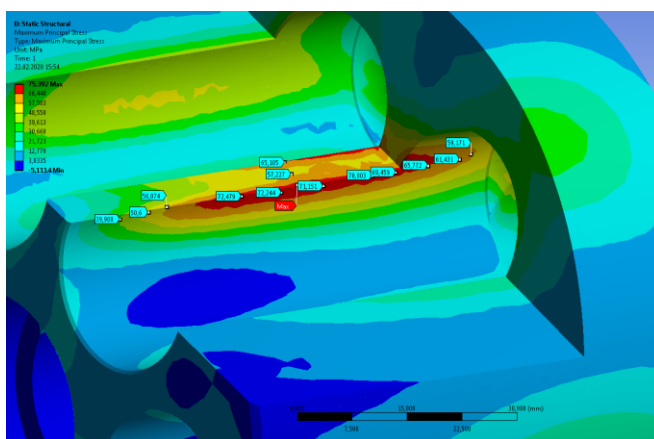


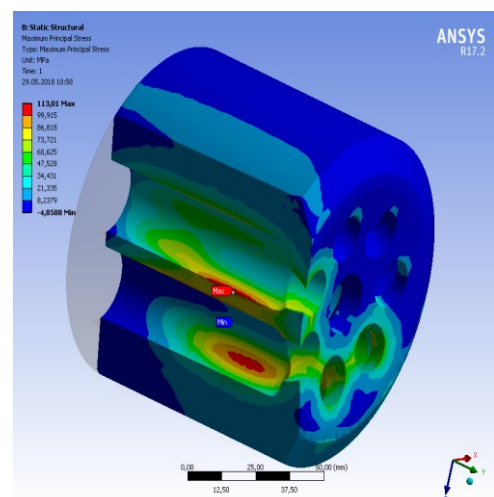
Рисунок 1 – Блок циліндрів семициліндрової ($n=7$) АПГ 210.25

БЦ під час роботи АПГ обертається, три або чотири ($k=3$ або 4) його циліндри потрапляють в зону нагнітання з тиском p_0 , решта – в зону зливу, де діє $p_1 \approx 1$ МПа, отже напруження циклічно змінюються, тому розрахунки на міцність проводяться за критерієм опору втомі. Розрахунок БЦ виконано методом скінчених елементів (МСЕ) в програмному комплексі ANSYS Workbench при трьох значеннях номінальному тиску p_0 , рис. 2 та табл. 1.

Були проведені втомні випробування зразків з матеріалу БЦ – олов'яної бронзи БрО12 (характеристики міцності в стані постачання: границя міцності $\sigma_B=320$ МПа, умовна границя текучості $\sigma_{0.2}=180$ МПа). Визначено границю витривалості для гладких зразків $\varnothing 7,5$ мм при симетричному циклі зміни напружень, $\sigma_{-1}=110$ МПа. Напруження в БЦ змінюються по віднульовому циклу, розрахунок дав для нього границю витривалості $\sigma_{0D}=91,3$ МПа.



а



б

Рисунок 2 – Розподіл першого головного напруження σ_1 в перерізі міжциліндрової перемички при $k=4$ і номінальному тиску: а – $p_0=16$ МПа; б – $p_0=25$ МПа

Для типових режимів навантаження визначено зміну ресурсу БЦ за критерієм опору втомі при зростанні рівня номінального тиску p_0 , табл. 1. Отримані результати свідчать, що підвищення тиску від 16 МПа до 25 МПа (приблизно в 1,5 рази) призводить до зниження ресурсу БЦ в 44÷81 разів. Наприклад, якщо АПГ працюватиме у середньому нормальному режимі 14 год/добу і 310 днів/рік з частотою обертання ротора $n=1500$ об/хв, то при тиску $p_0=16$ МПа розрахунковий ресурс БЦ становитиме 18,25 років, а при $p_0=25$ МПа – 1,2 року.

Таблиця 1 – Ресурс БЦ (матеріал – бронза БрО12), $N_{бц}$, млн. циклів

Тиск в БЦ, p_0 , МПа	Режим навантаження				
	Важкий	Середній рівноймовірний	Середній нормальний	Легкий	Особливо легкий
16	965,7	1976	7129	15606	84042
20	143,4	291,5	859,6	1736	7741
25	21,96	44,52	128,5	254,1	1037

Шляхом до забезпечення необхідного ресурсу за критерієм опору втомі БЦ є підвищення границі витривалості σ_{0D} , яке досягається при збільшенні основних механічних характеристик матеріалу БЦ, σ_b і $\sigma_{0.2}$. Для цього використовуються технологічні і конструктивні методи.

Технологічними методами досягається підвищення міцності внутрішніх поверхонь циліндрів (дорнування віброобкатуванням або алмазним вигладжуванням). Об'ємна міцність підвищується методом гідроекструзії. Заготовки для БЦ з $\varnothing 140$ мм обтискувались до $\varnothing 117$ мм (ступінь деформування приблизно $\varepsilon=30\%$) і відпалювались при 350°C . Механічні характеристики бронзи БрО12 вдається підвищити майже до характеристик сталей: $\sigma_b=607$ МПа, $\sigma_{0.2}=476$ МПа, $\sigma_{-1}=210$ МПа. Це дає можливість підняти тиск в АПГ вдвічі, від 16 МПа до 32 МПа при збереженні того ж ресурсу. Заміна матеріалу БЦ є другим напрямком для підвищення тиску. В останні роки для БЦ почали використовувати композитну конструкцію – сталь з нанесеним на її поверхні тертя шаром бронзи. Це дозволяє суттєво підвищити тиск, до $p_0=(45\dots 50)$ МПа, але ускладнює технологію. До того ж погіршується теплопровідність конструкції. Як альтернативу можна рекомендувати для використання високоміцні сплави міді. Приклади таких сплавів: бронза нікель-хромово (Ni – 30 %, Cr – 3 %, Fe – 0,5 %) з $\sigma_b=590$ МПа, $\sigma_{-1}=245$ МПа; бронза нікель-алюмінієва (Ni – 5 %, Al – 4 %, Cr – 1 %, Mn – 2,5 %) з $\sigma_b=1000$ МПа (після термообробки та старіння) – це рівень високоміцних сталей [1].

Конструктивні методи. МСЕ-розрахунки свідчать, що напружений стан БЦ є істотно нерівномірним, критично навантаженою є міжциліндрова перемичка, рис. 2. Для розвантаження запропоновано корегувати конструкцію – збільшити товщину перемички t шляхом радіального переміщення циліндрів на величину Δ . Мінімальні товщини стінок t і δ залежать від зміщення Δ : $t(\Delta)=2(R+\Delta)\sin(\pi/n)-d_0$; $\delta(\Delta)=R_e-R-\Delta-0,5d_0$, де для розглянутого БЦ $R=35$ мм – радіус кола розташування циліндрів, $R_e=55$ мм – радіус зовнішньої поверхні БЦ, $d_0=25$ мм – діаметр циліндрів, $n=7$ – їх кількість (рис. 1). Оптимальна величина

радіуса розташування циліндрів R визначається умовою рівномірності міжциліндрової перемички і зовнішньої стінки, товщина якої δ зменшуватиметься. За результатами МСЕ-розрахунків (червоні квадратики та кола) побудовані графіки зміни напружень в міжциліндровій перемичці $\sigma(\Delta)$.

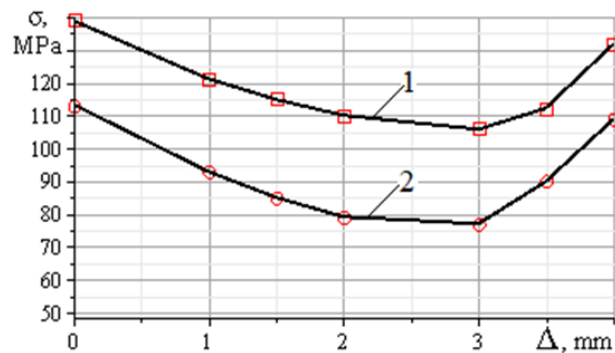


Рисунок 3 – Зміна величини максимальних напружень в міжциліндровій перемичці при тиску $p_0 = 25$ МПа залежно від зміщення циліндрів Δ : 1 – еквівалентне (за Мізесом), σ_{Mmax} ; 2 – перше головне σ_{Imax}

Встановлено, що раціональним буде переміщення $\Delta = 2,5$ мм, яке забезпечує зменшення максимального напруження від 113 МПа до 78 МПа (на 45 %). При цьому буде $R = 37,5$ мм і товщина t збільшиться від 5,37 мм до 7,54 мм, а δ зменшиться від 7,5 мм до 5 мм.

Ще одним способом збільшення ресурсу БЦ є підкріплення його зовнішнім бандажем, – циліндричною втулкою, виконаною з високоміцної сталі.

Запропоновані тут способи підвищення навантажувальної здатності БЦ є неспорядливими, отже їх суміщення дозволяє успішно забезпечити потрібний ресурс при підвищенні робочого тиску до рівнів $p_0 = (50 \dots 55)$ МПа.

ЛІТЕРАТУРА

1 Altenberger I., Kuhn H.-A., Müller H.R., Mhaede M., Gholami-Kermanshahi M., Wagner L. Material properties of high-strength beryllium-free copper alloys / International Journal of Materials and Product Technology, 2015. – 50(2). – P. 124-146.

Цапко Ю.В., Бондаренко О.П., Цапко О.Ю.,
Ющенко А.В.

Київський національний університет будівництва і архітектури

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАХИСТУ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ВІД ДІЇ ВОГНЮ

Типові області застосування жароміцних і вогнестійких тканин – це ті, де правила пожежної безпеки вимагають їх використання, а саме захисний одяг, тканини, які контактують з полум'ям, текстильні матеріали для протипожежних бар'єрів (наприклад, протипожежні штори для театрів, ізоляційні тканини) та військового застосування і, зокрема, багато тканин використовується в системах громадського транспорту, таких як комерційні авіалінії, круїзні лайнери і сучасні

швидкісні потяги [1-3]. Оскільки цей матеріал чутливий до впливу високої температури, підвищити рівень пожежної безпеки об'єктів, де використовуються будівельні конструкції з тканинних матеріалів, можливо за допомогою їх вогнезахисного оброблення. Тому постає необхідність встановлення ефективної дії покриття з утворенням шару коксу, що дасть можливість вжити заходів для ліквідації пожежі. В зв'язку з цим визначається необхідність розвитку робіт в даному напрямку та використання ефективних вогнезахисних матеріалів.



Рисунок 1 – Зразок для випробувань

Для встановлення вогнезахисної ефективності текстильного матеріалу використовували зразки парусинової тканини (рис. 1), які оброблювали композицією, що утворює на поверхні безбарвну плівку та здатна під дією високої температури створити на

поверхні пінококсівий захисний шар.

Визначення вогнезахисних властивостей текстильних матеріалів здійснювалось відповідно до вимог ДСТУ 4155 [4]. Суть методу випробування на займистість полягає в оцінюванні характеристик горіння матеріалів під дією полум'я в лабораторних умовах, які контролюються. Випробування проводять з двох положень: з поверхні та з краю. Під час проведення випробувань реєструють тривалість залишкового полум'я, прогорання матеріалу, поширювання поверхневого спалаху та вимірюють середню довжину звугленої ділянки.

Таблиця 1 – Результати проведених досліджень з визначення температури займистості текстильного матеріалу

Показник пожежовибухо-небезпеки згідно з [4]	Не оброблений зразок тканини		Зразок тканини, оброблений вогнезахисною композицією	
Вид випробування	випробування з поверхні	випробування з краю	випробування з поверхні	випробування з краю
Тривалість залишкового полу-меневого горіння, с	62	68	відсутня	відсутня
Прогорання матеріалу	прогоряє	прогоряє	не прогоряє	не прогоряє
Поширювання поверхневого спалаху більш ніж на 100 мм від точки запалювання	не поширюється		не поширюється	
Середня довжина звугленої ділянки, мм	163,8	200,6	29,3	33,6
Середня маса зразків до випробувань, г	27,79	27,10	28,2	28,3
Середня маса зразків після випробувань, г	4,60	3,97	28,0	28,0

Результати досліджень з визначення температури займистості текстильних матеріалів згідно з ДСТУ 4155 [4] наведено у табл. 1.

З табл. 1 видно, що після дії пальника на зразки вогнезахищених текстильних матеріалів природного походження (бавовна, льон), встановлено відсутність залишкового полуменевого горіння та поширення поверхневого спалаху, середня довжина звугленої ділянки становила менше, ніж вимагається згідно з [4], а втрата маси після випробувань складає менше 1,0%. Це свідчить про можливість переходу текстильного матеріалу при обробленні композицією, до матеріалів, які відносяться до важкозаймистих, що не поширюють полум'я поверхнею.

ЛІТЕРАТУРА

1 Horrocks A.R. High performance textiles for heat and fire protection. High Performance Textiles and their Applications / Woodhead Publishing Series in Textiles. – 2014. – P. 144-175. <https://doi.org/10.1533/9780857099075.144>.

2 Tsapko Yu., Tsapko A. Installation of fire fighting efficiency of processed processing solution and coverage / Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2018. – Vol. 4. – №10 (94). – P. 62-68.

3 Tsapko Yu., Tsapko A., Bondarenko O. Determination of the laws of thermal resistance of wood in application of fire-retardant fabric coatings / Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2020. – Vol. 2. – №10 (104). – P. 13-18.

4 ДСТУ 4155 Матеріали текстильні. Метод випробування на займистість. – Київ: Держспоживстандарт України, 2003.

*Цапко Ю.В., Бондаренко О.П., Цапко О.Ю.,
Ющенко А.В.*

Київський національний університет будівництва і архітектури

ОСОБЛИВОСТІ ЗАХИСТУ ВИРОБІВ З ОЧЕРЕТУ ІНТУМЕСЦЕНТНИМ ПОКРИТТЯМ ВІД ДІЇ ВОГНЮ

На сьогоднішній день для вогнезахисту будівельних конструкцій з природних горючих матеріалів, наприклад, деревини широко застосовують спеціальні покриття, які при дії високої температури виділяють воду та утворюють на поверхні стійкий шар керамічного матеріалу, але вони не завжди забезпечують вогнестійкість [1]. Тому у останній час набули поширення засоби, що здатні до утворення на поверхні будівельної конструкції теплоізоляційного шару пінококсу, який у значній мірі знижує процеси передачі тепла до матеріалу [2]. Однак, очерет характеризується значною густиною та гідрофобністю і просочення одразу не затримується в матеріалі й стікає з поверхні [3]. Найбільш ефективними вважаються вогнезахисні покриття на неорганічному в'язучому, властивості яких вже досліджені. Але ці матеріали утворюють на поверхні жорстке покриття, яке змінює колір поверхні та під дією атмосфери втрачає адгезію та осипається [4].

Використання композицій з суміші полімерних речовин та антипіренів може підвищити вогнезахист матеріалу за рахунок утворення захисного шару коксу, що дозволить розробити новий тип вогнезахисних засобів для будівельних конструкцій з очерету та перевести його до важкозаймистих матеріалів [5].

Метою даної роботи є дослідження вогнестійкості очерету, захищеного інтумесцентним покриттям, і встановлення ефективності вогнезахисту обробленого виробу.

В ході досліджень проведено визначення групи горючості будівельної конструкції з очерету. Під час проведення досліджень визначали температуру димових газів, тривалість самостійного горіння зразків, довжину пошкодження та втрату маси зразків (рис. 1).

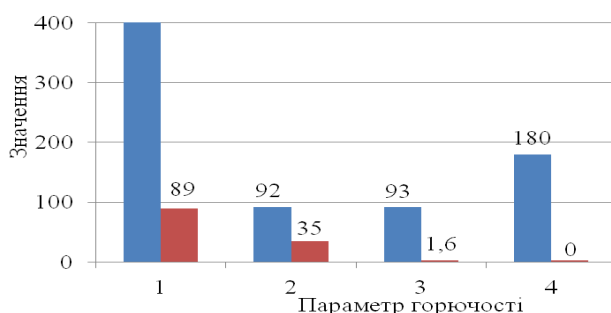


Рисунок 1 – Визначення групи горючості вогнезахищеного очерету згідно з [7]:
 1 – температура димових газів (T , $^{\circ}\text{C}$); 2 – ступінь пошкодження зразків за довжиною (S_L , %); 3 – ступінь пошкодження за масою (S_m , %); 4 – тривалість самостійного горіння (τ , с)

На рис. 2 представлено етапи визначення горючості очерету.



а



б

Рисунок 2 – Визначення групи горючості очерету:
 а – зразки очерету; б – зразки після випробувань

За результатами досліджень встановлено, що вогнезахищені матеріали з очерету відносяться до горючих будівельних матеріалів помірної горючості (Г1), а необроблений класифіковано як будівельний матеріал підвищеної горючості (Г4).

Експериментальними дослідженнями з визначення пожежонебезпечних властивостей очерету встановлено загорання необробленого зразка, натомість для вогнезахищеного – процес займання та поширення полум'я не відбувся. Гальмування процесу займання та поширення полум'я для такого зразка пов'язане з розкладом антипіренів під дією температури з поглинанням тепла та

виділенням негорючих газів (азот, діоксин вуглецю), зміною напрямлення розкладу в сторону утворення негорючих газів і важкогорючого коксового залишку.

ЛІТЕРАТУРА

1 Tsapko Yu., Tsapko A. Establishment of the mechanism and fireproof efficiency of wood treated with an impregnating solution and coatings. Eastern-European Journal Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 3. – №10 (87). – P. 50-55.

2 Tsapko Yu., Tsapko A. Modeling a thermal conductivity process under the action of flame on the wall of fireretardant reed. Eastern-European Journal Enterprise Technologies. – 2018. – Vol. 2. – №10 (92). – P. 50-56.

3 Zoleta J.B., Itao G.B., Resabal Hiroyoshi N., Tabelin C.B. Improved pyrolysis behavior of ammonium polyphosphate-melamine-expandable (APP-MEL-EG) intumescent fire retardant coating system using ceria and dolomite as additives for I-beam steel application. Heliyon. – Vol. 6 (1). – 2020. – 03119. – С. 1-7.

4 Erdoğan Y. Production of an insulation material from carpet and boron wastes. Bulletin of the Mineral Research and Exploration. – Vol. 152. – 2016. – P. 197-202.

5 Tsapko Yu., Kyrycyok V., Tsapko A., Bondarenko O., Guzii S. Increase of fire resistance of coating wood with adding mineral fillers. MATEC Web of Conferences. – 2018. – Vol. 230. – 02034. – 6 p. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201823002034>

Чумаченко Т.В., Ніколаєва Т.В., Пасєка І.В.
Національний університет «Одеська політехніка»
Беспалова А.В.
Одеська державна академія будівництва і архітектури

ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ РІЗУЧОГО ІНСТРУМЕНТУ ПІСЛЯ ОБРОБКИ ХОЛОДОМ

Стійкість інструменту та його зношування є важливими факторами, які визначають закономірності зміни систематичних та випадкових похибок при обробці. Чим вище стійкість інструменту і, отже, менша інтенсивність зношування в часі, тим більший період часу похибка деталі не виходить за поля допуску і тим рідше необхідно проводити переналагодження обладнання та переточування інструменту. Обробка лезового інструменту холодом до криогенних температур може дати можливість суттєво підвищити його стійкість.

Дослідження механічних властивостей металів різної кристалічної будови показує, що охолодження зразків нижче 273°K наводить до підвищення межі міцності. При збереженні пластичності у металах та сплавах в умовах низьких температур зростає робота руйнування при динамічних навантаженнях та опір руйнуванню матеріалів при циклічних навантаженнях [1, 2].

На низькотемпературну пластичність істотно впливає структурний стан сталі. Рівновісні структури сталі утворюються в результаті розпаду аустеніту при повільному охолодженні при низькотемпературній витримці.

Аустеніт в порівнянні з іншими структурами, що складають сталь має помірну твердість, середні значення межі міцності, низьку межу пружності і високу ударну в'язкість. Збільшення швидкості охолодження при кристалізації приводить до переохолодження аустеніту та змін структури сталі. При цьому поруч з структурно вільними феритом та цементитом, перлітом або мартенситом в сталі зберігається певна кількість залишкового аустеніту [3, 4].

Для свердла, виготовленого зі сталі Р6М5, кінець аустенітно-мартенситного перетворення складає -110°C . Глибина робочої кромки свердла становить не більше 5 мм, тому при зануренні свердла у рідкий азот його температура на глибині 5 мм не повинна перевищувати -110°C .

Для проведення низькотемпературної обробки інструменту установка складалась з наступних деталей: кожух, кришка кожуха, ванна, кришка ванни, кошик. Рідкий азот для обробки інструменту доставлявся в судинах Дюара, ємністю 25 літрів.

Була оброблена партія лезового інструменту: свердла, мітчики, розгортки, плашки, фрези.

Послідовність обробки інструменту холодом: відкрити кришку ванни, завантажити кошик з інструментом, залити рідкий азот у порожнину ванни, закрити кришку ванни, витримати інструмент серед рідкого азоту протягом 20 хвилин, відкрити кришку ванни, витягти кошик з інструментом із ванни. Витримати інструмент при кімнатній температурі 20 хвилин, опустити кошик з інструментом у порожнину ванни, закрити кришкою, при необхідності долити у ванну рідкий азот (злитий), витримати інструмент серед рідкого азоту 20 хвилин, відкрити кришку, витягнути кошик із ванни, після досягнення інструменту температури навколишнього середовища, щоб уникнути корозії, ретельно його протерти і змазати машинним маслом.

Після обробки холодом інструмент був підданий стійкісному випробуванню. Стійкісні випробування проводилися шляхом порівняння кількості оброблених деталей (отворів) інструментом що пройшов обробку та не обробленим інструментом до затуплення (першого переточування).

Обробка отвору діаметром 10,8 мм. Матеріал: чавун сірий.

Режим обробки: число обертів шпинделя об/хв: 400, подача: 100 мм/хв.

Кількість отворів, просвердлених свердлом зі сталі Р6М5 до першої переточки: свердло оброблене холодом – 290 шт, свердло не оброблене холодом 150 шт.

Випробування показали позитивні результати. Стійкість інструменту зросла 1,5-2 разу. Таким чином, стійкість інструменту підвищилася на 90%. Однак при обробці нержавіючих сталей істотного підвищення стійкості інструменту отримати не вдалося.

ЛІТЕРАТУРА

1 Bhaskar, L., & Raj, D. S. (2020). Evaluation of the effect of cryogenic treatment of HSS drills at different holding time in drilling AISI 316-SS. Engineering Research Express, 2(2), 025005. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2631-8695/ab7e18/meta>

2 Shirbhate, A. D., Deshpande, N. V., & Puri, Y. M. (2012). Effect of cryogenic treatment on cutting torque and surface finish in drilling operation with AISI M2 high speed steel. *Int. J. Mech. Eng. Rob. Res*, 1(2), 50-58. <https://www.ijmerr.com/uploadfile/2015/0402/20150402050804174.pdf>

3 Arun, M., Arunkumar, N., Vijayaraj, R., & Ramesh, B. (2018). Investigation on the performance of deep and shallow cryogenic treated tungsten carbide drills in austenitic stainless steel. *Measurement*, 125, 687-693. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.05.018>

4 Firouzidor, V., Nejati, E., & Khomamizadeh, F. (2008). Effect of deep cryogenic treatment on wear resistance and tool life of M2 HSS drill. *Journal of materials processing technology*, 206(1-3), 467-472. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.12.072>

Shevchenko S.M., Khizhnyak B.O.

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»

APPLICATION OF COMPLEX ION NITRIDATION FOR STRENGTHENING OF INSTRUMENT STEEL CHX12MOV

The rapid development of the metallurgy of nitrogen steels has become a remarkable feature of today, as evidenced by the materials of international publications on the issues of nitrogen steels in recent years. Due to the complexity of the smelting process (PESR electroslag remelting under nitrogen pressure), high-nitrogen steels (HAS) have not yet become mass products, but many tasks of modern technology are successfully solved on the basis of their application. This is due to their unique combination of high strength, viscosity, corrosion resistance and other properties. The issue of nitrogen alloying of parts for various purposes can be solved in a simpler way, using the technology of complex ion nitriding (CIN). This method is especially relevant for steels that have a tempering temperature much lower than the nitriding temperature, which does not allow them to be pre-heat treated before nitriding. In order to make the nitriding process more technological for parts made of such steels, it is proposed to carry out heat treatment after nitriding.

The purpose of the study is to study the influence of CIN, namely: ionic nitriding with subsequent hardening and low tempering on the structure and properties of the samples die from tool steel CHX12MOV.

The following tasks had to be solved in the research:

- 1 Conduct metallographic analysis of CHX12MOV steel samples after CIN.
- 2 Measure the microhardness of the samples.
- 3 Determine the depth of processing and morphological features of the sample structure.
- 4 To draw theoretical conclusions and practical recommendations based on the obtained results.

The microstructure of a die made of CHX12MOV steel after complex processing according to the regime: ion nitriding, quenching, low tempering is given in Fig. 1 a) Distribution of microhardness across the cross section in Fig. 1 b). Metallographic analysis shows that the microstructure has a different morphology in depth, which

means different properties, which confirm the microhardness data. Thus, the surface layer with a depth of 130-150 μm has a pronounced interface with the base metal. The structure of the heterogeneous surface layer can be divided into three zones. Zone 1, with a depth of up to 15-20 μm , with a low hardness of up to 2990 MPa, this is the zone of maximum decarburization (dark structure). Zone 2 is the decarburization zone, 25-30 μm deep with a microhardness of 5235 MPa, the structure corresponds to alloyed ferrite with dendritic grains, the orientation of which corresponds to the nature of heat dissipation. Zone 3 of the surface layer has a mixed type structure: from doped ferrite (the degree of doping increases with depth) to a high-carbon doped α -hard solution (martensite) with carbides of iron and chromium. The microhardness of this transitional zone increases from 5250 to 8000 MPa with depth. Behind the surface layer is the structure of the main nitrided matrix with a hardness of 8800-9150 MPa, the maximum hardness corresponds to a depth of about 500 μm . The increase in hardness from the near-surface layer to the main structure at a depth of 200 to 500 μm is almost 500 MPa, which is explained by the release of not only doped (special) carbides, but also carbonitrides (at a depth of 250 μm).

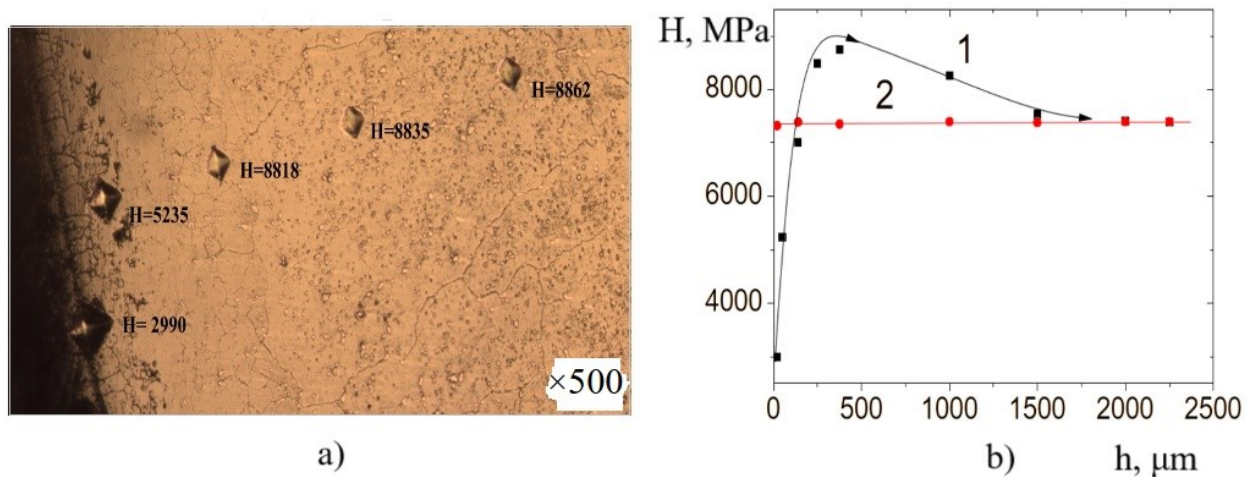


Figure 1 – a) Microstructure of CHX12MOV steel after comprehensive CIN processing;
b) – 1. Microhardness after CIN (nitriding and heat treatment) and 2. Microhardness after standard heat treatment: quenching and tempering

Thus, the processing of the die from CHX12MOV steel by CIN technology increased hardness value by 500 MPa compared to standard heat treatment, quenching and low tempering, which indicates nitrogen alloying of steel in a more technological way compared to casting or powder metallurgy. A feature of the impact of CIN is that the surface of the part is decarburized, therefore, we recommend finishing mechanical processing to remove this layer depth up to 300 μm , depending on the processing mode.

REFERENC

1 Shevchenko S. Results of approbation of the innovative method of ion nitriding for steels with low temperatures of tempering/A. Andreev, O. Sobol, S. Shevchenko, V. Aleksandrov, D. Kovteba, A. Terletsky, T. Protasenko // Eastern-European journal of enterprise technologies. 2017. Vol. 3. № 5 (87). P. 31-36.

2 Shevchenko S.M. Research on the effectiveness of complex ionic nitriding for steel modification / O.V. Sobol, S.M. Shevchenko, T.O. Protasenko // Bulletin of Kharkiv National Automobile and Road University. Kharkiv: Khnadu, 2018. Issue 82. S. 13-19.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРО-ЕРОЗІЙНОГО АЛМАЗНОГО ШЛІФУВАННЯ ЯК ЗМІЦНЮВАЛЬНОГО МЕТОДУ

Електро-ерозійне алмазне шліфування (ЕЕАШ) із застосуванням генератора постійного струму є складним комбінованим методом, що поєднує процес шліфування з правкою круга, при якому під дією електричних розрядів відбувається вплив не тільки на шліфувальний круг, але і на поверхню, що обробляється [1]. Вплив електричних розрядів носить локальний високошвидкісний характер, тому температура в зоні контакту круга і деталі значно перевищує температуру при алмазному шліфуванні. Змінюючи механічні та електричні впливи, можна впливати на умови в зоні контакту круга та деталі та, отже, на стан поверхневого шару. У роботі проведено аналіз впливу різних режимів круглого, зовнішнього алмазного шліфування на структурний стан поверхневого шару вуглецевих сталей 40, У7 і У12. Вивчено мікроструктуру та мікротвердість зазначених сталей. Оцінено вплив вмісту вуглецю на структуру та твердість поверхневих шарів сталей, що досліджуються та визначено енергетичний критерій K_s [2] для режимів ЕЕАШ. Встановлено, що теплові явища, що супроводжують процес шліфування, викликають структурні зміни. Алмазне шліфування з додаванням в зону контакту електричної енергії від генератора постійного струму призводить до утворення у поверхневому шарі структури білого мартенситу (гарденіту). В цьому випадку, чим більша глибина шліфування, тим білі шари твердіші і відрізняються більшою корозійною стійкістю (біліші). Збільшення вмісту вуглецю у сталі також підвищує твердість білих шарів. Шліфування без струму до зміцнення поверхневого шару не призводить. Розрахунок значення K_s та аналіз впливу на деталь при різних імпульсних зміцнювальних методах, зіставлення розрахункових та експериментальних даних щодо зміцнення досліджувальних сталей 40, У7, У12 показав, що основним технологічним фактором зміцнення є глибина шліфування. Тоді, у процесі ЕЕАШ створюються сприятливіші температурно-силові умови на формування структури білого шару, гарденіту: $K_s = 777,6 \div 1402$ [(К·Па·с·кг)/Дж]. Рівень K_s режиму з меншою вдвічі глибиною шліфування для досліджувальних сталей становить $29,3 \div 93$ [(К·Па·с·кг)/Дж].

ЛІТЕРАТУРА

1 Степанов М. С., Шевченко С. М. Теоретична оцінка можливості формування зміцненого шару при електро-ерозійному алмазному і абразивному шліфуванні з урахуванням енергетичного впливу на деталь / Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXX міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2022, 19-21 жовтня 2022 р. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». – С. 219.

Шкрабало М.С., Яровий Ю.В.
Одеський національний морський університет

АНАЛІЗ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ВАРІАТИВНИХ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМ ВРІВНОВАЖЕННЯ ПОРТАЛЬНИХ КРАНІВ

Важливим аспектом проектування порталних кранів є забезпечення належного врівноваження шарнірно-зчленованої стрілової системи. Хоча існують різні методи для підтримання врівноваженості, жоден з них не дозволяє коригувати або поліпшити параметри такої системи на вже експлуатованих кранах. У реальних конструкціях кранів можливість внесення змін є дуже обмеженою, оскільки це часто вимагає дорогої реконструкції.

Один з найзначніших впливів на надійність порталного крана справляє тип стрілової системи, яка визначає, як горизонтально переміщується вантаж при зміні вильоту стріли. Ця особливість є важливою через специфічні умови роботи кранів на причалах морських і річкових портів, де простір часто обмежений, а наявність надпалубних споруд суден може суттєво впливати на рух крана.

Існує три основних способи забезпечення майже горизонтальної траєкторії переміщення вантажу, що визначають три основні принципи формування конструкції стрілових систем:

- 1 Прямі стріли, оснащені зрівняльними поліспастами або блоками.
- 2 Шарнірно-зчленовані стрілові пристрої з постійною висотою підвісу.
- 3 Шарнірно-зчленовані стрілові пристрої зі змінною висотою підвісу.

Кожен з цих типів має свої переваги і недоліки, які потрібно враховувати при проектуванні порталних кранів для досягнення оптимальної продуктивності і надійності.

Під час моделювання роботи стрілової системи розробили методику для оцінки вагових характеристик окремих її компонентів, таких як стріла, хобот та відтяжка. Вагові та геометричні характеристики можуть відрізнятися в залежності від конструкції порталного крана.

На основі оброблених статистичних даних отримані значення ваги q одного погонного метра ланок шарнірно-зчленованої стріли. Вивчено їх взаємозв'язок з номінальною вантажопідйомністю крана, вираженим, як $q = f(Q)$ та визначені коефіцієнти кореляції та детермінації

Встановлено, що для стріли найкраще використовувати лінійну функцію для опису залежності $q = f(Q)$, тоді як для хобота та відтяжки більш точними є квадратичні функції. Усереднену вагу одного погонного метра стріли, хобота та відтяжки можна визначити, використовуючи побудовані графіки залежності

$q = f(Q)$, що дозволяє розрахувати прогнозовану вагу кожної ланки шарнірно-зчленованої стріли.

Отримані залежності між вантажопідйомністю крана та погонною вагою одного метра елементів стрілової системи використовуємо для моделювання роботи шарнірно-зчленованої стріли. Ці залежності дозволяють створити точні моделі, які відображають, як зміни в характеристиках стріли впливають на загальні експлуатаційні показники крана. Розрахунки базуються на функціях, що описують взаємозв'язок між ваговими параметрами і вантажопідйомністю, зокрема, на лінійних і квадратичних функціях, виявлених в попередньому аналізі.

Отримані результати дозволили оптимізувати конструкцію стрілової системи, враховуючи різні режими роботи крана і забезпечуючи ефективність його використання в різних умовах. Моделювання дозволить провести детальний аналіз впливу вагових характеристик на стабільність і надійність роботи стріли, що є критично важливим для забезпечення безпеки та довговічності порталного крана.

Яровий Ю.В.

Одеський національний морський університет

Фролов В.К., Лапковський С.В., Сапон С.П.,

Медведев В.В.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ВИКОРИСТАННЯ КЕРОВАНИХ ВЕРСТАТНИХ ПРИСТРОЇВ НА ГОРИЗОНТАЛЬНИХ ФРЕЗЕРНИХ ВЕРСТАТАХ З ЧПК

Сучасне машинобудівне виробництво характеризується широкою номенклатурою оброблюваних деталей складної конфігурації, продуктивне виробництво яких потребує використання верстатів з числовим програмним керуванням.

Якщо лівова частина номенклатури деталей, що оброблюється на конкретному підприємстві, може бути виготовлена із застосуванням триосьових фрезерних верстатів, то придбання чотири- або п'ятиосьового верстата, який буде використовуватись не на повну потужність, є економічно недоцільним. Одним з організаційних рішень, яке дозволить обробляти надскладні за конфігурацією деталі, є використання на триосьових фрезерних верстатах одно- та двоосьових поворотних столів, призначених для закріплення заготовки [1]. Однак такі пристрої у своїй більшості не мають базуючих та затискних елементів, що вимагає додаткових витрат.

Авторами запропонований альтернативний спосіб розширення технологічних можливостей триосьових фрезерних верстатів з ЧПК –

електромеханічні верстатні лещата, що додають триосьовому верстату четверту вісь (рис. 1) [2].

Принцип роботи лещат наступний. Лещата встановлюють і закріплюють на столі верстата. Заготовку базують в робочому просторі між губками 6 та 7 в положенні, яке відповідає першій позиції заготовки відносно робочих органів верстата, і затискають за допомогою механізму поступального переміщення стійок. Поступальний рух стійок 3 та 4 в горизонтальному напрямку назустріч одна одній забезпечує привод переміщення 5 стійок. Під час базування і затиску заготовки стійка 10 з опорою 9 знаходяться у вихідному положенні за межами робочого простору, в якому розташовують заготовку. Після затиску заготовки стійку 10 з опорою 9 переміщують до контакту опори 9 з заготовкою. Переміщення стійки з опорою забезпечує привод переміщення 12 опори. Заготовку обробляють на першій позиції і переміщують стійку 10 з опорою 9 у вихідне положення.

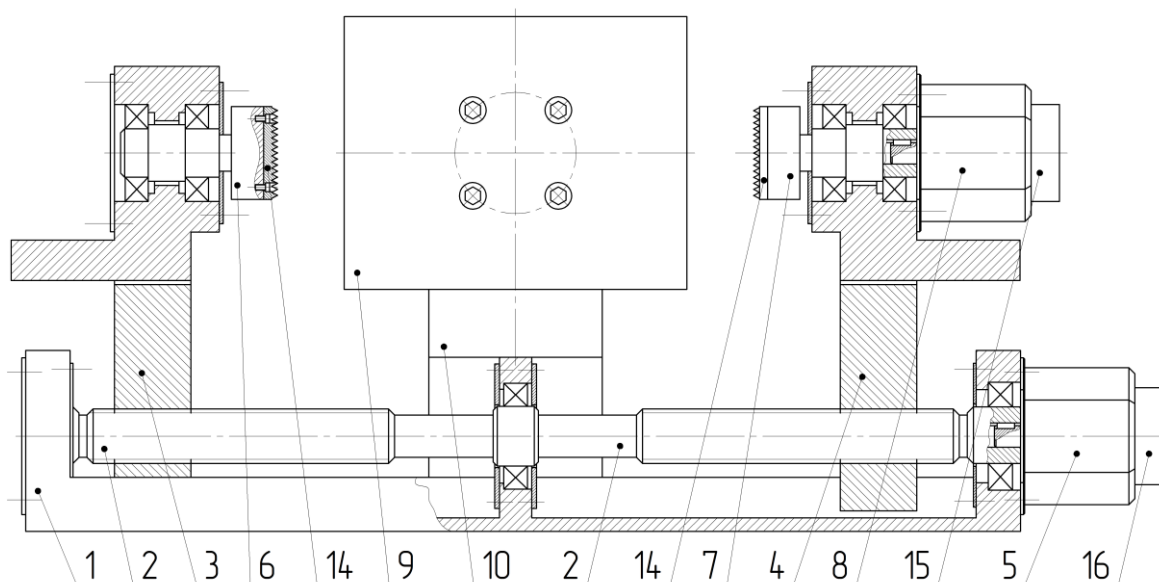


Рисунок 1 – Поздовжній розріз електромеханічних верстатних лещат

Якщо технологічною операцією передбачено, що весь процес оброблення заготовки відбувається на одній позиції, без зміни її положення відносно робочих органів верстата, то заготовку розтискають за допомогою механізму поступального переміщення стійок. Оброблену заготовку знімають з верстата.

Якщо технологічна операція виконується зі зміною позиції заготовки, то її після оброблення на першій позиції, не розтискаючи, повертають на потрібний кут, передбачений наступною позицією заготовки, за допомогою приводу обертання 8. Після встановлення заготовки в потрібне положення стійку 10 з опорою 9 переміщують до контакту опори з заготовкою, обробляють заготовку на цій позиції згідно з технологічним процесом і переміщують стійку 10 з опорою 9 у вихідне положення.

Для оброблення заготовки на наступних позиціях послідовність дій повторюють. Після оброблення заготовки на останній позиції технологічної операції заготовку розтискають і знімають з верстата.

При обробленні заготовки виникають сили різання, що намагаються змістити її відносно установчих та затискних елементів верстатного пристрою, в якому вона закріплена. Силам різання протидіють реакції установчих елементів пристрою та сили тертя, що виникають між установчими та затискними елементами пристрою і заготовкою внаслідок дій сил затиску.

В запропонованій конструкції електромеханічних верстатних лещат установчим елементом є опора 9 для заготовки, реакція якої протидіє горизонтальній складовій сили різання, що на горизонтальних фрезерних верстатах направлена вздовж осі шпинделя. Наявність контакту опори 9 з поверхнями заготовки під час її оброблення дозволяє частково компенсувати сили різання, що виникають при обробленні, і зменшити необхідні сили затиску. Це дає можливість видаляти значні припуски і виконувати як чистові, так і чорнові технологічні переходи.

ЛІТЕРАТУРА

1 <https://www.haascnc.com/uk/machines/rotaries-indexers/5-axis-rotaries/models/tr160.html>

2 Електромеханічні верстатні лещата : пат. на корисну модель № 156682 Україна : МПК В23Q 3/00, В23Q 3/08 / В. К. Фролов, С. В. Лапковський, В. В. Медведєв, С. П. Сапон, Ю. В. Яровий та інші. № u202400425 ; заявл. 26.01.24 ; опубл. 24.07.2024, Бюл. № 30.

Голобородько В.В., Оборський Г.О., Перпері Л.М.
Національний університет «Одеська політехніка»

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОВІЗОРА ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ В ЗОНІ РІЗАННЯ ПРИ ТОКАРНІЙ ОБРОБЦІ

Для підвищення якості деталей отримуваних за допомогою механообробки необхідний усе точніший контроль за протіканням технологічного процесу. Серед контрольованих величин в процесі обробки різанням, важливим є контроль температури в зоні різання. Від температури в зоні різання залежить стійкість різального інструменту, точність і якість готового виробу і надійність технологічної системи та продуктивність й собівартість самого процесу виготовлення [1, 2]. Щоб оптимізувати процес обробки необхідно слідкувати за температурою в зоні різання і у разі її зростання – оптимізувати режим різання, насамперед, швидкість подачі.

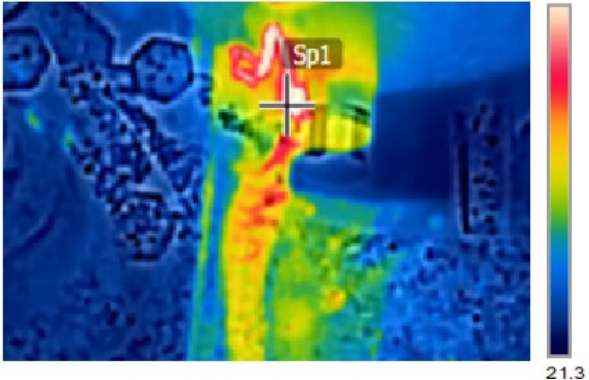
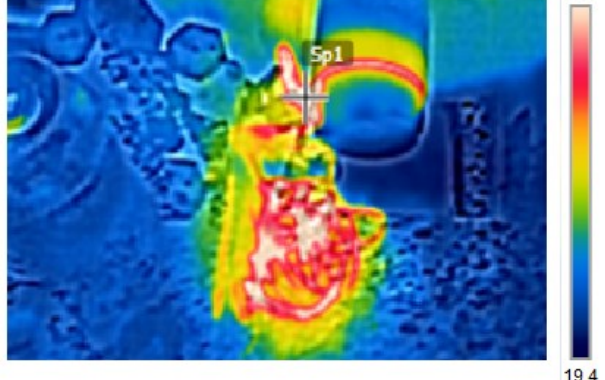
В сучасному машинобудуванні застосовують різні методи та прилади для вимірювання та контролю температури. Вибір метода та засобу вимірювання залежить у першу чергу від точності яку здатен забезпечити той чи інший метод, від доступності зони в якій необхідно провести вимірювання та від виду руйнівного чи не руйнівного контролю. Автори [2] зазначають, що більшість методів дозволяє виміряти температуру в обмеженій зоні, практично в точці, що є недостатнім для оптимізації технологічного процесу. Для цього необхідно знати значно більший обсяг інформації, яку можна отримати, якщо мати теплове

зображення об'єкта. До одного з методів неруйнівного контролю, здатного в певній мірі задовільнити такі вимоги, належить метод безконтактного тепловізійного контролю, який дозволяє отримувати термограми, з достатньою точністю фіксувати температурне поле зони різання та не впливати на сам процес різання чи інструмент.

Таблиця 1 – Режими різання

Матеріал заготовки	№ експерименту	Частота обертання n , хв^{-1}	Подача s , мм/об	Глибина різання t , мм
Сталь 20	1	560	0,08	1,0
	2	720	0,13	1,0
	3	910	0,16	1,0
Капролон	4	560	0,08	1,0
	5	720	0,13	1,0
	6	910	0,16	1,0

Таблиця 2 – Результати експериментів №№ 1 та 5

Матеріал – Сталь 20. Дані вимірювань	Матеріал – Капролон. Дані вимірювань																																
Measurements <table> <tr> <td>Sp1</td><td>123,2 °C</td></tr> </table> Parameters <table> <tr> <td>Emissivity</td><td>0,62</td></tr> <tr> <td>Refl. temp.</td><td>15 °C</td></tr> <tr> <td>Distance</td><td>1 м</td></tr> <tr> <td>Atmospheric temp.</td><td>20 °C</td></tr> <tr> <td>Ext. optics temp.</td><td>20 °C</td></tr> <tr> <td>Ext. optics trans.</td><td>1</td></tr> <tr> <td>Relative humidity</td><td>50 %</td></tr> </table>	Sp1	123,2 °C	Emissivity	0,62	Refl. temp.	15 °C	Distance	1 м	Atmospheric temp.	20 °C	Ext. optics temp.	20 °C	Ext. optics trans.	1	Relative humidity	50 %	Measurements <table> <tr> <td>Sp1</td><td>45,6 °C</td></tr> </table> Parameters <table> <tr> <td>Emissivity</td><td>0,94</td></tr> <tr> <td>Refl. temp.</td><td>15 °C</td></tr> <tr> <td>Distance</td><td>1 м</td></tr> <tr> <td>Atmospheric temp.</td><td>20 °C</td></tr> <tr> <td>Ext. optics temp.</td><td>20 °C</td></tr> <tr> <td>Ext. optics trans.</td><td>1</td></tr> <tr> <td>Relative humidity</td><td>50 %</td></tr> </table>	Sp1	45,6 °C	Emissivity	0,94	Refl. temp.	15 °C	Distance	1 м	Atmospheric temp.	20 °C	Ext. optics temp.	20 °C	Ext. optics trans.	1	Relative humidity	50 %
Sp1	123,2 °C																																
Emissivity	0,62																																
Refl. temp.	15 °C																																
Distance	1 м																																
Atmospheric temp.	20 °C																																
Ext. optics temp.	20 °C																																
Ext. optics trans.	1																																
Relative humidity	50 %																																
Sp1	45,6 °C																																
Emissivity	0,94																																
Refl. temp.	15 °C																																
Distance	1 м																																
Atmospheric temp.	20 °C																																
Ext. optics temp.	20 °C																																
Ext. optics trans.	1																																
Relative humidity	50 %																																
Цифрове фото об'єкту дослідження	Цифрове фото об'єкту дослідження																																
																																	
Термограма (експеримент №1)	Термограма (експеримент №5)																																
																																	

В цій роботі представлено результати вимірювання температури за допомогою тепловізора моделі FLIR E8 процесу токарної обробки на універсальному токарно-гвинторізному верстаті 1A616 без мастильно-охолоджувального технологічного середовища. Оброблялися заготовки із сталі Сталь 20 діаметром 30 мм і капролону діаметром 60 мм токарним прохідним різцем оснащеними твердосплавною пластиною (пара оброблюваний матеріал – інструментальний матеріал T5K10 – Сталь 20) та швидкорізальною пластиною для капролактаму (пара оброблюваний матеріал – інструментальний матеріал Р6М5 – капролон). Для порівняльного аналізу вибір капролону обумовлено його особливостями, пов'язаними з фізико-механічними властивостями матеріалу (мала теплопровідність, низька температура плавлення). Режими різання для обробки заготовок представлено у таблиці 1.

Результати вимірювань температури з різними умовами обробки представлено у таблиці 2. В зазначеній таблиці наведено термограми, отримані при обробці для експериментів №№ 1 та 5.

На термограмах точкою Sp1 позначено точку контакту вершини різальної пластини різця з оброблюваним матеріалом заготовки, результати величин температури для яких наведено в таблиці дані вимірювань (див. табл. 2).

Для виконання більш детального аналізу отриманих термограм доцільно використовувати різні функції панелі інструментів (вікна редагування), що надає можливість отримати результати вимірювань для оцінки теплового стану заготовки, інструменту та стружки.

ЛІТЕРАТУРА

1 Мазур М.П. Основи теорії різання матеріалів: підручник [для вищ. навч. закладів] / М.П. Мазур, Ю.М. Внуков, В.Л. Доброскок, В.О. Залога, Ю.К. Новосьолов, Ф.Я. Якубов; під заг. ред. М.П. Мазура. – 2-е вид. перероб. і доп. – Львів: Новий світ – 2000, 2011. – 422 с.

2 Якімов О. В. та ін. Теплофізика механічної обробки: підручник / Якімов О.В., Усов А.В., Слободяник П.Т., Іоргачов Д.В. – Одеса: Астропринт, 2000. – 256 с.

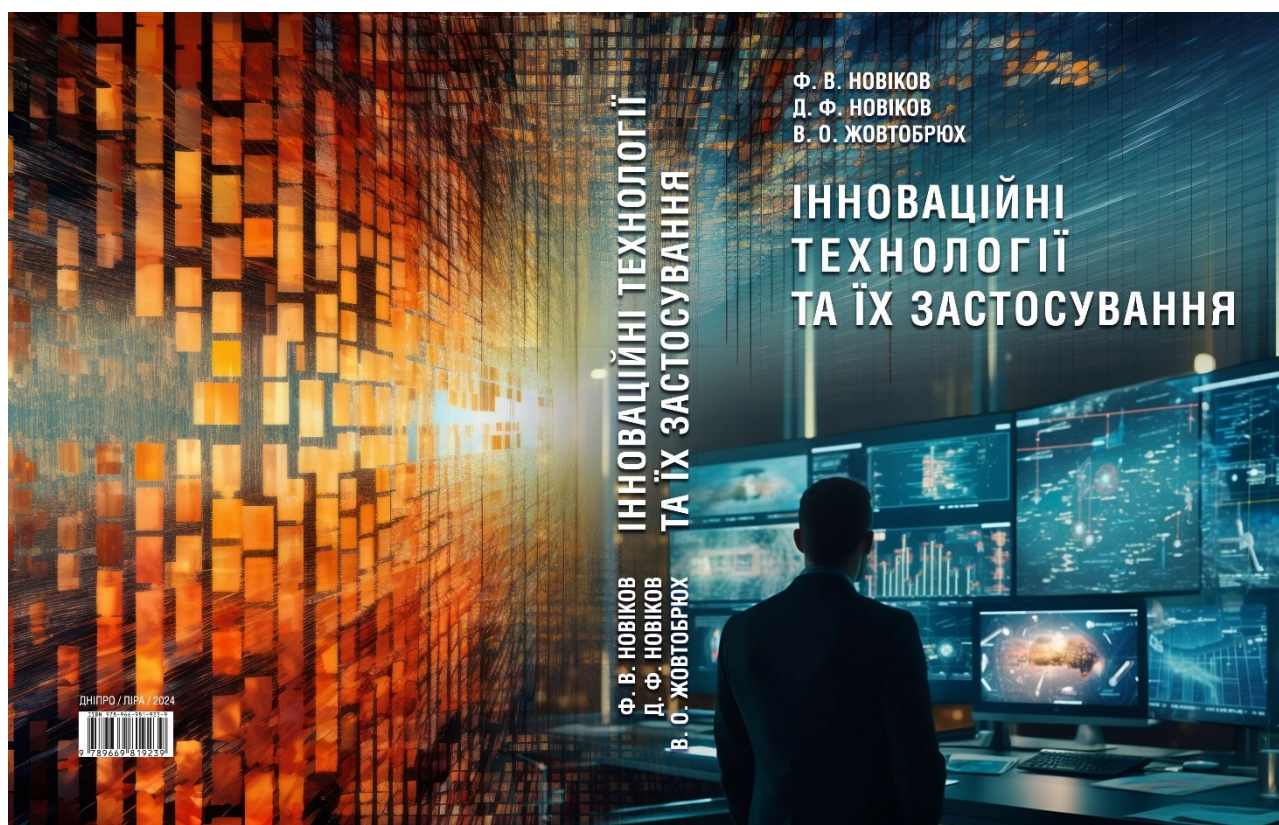
ВИЙШЛИ У СВІТ НАВЧАЛЬНІ ПОСІБНИКИ ТА МОНОГРАФІЯ, ПРИСВЯЧЕНІ СУЧАСНИМ ПРОБЛЕМАМ СТВОРЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ

У цьому році видавництвом «ЛІРА» (м. Дніпро) видано навчальні посібники:

1 Новіков Ф. В. Інноваційні технології та їх застосування : навчальний посібник / Ф. В. Новіков, Д. Ф. Новіков, В. О. Жовтобрюх. Дніпро : ЛІРА, 2024. 628 с. <http://repository.hneu.edu.ua/handle/123456789/33683>

2 Нарисна геометрія : навчальний посібник / Л.В. Бовнегра, Ф.В. Новіков, О.О. Якімов, В.О. Жовтобрюх. Дніпро : ЛІРА, 2024. 148 с. <http://repository.hneu.edu.ua/handle/123456789/31887>

3 Новіков Ф. В. Оптимальні рішення в технологіях механічної обробки [Електронний ресурс] : монографія / Ф. В. Новіков. – Дніпро : ЛІРА, 2024. – 360 с. <http://repository.hneu.edu.ua/handle/123456789/32125>



Розвиток суспільства неможливий без створення та застосування нових прогресивних технологій, направлених на підвищення якості й продуктивності виготовлення продукції та надання послуг, охорону здоров'я людей та навколишнього середовища, підвищення добробуту людей тощо. Особливо це відноситься до інноваційних технологій, які приводять до значних змін в житті та діяльності людей. Ще зовсім недавно серед інноваційних понять з'явилося поняття «високі технології», а сьогодні ці високі технології у вигляді цифрових

(комп'ютерних) технологій та виробів мікроелектроніки прийшли майже у кожен дім. Комп'ютерні технології (Інтернет), мобільні телефони і смартфони замінили традиційні засоби масової інформації (газети, телефони) та відкрили невідані можливості отримання інформації і спілкування між людьми. А такі високі технології як робототехніка, нанотехнології, 3D-технології, штучний інтелект, біотехнології успішно заміняють традиційні технології виробництва продукції та надання послуг у всіх сферах економіки країни. Із застосуванням комп'ютерних технологій у школах і університетах проводяться дистанційно заняття, що відкриває нові шляхи отримання знань. Отже, інноваційний розвиток технологій став могутнім чинником створення умов розвинутого суспільства і все це відбувається завдяки значним науковим досягненням у фізиці, хімії, математиці, біології та інших науках. Однак, практичне використання інноваційних (високих) технологій вимагає від фахівців і більш високого рівня фундаментальних знань. Тому для прийняття найефективніших рішень фахівці повинні знати сутність та можливості нових інноваційних технологій, вміти на їх основі планувати та організовувати виробництво конкурентоспроможної продукції, визначати перспективні напрями технічного переозброєння виробництва, оцінювати ефективність застосування інноваційних технологій, орієнтуватися у виборі інноваційних технологічних та управлінських рішень.

Метою навчального посібника «Інноваційні технології та їх застосування» є формування у здобувачів вищої освіти теоретичних знань і практичних навичок, необхідних для розуміння сутності функціонування різноманітних інноваційних технологій та їх ефективного застосування. Для цього розглянуто основні поняття щодо інновацій, інноваційної діяльності, інноваційного процесу та класифікацій інновацій, які є передумовою створення інноваційних технологій. Наведено структурну модель інноваційного процесу сучасних промислових технологій. Показано, що інноваційні технології – це радикально нові або вдосконалені технології, які суттєво поліпшують умови виробництва або самі виступають товаром. Показано також, що їм, в першу чергу, відповідають високі технології, які є нетрадиційними найбільш новими і прогресивними технологіями сучасності та включають нанотехнології, інформаційні технології, робототехніку, штучний інтелект, 3D-принтери, процесори, біотехнології, соціальні технології тощо. Проведено аналіз їх сутності і можливостей та умов ефективного практичного застосування. Обґрунтовано важливість науки у розвитку високих технологій та сформульовано основні напрями ефективного поєднання виробництва, науки і інновацій.

Значну увагу приділено фізичним основам створення інноваційних технологій. Показано, як від математичних моделей фізичних процесів виробництва промислової продукції можна прийти до важливих практичних рішень і розроблення сучасних технологій [1]. Наведено приклади ефективного застосування інноваційних технологій у машинобудуванні, хімічній промисловості, будівельній сфері, у створенні електронних мультимедійних видань та видавничо-поліграфічній справі, медицині тощо. Для кращого розуміння закономірностей функціонування інноваційних технологій у

машинобудуванні наведено основні положення фізико-математичної теорії процесів обробки матеріалів та технології машинобудування, умови модернізації виробництва для підвищення продуктивності праці та якості і конкурентоспроможності виготовленої продукції. Показано пріоритетні напрями технологічного розвитку виробничих підприємств.

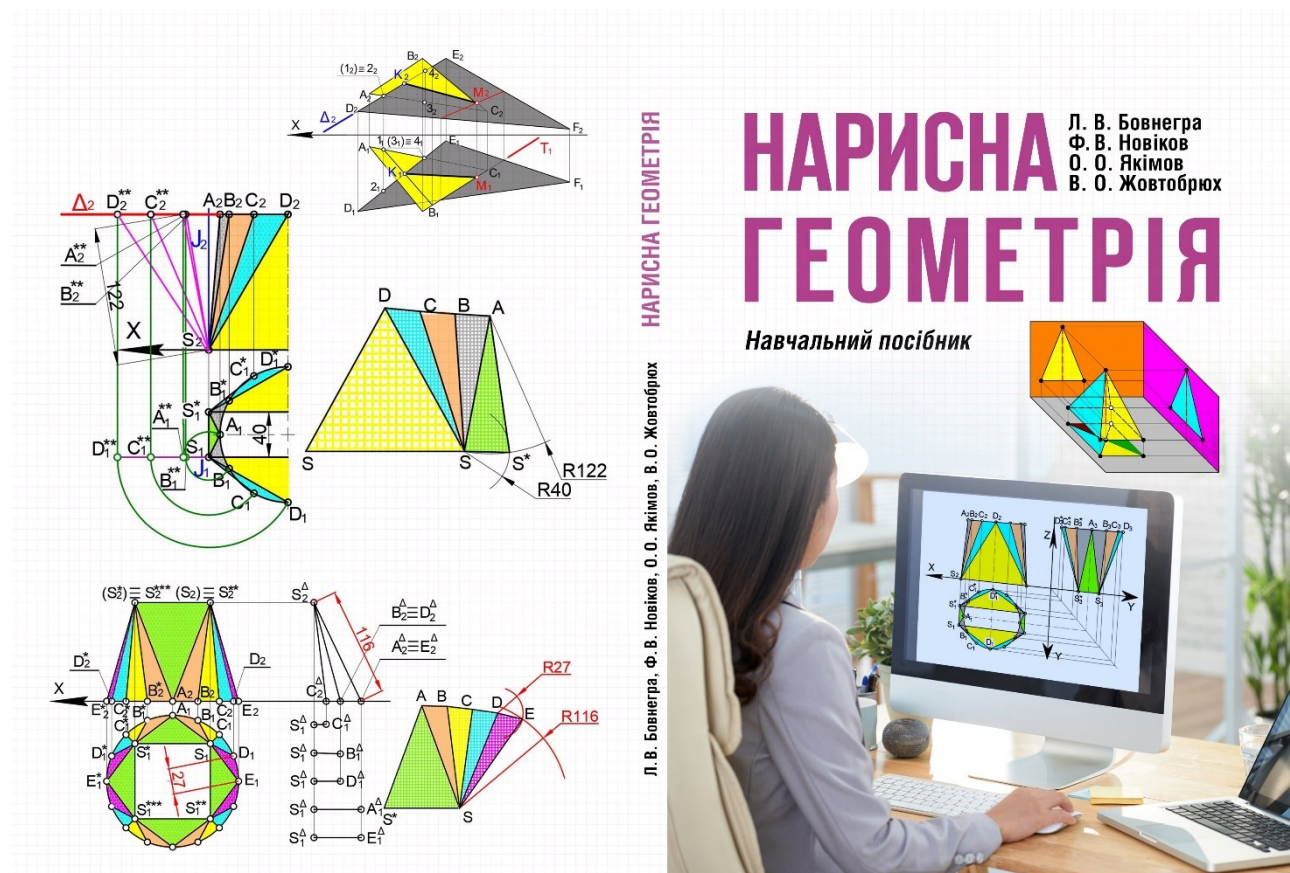
Наведено основи створення на інноваційному рівні ресурсозберігаючих та безвідхідних технологій. Обґрунтовано основні недоліки сучасних технологій із точки зору ергономіки та екології. Розглянуто приклади забруднення Землі, повітря, води та сформульовано заходи із їх усунення, які реалізовано в різноманітних технологіях.



У монографії «Оптимальні рішення в технологіях механічної обробки» наведено узагальнений теоретичний аналіз силової і теплової напруженостей процесів абразивної та лезової обробок. Виявлено оптимальні умови обробки за критеріями мінімально можливих значень сили і температури різання, пружних переміщень, які виникають в технологічній системі в процесі різання і визначають параметри точності обробки, та параметрів шорсткості оброблених поверхонь. Теоретично обґрунтовано технологічні можливості різних за структурою кінематичних схем шліфування, обробки матеріалів вільним абразивом та лезової обробки. Отримано нові оптимальні рішення щодо обґрунтування раціональних структур і параметрів режимів різання. Значну увагу приділено розширенню технологічних можливостей методу шліфування з погляду забезпечення показників якості та точності обробки на рівні показників обробки матеріалів вільним абразивом із одночасним суттєвим підвищенням продуктивності обробки. Обґрунтовано технологічні можливості

високошвидкісної обробки із застосуванням сучасних збірних конструкцій ріжучих лезових твердосплавних інструментів зі зносостійкими покриттями виробництва провідних закордонних інструментальних фірм. Показано, що застосування схеми високопродуктивного глибинного шліфування дозволяє значно збільшити кількість контактів робочих виступів переривчастого круга із фіксованим поперечним перетином оброблюваної деталі та, завдяки цьому, зменшити температуру різання і вірогідність появи на оброблюваних поверхнях температурних дефектів. Надано практичні рекомендації.

Нарисна геометрія є складовою частиною навчальної дисципліни «Інженерна графіка». Вона призначена для підготовки висококваліфікованих інженерів-механіків, інженерів-будівельників та робітників, які будуть займатися створенням сучасної промисловості та житлового фонду.



Кожна нова споруда, будівля або машина вимагає попереднього розроблення креслення, на якому повинно бути показано конструкцію споруди або машини як у загальному вигляді, так і їх окремі частини. Креслення – це графічне зображення конструктивних думок інженера. Для того, щоб промисловий робітник або інженер змогли прочитати креслення, вони повинні мати розвинену просторову уяву. Машинобудівне креслення складається з декількох плоских зображень, кількість яких залежить від складності форми виробу, що зображується. Під плоскими зображеннями розуміються основні види, додаткові види, місцеві види, виносні елементи, розрізи, перетини. Прочитати креслення – це на основі всіх цих плоских зображень подумки сформувати об'ємний образ виробу.

У нашій країні школярі зараз не вивчають предмет «Креслення», тому у них слабо розвинене просторове і образне мислення. Головною метою дисципліни «Нарисна геометрія» є розвиток просторової уяви. Тому ця дисципліна посідає базове місце у системі інженерної освіти. У новій професійній програмі з інженерної графіки вдвічі зменшено кількість аудиторних годин роботи викладача зі студентами, тому виникла потреба у підготовці та видавництві навчальної літератури за даною тематикою для полегшення самостійної роботи студентів.

У пропонованому навчальному посібнику «Нарисна геометрія» наведено велику кількість графічних розв'язків задач, на прикладі яких ілюструється широкий спектр навчальних тем нарисної геометрії.

Основні переваги навчального посібника:

- текстову частину викладено державною мовою;
- графічні рішення багатьох завдань представлено сукупністю великої кількості графічних картинок, що ілюструють різні етапи розв'язання задач. Зважаючи на те, що сучасні молоді люди не люблять читати великі тексти, розв'язування задач розкриваються за допомогою ілюстрацій, а не тексту. Іншими словами, навчальний матеріал викладається у вигляді коміксів;
- лаконічність викладу навчального матеріалу (обсяг навчального посібника 148 сторінок);

– у навчальному посібнику всі малюнки кольорові. Це має дуже важливе значення для тих завдань, графічне рішення яких представлено у вигляді одного малюнка. Кожен етап вирішення завдання виділяється окремим кольором. Це є вказівкою, у якій послідовності необхідно вирішувати завдання. Іншими словами, за кольоровими ілюстраціями набагато простіше простежити послідовність розв'язання задачі, ніж за чорно-білими ілюстраціями, які традиційно наводяться у навчальній літературі за тематикою нарисної геометрії. Це особливо важливо під час вирішення позиційних завдань, коли необхідно на комплексному кресленні наводити багато допоміжних ліній, які ускладнюють розуміння алгоритму розв'язку завдання.

Зараз під час побудови виробничих і будівельних креслень широко застосовують комп'ютерну техніку, що допомагає покращити якість та значно скоротити час виконання графічних робіт. Однак для ефективного застосування комп'ютерної техніки потрібно знати основні поняття, які вивчаються у дисципліні «Нарисна геометрія». Тому дисципліна «Нарисна геометрія» залишається дуже важливою для підготовки інженерно-технічних працівників.

ЛІТЕРАТУРА

1 Новіков Ф.В. Технології створення машин : навч. посібник / Ф.В. Новіков, Д. Ф. Новіков, В.О. Жовтобрюх. Дніпро : ЛІРА, 2023. 484 с. URL: <http://repository.hneu.edu.ua/handle/123456789/30539>

НОВІ ТА НЕТРАДИЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В РЕСУРСО- ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННІ

(Матеріали міжнародної наукова-технічної конференції,
11-12 грудня 2024 року, м. Одеса)

Редактор

Ю.В. Яровий

Комп'ютерна верстка і макетування

Ю.В. Яровий

Здано до друку 09.12.2024

Формат 60×84/16

Гарнітура Times New Roman

Ум.-друк. арк. 11,45

Наклад 100 прим.