



ВСЕУКРАЇНЬСЬКА ГРОМАДСЬКА ОРГАНІЗАЦІЯ
АСОЦІАЦІЯ ТЕХНОЛОГІВ-МАШИНОБУДІВНИКІВ
УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНА ІНСПЕКЦІЯ УКРАЇНИ З ПИТАНЬ ЗАХИСТУ
ПРАВ СПОЖИВАЧІВ
ДП УКРАЇНСЬКИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ І
НАВЧАЛЬНИЙ ЦЕНТР ПРОБЛЕМ СТАНДАРТИЗАЦІЇ,
СЕРТИФІКАЦІЇ ТА ЯКОСТІ
ДП «УКРМЕТРТЕСТСТАНДАРТ»
ІНСТИТУТ НАДТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ ІМ. В.М. БАКУЛЯ НАН УКРАЇНИ
ТЕХНІЧНИЙ ЦЕНТР НАН УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
СОЮЗ ІНЖЕНЕРІВ-МЕХАНІКІВ НТУ УКРАЇНИ «КПІ»
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

ЯКІСТЬ, СТАНДАРТИЗАЦІЯ, КОНТРОЛЬ: ТЕОРІЯ ТА ПРАКТИКА



Матеріали 25-ї Міжнародної науково-практичної конференції

22–26 вересня 2025 р.

Київ – 2025

Житомир –  –2025

Якість, стандартизація, контроль: теорія та практика: Матеріали 25-ї Міжнародної науково-практичної конференції, 22–26 вересня 2025 р. – Київ: АТМ України, 2025. – 136 с.

Наукові напрямки конференції

- Побудова національних систем технічного регулювання в умовах членства в СОТ і ЄС: теорія і практика
- Процесно-орієнтовані інтегровані системи управління: теорія і практика
- Стандартизація, сертифікація, управління якістю в промисловості, електроенергетиці, сільському господарстві та сфері послуг
- Впровадження стандартів ISO 9001:2015 в промисловості, вищих навчальних закладах, медичних установах і органах державної служби
- Метрологічне забезпечення і контроль якості продукції в промисловості, електроенергетиці, сільському господарстві та сфері послуг
- Забезпечення якості та конкурентоспроможності продукції на внутрішньому і зовнішньому ринку
- Впровадження інформаційних технологій в процеси адаптації, сертифікації та управління якістю
- Проблеми гармонізації технічних, нормативних та правових актів.

Матеріали представлені в авторській редакції

Alnusirat W. Державний університет, Ес-Салт, Йорданія,
Саленко О.Ф., Костенко А.О., Цуркан Д.О.
Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ
Орел В.М. Харківський національний університет
внутрішніх справ, Харків

ФОРМУВАННЯ ТОНКИХ СТІНОК FDM-ДРУКОМ ТА ЗВ'ЯЗОК ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХНІ З ХАРАКТЕРИСТИКАМИ МІЦНОСТІ СТІНОК

Адитивні технології, на відміну від процесів субстративних, все частіше використовуються в інженерній практиці, оскільки мають незаперечні переваги:

- 1) можливість створювати складні просторові форми деталей;
- 2) необмежену кількість взаємопов'язаних поверхонь з формуванням граней потрібного профілю;
- 3) широкі технологічні можливості;
- 4) можливість створювати тонкооболонкові вироби;
- 5) можливість створювати градієнтні структури;
- 6) формування складних порожнистих структур та структурних елементів.

Водночас адитивні вироби мають і певні недоліки, пов'язані, перш за все, з тим, що виріб перестає бути компактным та щільним; на якість і міцність з'єднання окремих частинок, волокон і шарів суттєво впливають режими теплового контакту та схеми силової взаємодії. В результаті, готові вироби характеризуються певною анізотропією властивостей (така анізотропія особливо суттєва для процесів FDM, хоча наразі це найдоступніші та найдешевші технології), а також похибками форми та геометричних розмірів, які в переважній більшості випадків визначаються умовами відтворення виробу.

Наразі інтерес до адитивних процесів, зокрема, технологій FDM, SLS, SLA, [1] постійно зростає, що вимагає пошуку дієвих заходів із прогнозування та забезпечення експлуатаційних властивостей виробів, до яких першочергово належать характеристики міцності.

Ряд дослідників сходиться на думці, що ущільнення друку, зменшення товщини викладання шару, призводить до покращення щільності самого готового виробу, [2], хоча одночасно можливе погіршення бічних стінок зі зниженням точності виконання розмірів у площині викладання філаменту (ХОУ), оскільки починає проявлятися ефект

вितіснення пластику поза прогнозовану траєкторію, [3]. Достатньо глибоке дослідження типів дефектів, [4], їх виникнення особливо при друці тонких стінок (зокрема, стільникових проставок, [5]) доводить, що таке технічне протиріччя долається точним налагодженням обсягу екструзії та оптимізацією виконуваних відповідальних розмірів; інколи можливе виконання кінцевого механічного оброблення з метою забезпечення точності розмірів та взаємного розташування поверхонь, [4].

У той же час достеменно встановлено, що малі обсяги екструзії потребують абсолютної чистоти сопла, яка досить часто порушується внаслідок дії різноманітних негативних факторів: шару поверхневої вологи філаменту, його структурних відмінностей та неоднорідностей, коливань швидкості екструзії, перепаду температур та ін. Такі явища властиві переважній більшості використовуваних філаментів: низькотемпературних PLA, PET CoPET, ABS, Nylon, PETG, PVA та ін., високо-теплетраурних – типу PEEK, Ultem тощо.

Певні дефекти друку для плоских або профільних деталей достатньої товщини виправляються постобробленням: механічним видаленням шару (різанням), нанесенням клейових плівок, хімічним або фізико-технічним обробленням (наприклад, лазером). Постобробка може суттєво поліпшувати якісні та функціональні характеристики виробу, його довговічність та прогнозованість поведінки в умовах експлуатаційних навантажень. Така обробка зазвичай передбачається у випадку, коли виріб буде поєднуватися з іншими виробом точними поверхнями (з параметрами шорсткості не гірше $Ra\ 2,5$, квалітетами IT не гірше 7–9, а також товщиною дефектного шару не більше за 50–100 мкм), оскільки дефектний шар може мати залишкові напруження, концентратори напружень та центри розвитку дефектів (зокрема, у вигляді мікротріщин), які під час експлуатації можуть зливатися та спричиняти появу макродефектів.

Метод пошарового викладання філаменту передбачає екструзію у стані, коли соплом формується високо еластична нитка пластику, температура якої в момент виходу становить $T_e = 220\text{--}235\text{ }^\circ\text{C}$, яка завдяки дії сил підтиснення, сил пружно-пластичного опору, гравітаційних сил та сил тертя притискається до поверхні викладання, внаслідок чого переріз нитки у вигляді кола діаметром D_y , змінюється на умовно еліптичний із півосями $A/2$ та $B/2$, а на опорній площині утворюється смуга контакту шириною p_{12} , яка залежить від певних факторів (температури екструзії, в'язкості матеріалу, швидкості викладання чистоти середовища, температури основ та ін.). Зміщення положення екструдера

на крок T_k та рух на еквідистанті до попередньої траєкторії дозволяє отримати бічну смугу контакту шириною p_l , яка формується внаслідок «втиснення» екструдованого матеріалу до кута між поверхнею попередньої нитки та поверхнею основи для викладання.

Тоді порожнистість визначиться за співвідношенням площі теоретичного заповнення проміжку шару $h_s k D_c$ та площею перетину екструдованого філаменту $(\pi AB)/4$:

$$\rho = (\pi AB)/4 \cdot h_s k D_c,$$

h_s – товщина шару, мм; D_c – діаметр сопла екструдера, мм; k – коефіцієнт, що враховує відмінність ширини екструдованої смужки від діаметра сопла.

Визначення міцності більш проблемне, оскільки складнопрофільні вироби, наприклад стільникові наповнювачі,

Дослідженнями (рис. 1), проведеними із вибіркою понад 50 шт тестових стільникових наповнювачів (власне стільника), встановлено, що між параметром шорсткості утвореної тонкої стінки, якою є складові стільника, та межею міцності на розтяг існує певний кореляційний зв'язок. Тож виходячи із використовуваного типу пластика можна запропонувати регресійну залежність, що дозволяє оцінювати параметр міцності за встановленою при виготовленні шорсткістю.

Так, показано, що зростання шорсткості понад рівень, визначений для еталонного зразка, обумовлюється динамічними збуреннями процесу друку, що може призвести до втрати міцності готового виробу внаслідок погіршення умов адгезійного зчеплення:

$$\frac{R_a^e}{R_a^r} = f(T_m), T_m = k\sigma_v$$

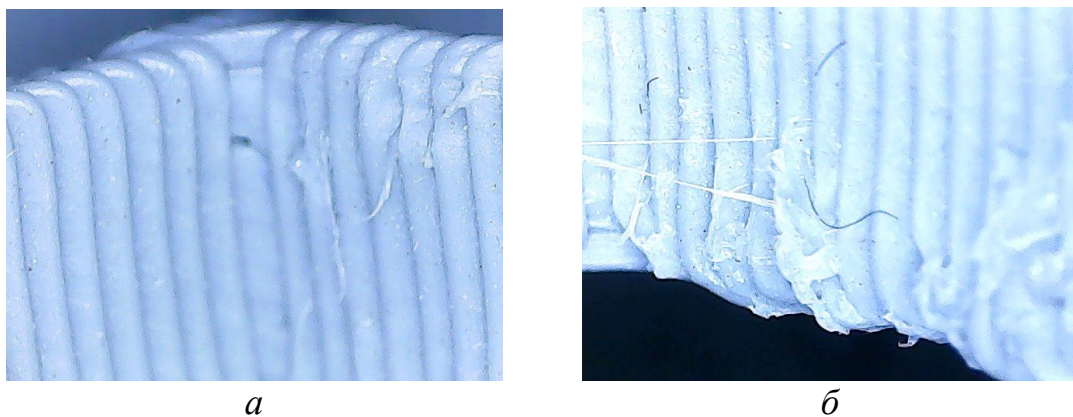


Рис. 1 – Фото комірки стільника (а) та утворена шорстка поверхня (б)

Виміри шорсткості за стандартною методикою та порівняння шорсткості еталонного плоского зразка товщиною 5,0 мм із тонкими

стінками, отриманими за подібних умов друку показує наявність співвідношення R_a^e/R_a^r , яке може виступати аргументом функції міцності σ_r . Такі співвідношення наведені у табл. 1 і, а результати статистичного опрацювання – на рис.2.

Таблиця 1 – Виміри шорсткості площинок за R_a за окремими перетинами

Контрольовані параметри R_a , мкм	Площини комірки стільника					
Еталон, перпендикулярно до напрямку викладання	12,6					
Виміряні параметри по площинках для перетину 1	23,300	22,07	21,900	22,90	25,400 (дефект)	22,80
Виміряні параметри по площинках для перетину 2	21,200	24,20	22,300	21,40	22,500	21,80
Виміряні параметри по площинках для перетину 3	23,900	27,70 (дефект)	23,200	22,10	24,100	23,70
Усереднені значення (за виключенням дефектів)	22,800	25,20	22,460	22,13	24,000	22,76
Співвідношення R_a^e/R_a^r	0,552	0,50	0,548	0,57	0,525	0,56

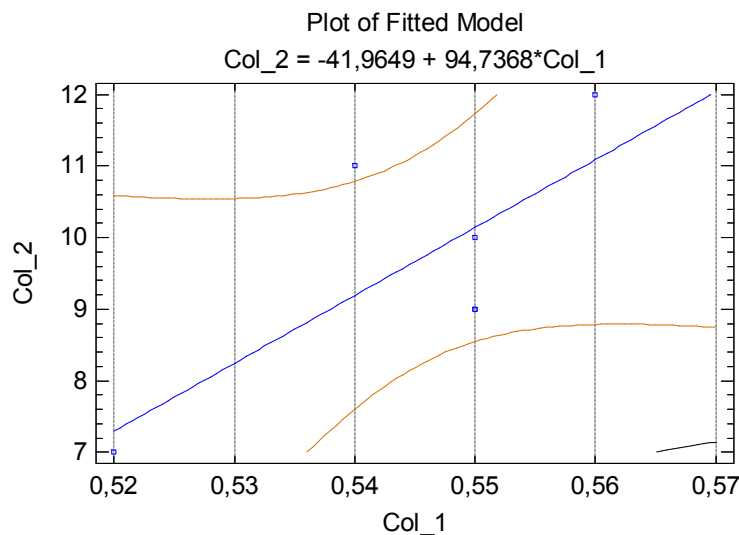


Рис. 2 – Залежність міцності стільникової системи від шорсткості поверхні складових стільника

Таким чином, шорсткість бічної поверхні тонкої стінки має тісний кореляційний зв'язок із параметрами міцності, оскільки відображає не тільки особливості викладання філаменту, а й свідчить про умови утворення місць адгезійного зчеплення, яка у подальшому визначатиме характеристики міцності виробу в цілому.

Висновок. Показано, що для відтворюваних технологій складних тонкостінкових виробів (наприклад, стільників), параметр шорсткості, зокрема, Ra , мкм, можна використовувати для оцінки міцності виробу.

Література

1. Michael, K. On achieving accuracy and efficiency in additive manufacturing: requirements on a hybrid CAM system / K. Michael, M. Servos, P. Stief, J. Dantan, A Etienne, A. Siadat // *Procedia CIRP*. – 2018. – 72. – P. 1512–1517.

2. Hashmi, A.W. The Surface Quality Improvement Methods for FDM Printed Parts: A Review. / A.W. Hashmi, H.S. Mali, A. Meena // Dave, H.K., Davim, J.P. (eds) *Fused Deposition Modeling Based 3D Printing, Materials Forming, Machining and Tribology*. – Springer, Cham. : 2021.

3. Salenko, O. Damage Behavior of Multilayer Axisymmetric Shells Obtained by the FDM Method / O. Salenko, V. Drahobetskyi, A. Symonova, E. Onishchenko, A. Kostenko, D. Tsurkan, D. Vasiukov // *J. of Eng. Sci. (Ukraine)*. – 2024. – Vol., Is. – P. D27D35.

4. Zagirnyak, Mykhaylo Increasing the Strength of Thin-walled Products Obtained by FDM Using the Thin Surface Films / Mykhaylo Zagirnyak, Oleksandr Salenko, Walid Alnusirat, Leonid Golovko, Vadym Orel, Viktoriia Kulynych // *Przeglad Elektrotechniczny*. – 2024. – Vol. 2024, Is. 3. – P. 289–292.

5. Ai, Jia-Ruey Enhanced Dimensional Accuracy of Material Extrusion 3D-Printed Plastics through Filament Architecture // Jia-Ruey Ai, Fang Peng, Piljae Joo, Bryan D. // *Vogt ACS Applied Polymer Materials*. – 2021. – 3 (5). – P. 2518–2528.

Бахман С.О. Державний університет
«Житомирська політехніка», Житомир

ВИКОРИСТАННЯ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ДЛЯ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ КОЛІСНИХ ПАР

Сучасний розвиток промисловості та транспортного комплексу є неможливим без застосування високоефективних технологічних методів і технічних засобів, спрямованих на відновлення експлуатаційних характеристик обладнання. У сфері залізничного транспорту в останні роки спостерігається підвищена увага до розроблення та впроваджен-

ня ресурсозберігаючих і екологічно орієнтованих технологій ремонту й відновлення елементів рухомого складу. Перспективним науково-технічним напрямом у цій галузі є інтеграція якісної підготовки робочих поверхонь із застосуванням інноваційних ресурсозберігаючих технологій, зокрема методів електродугового наплавлення, з застосуванням контролю якості засобами неруйнівного контролю [1].

Використання технології наплавлення у процесах відновлення залізничних колісних пар характеризується суттєвими економічними перевагами. Застосування цього методу забезпечує зниження втрат металу обода під час механічної обробки профілю кочення, а також сприяє підвищенню зносостійкості коліс завдяки використанню наплавлювальних матеріалів із заздалегідь регламентованими експлуатаційними властивостями. Для реалізації таких технологічних операцій переважно застосовують методи дугового наплавлення під шаром флюсу із використанням дротів суцільного перерізу, а також комплекс спеціалізованого зварювального та допоміжного обладнання [1]. Водночас сучасні технологічні рішення не завжди враховують повний спектр факторів, що визначають експлуатаційну надійність відновлених поверхонь, унаслідок чого можливе формування тріщин у наплавлених шарах і зростання ризику аварійних ситуацій під час подальшої експлуатації [2, 3]. Для контролю якості є доцільним використання обладнання та технологій неруйнівного контролю, а саме ультразвукової дефектоскопії.

Технологія наплавлення вже отримала нормативно-правове закріплення в галузевих документах і активно використовується для ремонту коліс вантажних вагонів, рухомого складу гірничо-збагачувальних і металургійних підприємств, а також кранових та трамвайних коліс. З метою забезпечення належного рівня контролю якості відновлених поверхонь кочення після проведення наплавлення та наступної механічної обробки доцільним є застосування методів ультразвукової дефектоскопії. На вітчизняному ринку представлена широка номенклатура дефектоскопічної апаратури закордонного виробництва, яка відповідає сучасним вимогам до якості ультразвукового контролю. Водночас її висока вартість та відсутність сервісної інфраструктури обумовлюють надмірні експлуатаційні витрати, що перевищують фінансові можливості більшості національних споживачів. Провідними українськими розробниками і виробниками апаратури для неруйнівного контролю є ТОВ «Ультракон-Сервіс» та НВФ «Стандарт-М», які пропонують ультразвуковий дефектоскоп УД-2-70 у комплекті з необхідним допоміжним обладнанням та програмним забезпеченням [4, 5].



Рис. 1 – Загальний вид ультразвукового дефектоскопа УД2-70 та п'єзоелектричного перетворювача для перевірки поверхні кочення

Таблиця 1 – Основні технічні характеристики дефектоскопа УД2-70 [4, 5]

Робочі частоти	1,25; 1,8; 2,5; 5; 10 (0,4) МГц
Діапазон контролю (по сталі)	0–5000 мм
Динамічний діапазон посилення приймального тракту	100 дБ
Динамічний діапазон тимчасового регулювання чутливості (ВРЧ)	60 дБ
Абсолютна похибка при вимірі глибини залягання дефекту N_x	$\pm (0,5 + 0,02 N_x)$ мм
Абсолютна похибка при вимірі відношення амплітуд сигналів N_x	$\pm (0,2 + 0,03 N_x)$ дБ
Час безперервної роботи від акумуляторної батареї, щонайменше	7 год
Маса дефектоскопа (з акумуляторною батареєю), не більше	3,5 кг
Габаритні розміри (без ручки)	245×145×75 мм

Ультразвуковий дефектоскоп загального призначення УД2-70 призначений для діагностики виробів з метою виявлення дефектів типу порушення суцільності та неоднорідності матеріалів, напівфабрикатів і готової продукції, а також для контролю зварних з'єднань. Прилад забезпечує можливість вимірювання відношення амплітуд сигналів, що відбиваються від дефектів, визначення глибини та просторових координат їхнього розташування. Сфера його застосування охоплює машинобудування, металургію, транспортний сектор, суднобудування, енергетичну та будівельну галузі, а також інші напрями промисловості, де необхідне проведення ультразвукового контролю виробів основного виробництва й технологічного обладнання [4, 5].

З метою адаптації ультразвукового дефектоскопа УД2-70 до вирішення специфічних завдань залізничної галузі в його програмному забезпеченні реалізовано спеціалізований функціональний модуль

«СПЕЦ. МЕНЮ». Дана система забезпечує можливість застосування оптимізованих налаштувань для контролю різних типів деталей, при цьому прилад зберігає функціональність універсального дефектоскопа загального призначення. Типові налаштування та програмний інтерфейс «СПЕЦ. МЕНЮ» завантажуються до приладу за допомогою стандартного програмного забезпечення для зв'язку з ПЕОМ. Введені параметри захищені від некоректних змін недосвідченими користувачами, водночас існує можливість формування робочих налаштувань на основі базових та їх коригування відповідно до конкретних умов контролю. Збереження робочих параметрів здійснюється у вбудованій пам'яті дефектоскопа (до 100 комірок налаштувань). Регулювання чутливості контролю виконується в режимі «Налаштування» за відбитим сигналом від калібрувального відбивача [4, 5].

Література

1. Бахман С.О. Технологічні аспекти відновлення залізничних колісних пар: методи підвищення ефективності / С.О. Бахман // Технічна інженерія. – 2025. – №1(95). – С. 31–44.
2. Гайворонський О.А. Умови забезпечення якості відновлених наплавленям залізничних коліс / О.А. Гайворонський // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – 2016. – №5(65). – С. 136–151.
3. <https://files.nas.gov.ua/NASDevelopmentsBook/PDF/2019/0919.pdf>
4. <https://www.ultracon-service.com.ua/index.php/ru/articles/item/6-ultrasonic-flaw-detector-ud2-70-article>
5. <http://standart-m.com.ua/izmeritelnye-pribory/defektoskopy/defektoskop-ud2-70?mova=uk>

Бондар І.В., Жаровский Г.Я. Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ

МОДЕРНІЗОВАНА УСТАНОВКА ВУ-700 ДЛЯ НАПИЛЕННЯ БАГАТОШАРОВИХ ПОКРИТТІВ

Відомо, що методи вакуумного іонноплазмового осадження адаптивні для отримання градієнтних, метастабільних, дискретних, багатокомпонентних, багатошарових покриттів, у тому числі на довгомірних виробках.

Для рішення таких задач проведено модернізація вакуумної установки ВУ-700 (внутрішній діаметр та загальна висота камери 700 мм) з наступними складовими у вихідному стані: – встановлений лінійний магнетрон довжиною 500 мм та катод для пасивного тліючого розряду із відповідним обладнанням для їх живлення; – є блок живлення для подачі постійного потенціалу зміщення на вироби при для катодно-іонного бомбардування (КІБ) їх поверхонь перед нанесенням покриття і для подачі відповідного потенціалу зміщення при напилені покриття; – змонтовано 6-ти позиційна система подвійного планетарного обертання та електронагрівач. Блок схема модернізованої установки приведена на рис. 1.

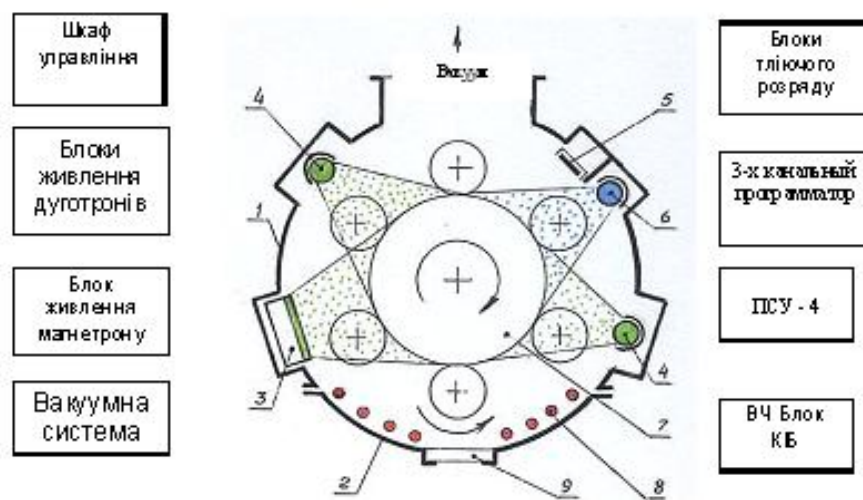


Рис. 1 – Блок схема модернізованої установки ВУ-700 «Д»(М):

1 – вакуумна камера, 2 – двір; 3 – магнетрон; 4 – дуготрон (№ 1, № 3); 5 – катод тліючого розряду; 6 – дуготрон (№ 2); 7 – експонуюча оснастка подвійного планетарного обертання; 8 – електронагрівач; 9 – оглядова система

В оглядовому вікні, розповсюдженому на двері камери, встановлено система, яка захищає вікно від запилення в процесі нанесення покриттів. Біля катода тліючого розряду вмонтовано розроблений лінійний дуготрон, а два інших дуготрони встановлено за нішею для магнетрону та перед нішею для катода тліючого розряду, відповідно на лівій та правій стінках камери.

Для живлення розроблених лінійних дуготронів (довжина 500 мм) (рис. 2) встановлено два блоки мікроелектродугового розряду, які включають системи ініціації мікродугового розряду і сканування катодного п'ятна по всій довжині катода при роботі дуготрону.

До блоку живлення пасивного тліючого розряду доданий блок живлення активного тліючого розряду – блок живлення постійної напруги зміщення для КІБ переоснастили в високочастотний (25 кГц)

імпульсний блок, який виключає виникнення мікродугових розрядів на поверхні виробів.



Рис. 2 – Лінійний периферійний дуготрон

Особливості роботи модернізованої установки визначено під час формування покриття з використанням катоду із багатокомпонентного жаростійкого сплаву NiCrAlY. Дослідження показали, що мікроелектродуговий розряд надійно горить і рівномірно сканує по довжині катоду при величині току дуги 90–120 А. Швидкість сканування катодного п'ятна надійно управляється блоком сканування дуги. При зменшенні току дугового розряду менше 90 А занадто часто гасне мікроелектродуговий розряд і спрацьовує система його ініціації. Збільшення току дугового розряду зменшує частоту загасання, але при величині току дуги до 120 А відбувається більш інтенсивний розігрів самого катоду, і простору в середині камери, що сприяє самостійному зростанню тиск в камері через деякий час в процесі розпилення. Швидкість осадження покриття на поверхню зразків, які експонуються на каруселі з подвійним планетарним обертанням, при величині току дуги 90 А близька до 2 мкм/год. При цьому формується рівномірне по товщині покриття по всій довжині поверхні виробу.

Буковська Д.В., Антонюк В.С. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ

МОДЕЛЮВАННЯ ТРАЄКТОРІЇ КАТАПУЛЬТНОГО ЗАПУСКУ БПЛА ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ ПОЛЬОТУ

Зростаючий попит на безпілотні літальні апарати (БПЛА) у різних секторах, таких як безпека, моніторинг та реагування на надзвичайні ситуації, підкреслює критичну потребу в надійних і точних системах запуску. Катапульти системи є особливо вигідними завдяки їхній здатності запускати БПЛА літакового типу з обмежених просторів [1].

Зважаючи на складний характер фізичних процесів, що відбуваються на етапі старту БПЛА, актуальним є теоретичне та експериментальне обґрунтування оптимальних значень початкових параметрів пуску.

Процес катапультного запуску БПЛА зі стартовим прискорювачем включає три основні етапи: рух вздовж направляючої, фаза після відриву від направляючої та політ після відокремлення стартового двигуна.

Ефективність запуску БПЛА безпосередньо залежить від збалансованого розподілу зовнішніх сил, що діють на апарат. Стан динамічної рівноваги, при якому сумарний вплив усіх зовнішніх сил дорівнює нулю, має вирішальне значення для стабільності.

Кожна з трьох стадій запуску вимагає точного визначення положення центру мас БПЛА. Для розрахунку центру мас протягом усього процесу запуску необхідно враховувати швидкість, координати та кут запуску апарату.

Для дослідження динаміки руху БПЛА при запуску було розроблено математичну модель, що описує рух апарату на кожній з стадій пуску. Ключовою частиною системи диференціальних рівнянь, що моделює динаміку руху БПЛА на першому етапі є розрахунок прискорення БПЛА (1).

$$V_1 = \frac{P_{мд} + P_{сд} \cos \alpha_n - F_{мп} - X(\alpha, M_1, y_1)}{m(t)} - g \cdot \sin \alpha_n, \quad (1)$$

де $P_{мд}$ – сила тяги маршового двигуна (Н); $P_{сд}$ – сила тяги стартового двигуна (Н); α_n – кут нахилу направляючих (рад); $F_{мп} = F_{мп}(t)$ – сумарне значення сили тертя бугелів в момент часу t (Н); $X(\alpha_n, M, y)$ – сила лобового супротиву БПЛА при нульовому куту атаки, який рухається зі швидкістю V_1 на висоті y_1 ; $M_1 = V_1/\alpha$ – число Маха; m – маса БПЛА (кг).

На основі наведеної математичної моделі проведено розрахунок траєкторії польоту для БПЛА масою 350 кг з площею крила 1,4 м², оснащеного маршовим двигуном з тягою 1208,65 Н і кутом нахилу 0,061 рад, та стартовим двигуном з тягою 16000 Н і кутом нахилу 0,314 рад. Параметри запуску включали коефіцієнт тертя ковзання 0,2, довжину направляючих 4 м, час роботи стартового двигуна 4 с, масу заряду стартового двигуна 30 кг, масу корпусу стартового двигуна 50 кг і масову швидкість горіння палива 7,5 кг/с та кут нахилу направляючих 0,488 рад.

На рис. 1 показано траєкторію руху БПЛА на початковому етапі, розділеному на дві фази: рух по направляючих до моменту сходу (фаза а) та рух після вимкнення стартового двигуна і переходу до вільного польоту (фаза б).

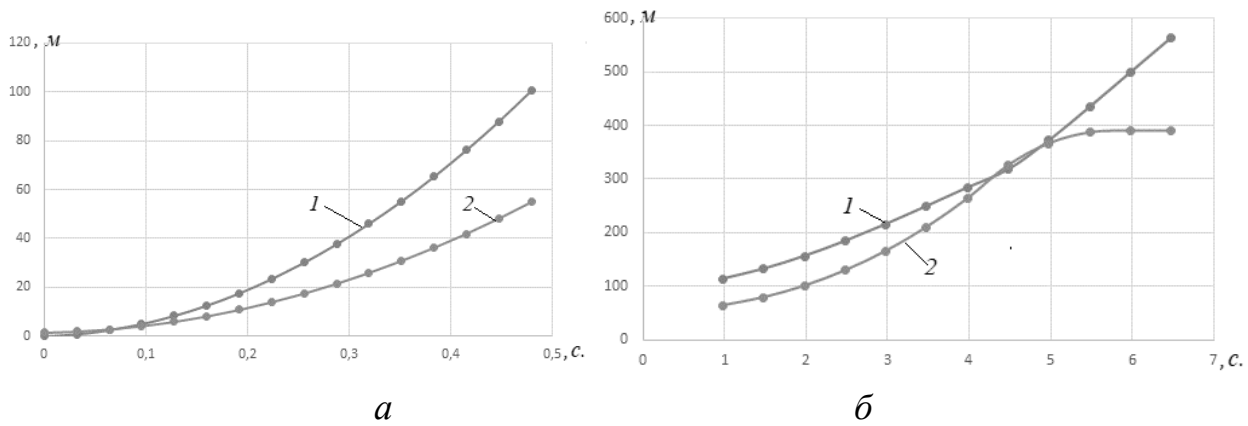


Рис. 1 – Траєкторія руху БПЛА до моменту сходу з направляючих (а) та після скидання стартового двигуна (б), при куті установки стартового двигуна ($\varphi = 28^\circ$). 1 – горизонтальна координата (X); 2 – вертикальна координата (Y)

Аналіз результатів дослідження дозволяє визначити ключові параметри, що впливають на стабільність і ефективність запуску. Зокрема, на етапі руху по направляючих (фаза а) сила тяги двигунів $P_{\text{сд}}$ і $P_{\text{мд}}$ частково компенсується силою тертя $F_{\text{тр}}$ і складовою сили тяжіння $mg \sin \alpha$, що призводить до відносно невеликого прискорення і набору висоти. Після сходу з направляючих (фаза б) аеродинамічні сили X і Y стають більш значущими, і характер руху змінюється в залежності від аеродинамічних характеристик БПЛА і кута атаки.

Отримані результати комп'ютерного моделювання процесу пуску БПЛА підтверджують, що ключовими факторами, які впливають на стабільність і ефективність польоту, є початкові параметри руху та збалансований розподіл зовнішніх сил на кожній стадії. Математична модель, що враховує силу тяги двигунів, силу тертя, силу тяжіння та аеродинамічні сили, дозволяє кількісно оцінити вплив кута нахилу направляючих та інших параметрів на траєкторію руху досліджуваного об'єкта.

Запропонована методика моделювання дозволяє не тільки визначати оптимальні параметри для існуючих конструкцій, а й досліджувати вплив змін у конструкції на характеристики польоту, що може бути корисним при розробці нових моделей БПЛА та систем запуску. Врахування зазначених факторів дасть змогу збільшити точність, дальність, а головне стабільність польоту БПЛА.

Література

1. Novaković, Z. Increasing launch capability of a UAV bungee catapult / Z. Novaković, N. Medar, L. Mitrović // Sci. Tech. Rev. – 2014. – 64(4). – P. 17–26.

2. Bukovska, D. System for automated calculation of parameters of the stage of launching an unmanned aerial vehicle from a catapult-type launcher / D. Bukovska, V. Antoniuk. // Herald of Khmelnytskyi National University. Tech. Sci. – 2024. – 333(2). – P. 17–20.

Bukovskyi O.M., Vysloukh S.P. National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv

IMPROVING THE PRODUCTIVITY AND QUALITY OF THE CONTROL PROCESS OF INTERBLOCK ELECTRICAL CONNECTIONS

In modern industry, where the quality and reliability of cable and wire products are extremely important, the automation of control processes plays a key role in increasing the productivity of manufacturing and reducing the number of defects [1]. Traditional control methods based on manual measurements and visual inspection are labor-intensive, prone to errors, and do not always provide the necessary accuracy. Therefore, the development and implementation of automated control systems for inter-block electrical connection parameters is a relevant and promising task.

This paper considers an automated system for controlling the parameters of inter-block electrical connections, which is aimed at increasing productivity and ensuring high quality of cable and wire products [2]. The system is based on a modular design principle, which allows it to be easily configured for various types of products and control processes.

The automated system consists of a set of key elements. The tester block performs direct measurement of the electrical parameters of the connections. It is equipped with 96 measuring channels for accurate measurement of conductor resistance, short-circuit resistance, and insulation resistance.

A stable power supply for the components of the automated system is provided by a power supply unit.

An Ethernet network switch provides data exchange between the tester unit and a personal computer.

The personal computer performs system management, data processing, result visualization, and report generation functions.

The CableTester software integrates all system components, automates the control process, and provides a user-friendly interface.

An important feature of the automated system is the use of adaptive algorithms for processing measurement data. To ensure high accuracy and reliability of control, the following adaptive algorithms are used to monitor the parameters of inter-block electrical connections:

- LMS (Least Mean Squares) – for filtering noise in signals;
- RLS (Recursive Least Squares) – for predicting deviations and responding quickly to changes;
- Adam (Adaptive Moment Estimation) – for real-time optimization of model parameters;
- Levenberg-Marquardt (LM) – for stable processing of nonlinear data with narrow optimum regions.

The use of LMS, RLS, Adam, and Levenberg-Marquardt algorithms allows for effective noise filtering, compensation for systematic errors, and adaptation of mathematical model parameters to changing operating conditions.

The effectiveness of an automated control system is largely determined by the quality of its information support. The information support is based on the following data sources:

- data received directly from the tester unit that measures the electrical parameters of cables;
- information entered by the operator regarding the structure of the harnesses and test settings;
- information about external operating conditions, such as temperature, humidity, and electromagnetic interference;
- reference data required for calibration and periodic verification of system accuracy.

CableTester software is essential for automating the control system, integrating all hardware components into a single unit and providing data collection, processing, analysis, and measurement control. CableTester uses an intuitive interface that makes it easy to configure test parameters, create connection tables, visualize results, and generate reports.

The uniqueness of CableTester lies in its versatility in solving control tasks, allowing you to effectively test a wide range of cable and wire products for various purposes and configurations. The software provides advanced visualization tools, enabling users to quickly and comprehensively assess the condition of products and detect potential defects in a timely manner. CableTester provides convenient data storage and archiving, facilitating effective recording of control results and analysis of parameter dynamics in the long term.

The developed automated system for monitoring the parameters of inter-block electrical connections is an effective solution for increasing productivity and quality in the production of cable and wire products. It contributes to increased productivity, improved accuracy in assessing product quality, and reduced defects. The application of the proposed solutions allows optimizing quality control costs, increasing product competitiveness, and can be useful for enterprises manufacturing cable and wire products.

References

1. Bukovskyi, O.M. Mathematical model of the process of controlling the parameters of interblock electrical connections / O.M. Bukovskyi, S.P. Vysloukh // Sci.cWorld J. – 2025. – Is. 29, part 1. – P. 47–63.
2. Bukovsky, O.M. Automation of the process of monitoring the parameters of interblock electrical connections / O.M. Bukovsky, S.P. Vysloukh // Bulletin of Khmelnytsky National University. Tech. Sci. – 2024. – No. 1. – P. 325–329.

Бутенко В.М. Український державний
університет залізничного транспорту, Харків

ПОКРАЩЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ КОНТРОЛЬНО- ВИМІРЮВАЛЬНИХ ЗАСОБІВ ЕЛЕКТРОННОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ДЛЯ ПРОГРАМНОЇ ІНТЕГРАЦІЇ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ

В роботі [1] автори описали базові алгоритми обчислювальних процесів. В, свою чергу, в роботі [2] розглядається удосконалення моделей представлення об'єктів спеціалізованих комп'ютерних систем. Для подальшого використання інформації про об'єкти здійснюється класифікація типів даних [3] і подальше використання цих даних для застосунків вищого рівня у додатках користувача [4]. Моделі залізничної автоматики як компонентів реалізації зазначеної вище програмної інтеграції досліджувались авторським колективом в роботі [5] підвищує якість аналізу навіть з малими статистичними даними. Реалізація інформаційно-керуючих систем такого рівня можлива при великій ступені інформатизації процесів автоматизації засобами спеціалізованих комп'ютерних систем, таких як описано в [6]. Однак враховуючи математичні моделі сучасних систем автоматики та можли-

вості покращення контрольно-вимірювальних елементів як системи в цілому так і окремих компонентів розглядались авторами в роботі [7].

Покращення елементів контрольно-вимірювальних засобів електронної реалізації координатного управління рухом поїздів.

В роботі [8] вже розглядались елементи вимірювання геометричних величин координатно-вимірювальними машинами, але для виробничого процесу. В свою чергу [9], висвітлює покращення вимірювання геометричних величин аналогічними машинами ремонтного виробництва з модернізацією програмного компонента. Однак в цій доповіді розглядатиметься покращення елементів контрольно-вимірювальних засобів електронної реалізації.

Елементи залізничних систем автоматики забезпечують по блокувальній фіксації рухомих одиниць. Для успішного їх функціонування необхідне стабільне електропостачання, що залежить від вдалої роботи аварійного реле залізничної автоматики. Збільшуючи чутливість контрольного елемента зазначених реле через компоненти електронної реалізації можливо підвищити програмну реалізацію всіх спеціалізованих комп'ютерних систем та через надання точних даних підвищити якість обслуговування пасажирів.

Для функціонування контрольної функції реле колективом винахідників було застосовано електронні компоненти, які дозволили підвищити надійність пристрою та запобігти передчасного виходу з ладу цих елементів електронної реалізації. З іншої сторони здійснено покращення елементів контрольно-вимірювального засобу електронної реалізації аварійного реле в будові якого використано новітні засоби електронної техніки для підвищення надійності та довговічності самого пристрою. Саме такий комплексний підхід до модернізації елементної бази спеціалізованих комп'ютерних систем дозволяє підвищити технічні показники якості як окремих елементів так і системи управління в цілому.

Відповідні винаходи та корисні моделі які ретельно та точно описують сутність нововведень у технічну реалізацію елементів подані в формі заявок та не оприлюднюються до отримання позитивного рішення по заявкам тому й не наводяться в даному матеріалі тез доповіді. Після опублікування патентів їх тексти будуть доступні з усіма подробицями.

Підвищуючи надійність та чутливість окремих елементів спеціалізованих систем підвищується як загальна надійність, хоч і не суттєво, так і підвищується якість обслуговування пасажирів.

Висновок. В доповіді переконливо продемонстровано, вплив покращення елементів контрольно-вимірювальних засобів на якість електронної реалізації для програмної інтеграції спеціалізованих комп'ютерних систем залізничної автоматики та, як наслідок, в інформаційні моделі верхнього рівня.

Література

1. Меркулов, В.С. Основи алгоритмізації базових обчислювальних процесів : навч. посібник / В.С. Меркулов, В.М. Бутенко та ін. – Харків : УкрДАЗТ, 2008. – 163 с.

2. Бутенко, В.М. Удосконалення математичної моделі представлення об'єктів у спеціалізованих комп'ютерних системах / В.С. Бутенко // Тези стендових доп. та виступів учасників 35-ї між народ. наук.-практ. конф. «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті». – 2023. – № 3 (додаток). – С. 22.

3. Павленко, Є.П. Дослідження методів класифікації типів даних в технології автоматизованого синтезу програм / Є.П. Павленко, В.М. Бутенко, В.О. Губін, С.В. Лубенець // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків, 2021. – № 1. – С. 80–88.

4. Мойсеєнко, В.І. Розробка мобільного додатку подорожувальника / В.І. Мойсеєнко, В.М. Бутенко, А.К. Соколов, В. Яранцев // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті.– 2024.– № 2.– С. 187–24.

5. Moiseenko, V. Determination model of the apparatus state for railway automatics with restrictive statistical data / V. Moiseenko, O. Kameniev, V. Butenko, V. Gaievskiy // ICTE in Transp. and Logist. 2018 (ICTE 2018) : Proc. Computer Sci. – 2019. – Vol. 149. – P. 185–194.

6. Moiseenko, V. Modeling of vehicle movement in computer information-control systems // V. Moiseenko, O. Golovko, V. Butenko, K. Trubchaninova // Radioelectronic and computer systems. – 2022. – P. 36–49.

7. Moiseenko, V. Mathematical Models of the System Integration and Structural Unification of Specialized Railway Computer Systems / V. Moiseenko, V. Butenko, O. Golovko, O. Kameniev, V. Gaievskiy // ICTE in Transp. and Logist. 2019 : Lect. Notes in Intell. Transp. and Infrastr. – Springer Cham., 2020.

8. Бутенко, В.М. Сучасна можливість покращення вимірювання геометричних величин координатно-вимірювальними машинами / В.М. Бутенко, С.Г Чуб // Сучасні питання виробництва та ремонту в промисловості та на транспорті : мат. міжнарод. наук.-техн. семінару, 25–26 березня 2025 р. – Київ : АТМ України; Житомир : ПП "Рута" 2025. – С. 18–20.

9. Бутенко, В.М. Покращення вимірювання геометричних величин координатно-вимірювальними машинами ремонтного виробництва модернізацією програмних компонентів / В.М. Бутенко, С.Г. Чуб // Інженерія поверхні та реновація виробів : мат. 25-ї між народ. наук.-техн. конф., 10–12 червня 2025 р. – Київ : АТМ України, 2025. – С. 9– 12.

Бутенко В. М., Чуб С. Г. Український державний університет залізничного транспорту, Харків

ПОКРАЩЕННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ТА КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ВІТЧИЗНЯНОЇ ПРОДУКЦІЇ ЗАЛІЗНИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Комбінована обробка виробів застосовується на ремонтних виробництвах у поєднанні з новими сучасними засобами, що використовують ріжучі інструменти та засоби вимірювальної техніки [1]. Забезпечення комбінованої обробки виробів не можлива без застосування як сучасних засобів так і сучасних моделей управління. Так подібні аспекти моделювання руху транспортних засобів у комп'ютерних інформаційно-керуючих системах розглянуті в роботі [2]. Зазначені засоби підвищення якості відносяться до низового рівня апаратно-програмного забезпечення якості різних технологічних процесів технічної галузі, а ось робота [3] присвячена програмній реалізації надання якісних послуг через додаток високого рівня подорожувальника. На низовому рівні вплив на якість інформаційно-вимірювальних систем досліджувалась в роботі [4]. Однак в цих методиках не розглядались аспекти надійності та безпечності. В свою чергу в роботі [5] проаналізовано методики конкретних пристроїв та їх вплив на надійність як параметр якості. А ось робота [6] розкриває необхідність перегляду методик нормування розрахунку надійності електронних компонентів автоматики будь-якого призначення.

Визначити та оприлюднити шляхи покращення якості та конкурентноспроможності вітчизняної продукції залізничного призначення, зокрема виробів, що використовуються в складі систем забезпечення, регулювання та керування руху поїздів.

В роботі [7] вже розглядались проблеми випробувань комплексів технічних засобів керування та регулювання руху поїздів, однак слід зауважити про вигоду і виробників продукції. Так, виробники

вітчизняної продукції залізничного призначення, зокрема виробів, що використовуються в складі систем забезпечення, регулювання та керування руху поїздів, в якості головного критерію застосовують відповідність цих виробів вимогам регламентів безпеки інфраструктури та рухомого складу. Серед основних рекомендованих нормативних документів (НД), що визначають вимоги до безпеки, в цих регламентах використовується ДСТУ 4178-2003 [8]. Цей документ містить негативні особливості, в тому числі й термінологічні, зокрема, у визначеннях основних понять. До цього треба віднести поняття «відповідальна функція» (3.2.34 згаданого вище НД) [8].

В якості альтернативи розглянуті конкретні широко вживані поняття, що застосовуються до виробів, що містять електричні, електронні (мікроелектронні) складові. Такими, зокрема, є: «вхідний сигнал (вхідні сигнали)», «вихідний сигнал (вихідні сигнали)», до яких також застосовується поняття «команда». Надалі зазначене вище термінологічне питання розглянуто на прикладі конкретного широко вживаного виробу залізничної автоматики – реле, що може бути електромеханічним або електронним.

Функція реле – комутація зовнішніх електричних кіл, у т.ч. й таких, що можна назвати відповідальними. У цьому прикладі визначення показників функційної безпечності реле на основі поняття «функція» все одно призводить до аналізування стану його входу (вхідний сигнал, живлення) та виходу (вихідний сигнал – команда – замкнені або розімкнені контакти – вихідні комутатори). Тобто поняття «функція» не є конструктивним. У цьому прикладі більш конструктивним є саме поняття «команда». В певних випадках доцільним є поняття «відповідальна команда». Тим паче, що це поняття достатньо давно вживається як на вітчизняних залізницях, так і за межами України. На жаль, розглянуте вище поняття не ввійшло до переліку понять, визначених у ДСТУ 4178-2003 [8].

Вітчизняна продукція виробів залізничної автоматики користується певним попитом за межами України. Серед позитивних прикладів можна зазначити такі держави як Молдова, Казахстан, Литва. Але набуттю більшої конкурентоспроможності вітчизняної продукції заважають певні розбіжності щодо застосовуваних національних нормативних документів. Можна й надалі вдосконалювати зміст ДСТУ 4178-2003, але це є актуальним тільки в межах України. Більш продуктивним підходом є активне впровадження оцінювання відповідності продукції вимогам SIL та НД серії ДСТУ EN 61508.

Висновок. В доповіді авторів буде продемонстровано, що перехід на оприлюднений підхід надасть широкій номенклатурі вітчизняної продукції залізничного призначення більшого ступеню уніфікації з відповідними європейськими та світовими аналогами щодо основних технічних вимог, зокрема, й вимог щодо функційної безпечності та надійності як загальнопромислового так і транспортного призначення.

Література

1. Salenko, O. Using the functional approach in the development of hybrid processes in engineering : theoretical base / O. Salenko, S. Klymenko, V. Orel, V. Kholodny, N. Gavrushkevich // Mech. and Adv. Technol. – 2022. – 6 (1), 41 – 55 p.

2. Moiseenko, V. Modeling of vehicle movement in computer information-control systems // V. Moiseenko, O. Golovko, V. Butenko, K. Trubchaninova // Radioelectronic and computer systems. – 2022. – P. 36–49.

3. Мойсеєнко, В.І. Розробка мобільного додатку подорожувальника / В.І. Мойсеєнко, В.М. Бутенко, А.К. Соколов, В. Яранцев // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті.– 2024.– № 2.– С. 187–24.

4. Якість інформаційно-вимірювальних систем на залізничному транспорті України // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків : УкрДАЗТ, 2008 – Вип. 99. – С. 151–155.

5. Бутенко, В.М. Аналіз методик розрахунку надійності систем залізничної автоматики з електронними компонентами / В.М. Бутенко, О.В. Головка, С.Г. Чуб // Зб. наук. праць УкрДУЗТ. – Харків : УкрДУЗТ. – 2023. – № 204. – С. 115–124.

6. Бутенко, В.М. Перегляд методик нормування розрахунку надійності електронних компонентів автоматики / В.М. Бутенко // Якість, стандартизація, контроль : теорія та практика : мат. 24-ї між народ. наук.-практ. конф., 24–26 вересня 2024 р. – Київ : АТМ України, 2024. – С. 32–34.

7. Мойсеєнко, В.І. Проблеми випробувань комплексів технічних засобів керування та регулювання руху поїздів / В.І. Мойсеєнко, В.М. Бутенко, О.В. Головка, С.Г. Чуб // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2020. – т. 25, №3. – С. 31–38.

8. ДСТУ 4178-2003. Комплекси технічних засобів систем керування та регулювання руху поїздів. Функційна безпечність і надійність. Вимоги та методи випробування. Каталог нормативних документів. Київ: Держспоживстандарт України, 2003 DSTU 4178-2003. – 73 с.

ЗАСТОСУВАННЯ ІСКРОБЕЗПЕЧНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛА (Ex i) В ПЕРЕТВОРЮВАЧАХ ТИСКУ В КОНТЕКСТІ ГАРМОНІЗАЦІЇ УКРАЇНСЬКИХ СТАНДАРТІВ ІЗ АТЕХ ТА ІЕСЕх

У вибухонебезпечних середовищах будь-яка іскра або перегрів електронного обладнання може стати джерелом займання. Саме тому в приладах контролю тиску широко застосовують метод іскробезпечних електричних кіл (Ex i), який дозволяє унеможливити виникнення небезпечної іскри навіть у випадку аварійного режиму роботи.

З огляду на необхідність гармонізації українських стандартів з європейськими нормами АТЕХ та ІЕСЕх, актуальним є поглиблене вивчення Ex i для перетворювачів тиску. Це сприяє підвищенню промислової безпеки та відкриває доступ вітчизняних виробників до міжнародних ринків.

Ex i передбачає обмеження параметрів електричної енергії (U , I , P , Q) до рівнів, що не можуть викликати займання газів, парів чи пилу.

У схемах застосовуються:

- обмежувальні резистори; стабілітрони для захисту від перенапруг;
- плавкі запобіжники та електронні обмежувачі струму;
- бар'єри іскробезпеки (гальванічні розв'язки).

Рівні іскробезпеки (EN 60079-11):

- Ex ia – забезпечує безпеку навіть при двох незалежних відмовах; дозволено для Zone 0;
- Ex ib – безпека при одній відмові; застосовується у Zone 1;
- Ex ic – базовий рівень, використовується у Zone 2.

Застосування у перетворювачах тиску. Найбільш поширеним є використання Ex i у сигнальних колах 4-20 мА та у цифрових інтерфейсах (HART, Modbus). Бар'єри іскробезпеки встановлюються на межі вибухонебезпечної зони та безпечної області. Це дає змогу передавати інформацію на великі відстані без ризику займання; здійснювати технічне обслуговування приладів без знеструмлення системи; інтегрувати тиск-вимірювальні прилади в автоматизовані системи управління. Перевагами Ex i є низька вартість реалізації порівняно з Ex d; компактність приладів; можливість використання стандартних кабелів без додаткового захисту; спрощене технічне обслуговування.

До недоліків відносяться обмежена потужність кола (неможливо використовувати у високопотужних системах); підвищені вимоги до якості монтажу та перевірки бар'єрів.

Нормативні вимоги:

- ЄС: АТЕХ 2014/34/EU, EN 60079-11:2012.
- Україна: ДСТУ EN 60079-0:2017, ДСТУ EN 60079-11:2017.
- Міжнародні системи: ІЕСЕх, ISO/ІЕС 80079-34.

Отже, перетворювачі тиску у вибухонебезпечних середовищах повинні відповідати суворим вимогам безпеки. Вибухозахист таких пристроїв – це поєднання інженерних рішень, контролю якості та відповідності міжнародним стандартам. В умовах гармонізації з ЄС важливо враховувати вимоги АТЕХ та впроваджувати їх в українську нормативну базу.

Література

1. ДСТУ EN 60079-0:2017. Вибухозахищене електрообладнання. Частина 0. Загальні вимоги. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 68 с.
2. АТЕХ Directive 2014/34/EU of the European Parliament and of the Council. – Brussels : European Union, 2014. – 45 p.
3. Єфремов, С.О. Технічні засоби вимірювання в промисловості / СМ.О. Єфремов. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – 412 с.
4. Віткін, Л.І. Метрологія, стандартизація і сертифікація : навч. посіб / Л.І. Віткін. – Київ : Центр навчальної літератури, 2010. – 352 с.
5. ISO/ІЕС 80079-34:2018. Explosive atmospheres – Application of quality systems. – Geneva : ISO, 2018. – 37 p.

*Волошина Л.В., Роценко О.В., Сергєєв О.В. Український державний університет залізничного транспорту
Захаров А.В. Державний біологотехнологічний університет, Харків*

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ МІКРОМЕТРИЧНИХ ПРИЛАДІВ У ЛАБОРАТОРІЯХ

У сучасних умовах розвитку науки і техніки точність вимірювань визначає якість продукції та надійність досліджень. Метрологія забезпечує простежуваність і узгодженість результатів у різних галузях промисловості та науки [1].

Мікрометричні прилади займають особливе місце, адже дозволяють виконувати вимірювання з високою точністю. Вони викорис-

товуються у машинобудуванні, приладобудуванні, авіаційній та медичній техніці. Проте їх точність може знижуватися через знос деталей, похибки калібрування, коливання температури та людський чинник [2]. Тому створення комплексних підходів до підвищення точності вимірювань у лабораторіях є важливим завданням сучасної метрології.

Метою роботи є розробка практичних рекомендацій щодо підвищення точності вимірювань мікрометричними приладами. Для цього необхідно проаналізувати вплив калібрування, оцінити методи зменшення невизначеності, визначити оптимальні умови вимірювань, дослідити роль кваліфікації персоналу та запропонувати комплексний підхід до організації процесу.

Калібрування є основою точності будь-якого вимірювального обладнання. Воно передбачає перевірку працездатності, налаштування та визначення метрологічних характеристик. Регулярне калібрування дозволяє виявляти систематичні відхилення та підтримувати стабільність результатів [1, 2].

Аналіз невизначеностей. Будь-яке вимірювання супроводжується невизначеністю — випадковою (тип А) або систематичною (тип В). Для її зменшення застосовують математичні моделі, що враховують вплив еталонних мір, температури, механічних ефектів, похибок відліку тощо. Оптимізація цих чинників мінімізує ризики прийняття неправильних рішень [1, 3].

Контроль умов вимірювання. Зовнішні умови є вирішальними: температура під час калібрування повинна становити 20 ± 5 °С, вологість – до 80%. Необхідно забезпечувати чистоту поверхонь, належне освітлення, відсутність вібрацій та електромагнітних перешкод [5]. Недотримання цих вимог може спричинити суттєві відхилення результатів.

Кваліфікація персоналу. Підготовка операторів безпосередньо впливає на точність. Людський чинник є одним з основних джерел похибок, тому потрібне систематичне навчання, тренінги з техніки вимірювань і ознайомлення з міжнародними стандартами [2; 6].

Документування процесів. Ведення документації щодо калібрування та вимірювань дозволяє відстежувати історію приладу, зміни його характеристик та своєчасно виявляти проблеми. Це підвищує довіру до результатів і сприяє їх міжнародному визнанню [1, 4]. Таким чином, запропонований комплекс заходів дозволяє зменшити похибки, підвищити надійність і відтворюваність результатів у лабораторіях. Використання сучасних підходів до калібрування та контролю невизначеності сприяє відповідності міжнародним стандартам ISO та ILAC. Це важливо як для

наукових досліджень, так і для промислового виробництва, де точність визначає якість кінцевої продукції [2, 5].

Висновки. Точність вимірювань мікрометричних приладів залежить від поєднання технічних та організаційних чинників. Регулярне калібрування й контроль умов забезпечують стабільність результатів, а аналіз невизначеностей допомагає мінімізувати похибки. Важливу роль відіграє кваліфікація персоналу та стандартизація процедур, що підвищують рівень повторюваності й міжнародного визнання результатів. У підсумку комплексний підхід до організації вимірювань є основою якості наукових і промислових досліджень [3, 6].

Література

1. EA-4/02 M:2022. Evaluation of the Uncertainty of Measurement in calibration. – European Accreditation, 2022.

2. ILAC-P14-01-2013. ILAC Policy on Measurement Uncertainty in Calibration.

3. JCGM 100:2008. Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement.

4. Васілевський, О.М. Основи теорії невизначеності вимірювань / Васілевський О.М., Кучерук В.Ю., Володарський Є.Т. – Вінниця : ВНТУ, 2015.

5. ДСТУ-Н РМГ 43:2006. Метрологія. Застосування. Посібники з вираження невизначеності вимірювань.

6. Павленко, Ю.Ф. Забезпечення єдності вимірювань: навчальний посібник / Ю.Ф. Павленко, І.П. Захаров. – Харків : ТОВ «Оберіг», 2023.

Даниленко Ю.А., Сараєва В.О. Інститут
сцинтиляційних матеріалів НАН України, Харків

СИСТЕМА СТАНДАРТИЗАЦІЇ В УКРАЇНІ: ВИКЛИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

Стандартизація є невід’ємним елементом сучасної економіки, адже саме вона визначає якість, безпеку та конкурентоспроможність продукції й послуг. Для України, яка обрала стратегічний курс на інтеграцію в Європейський Союз, розвиток системи стандартизації набуває особливого значення. Гармонізація національних стандартів з європейськими та міжнародними – це не лише технічне питання, а й

ключ до розширення доступу на зовнішні ринки, залучення інвестицій та модернізації промисловості.

Прийняття у 2014 р. Закону «Про стандартизацію» стало важливим кроком у напрямку адаптації української системи до європейських підходів. Закон заклав основи нової моделі, що відповідає принципам ЄС. Водночас, нормативно-правова база залишається фрагментарною: низка підзаконних актів застаріла, а процес їх оновлення відбувається надто повільно. Це створює прогалини у правовому полі й перешкоджає формуванню прозорої системи технічного регулювання.

На сьогодні лише 30–40% українських стандартів узгоджені з міжнародними та європейськими нормами (EN, ISO, IEC). У країнах ЄС цей показник становить 80–90%, що демонструє масштаб відставання. Процес перегляду та актуалізації національних стандартів вимагає значних фінансових і людських ресурсів. Технічні комітети (ТК), які відповідають за опрацювання стандартів, змушені працювати в умовах обмеженого фінансування. Через високу вартість супроводу кожного проєкту ТК не мають можливості переглядати велику кількість документів. У результаті значна частина стандартів залишається застарілою та суперечить гармонізованим європейським стандартам (EN, ISO, IEC).

Низький рівень гармонізації ускладнює виконання Угоди про асоціацію з ЄС і знижує конкурентоспроможність українських підприємств. Вирішенням проблеми може стати прискорене впровадження міжнародних стандартів і створення державних програм перекладу їх українською мовою, адже мовний бар'єр суттєво обмежує доступ малого та середнього бізнесу до цих документів.

Національний орган стандартизації – ДП «УкрНДНЦ» – працює у складних умовах. Серед ключових проблем: обмежене фінансування, низький рівень заробітних плат та відтік кваліфікованих кадрів. Відсутність належних ресурсів уповільнює розвиток та впровадження сучасних практик, зокрема цифровізації процесів. Без модернізації та залучення молодих фахівців система просто не витримає навантаження, яке диктує сучасна економіка.

Ще однією проблемою є недостатня участь бізнесу у розробці та впровадженні стандартів. В Україні підприємства рідко долучаються до роботи технічних комітетів, унаслідок чого стандарти не завжди відповідають реальним потребам ринку. Можливим вирішенням стане створення мотиваційних програм для бізнесу: податкових пільг, знижок на придбання стандартів, а також впровадження механізмів публічних консультацій. Це дозволить зробити стандарти більш гнучкими та ринково орієнтованими.

Додатковою проблемою є висока вартість доступу до національних і міжнародних стандартів, що обмежує можливості малого та середнього бізнесу. Запровадження безкоштовного чи пільгового доступу до базових стандартів могло б значно розширити поле для інновацій.

Російська агресія завдала потужного удару по промисловій і інфраструктурній базі України. Відбудова потребуватиме нових стандартів у сфері будівництва, енергетики, транспорту й безпеки. Водночас війна обмежила фінансові можливості держави, що робить міжнародну допомогу та донорські програми критично важливими для розвитку системи стандартизації.

Висновки: Система стандартизації в Україні стикається з комплексом проблем:

- повільна гармонізація з ЄС і міжнародними стандартами,
- збереження застарілих ГОСТів,
- слабка інституційна спроможність Національного органу стандартизації,
- дорогий доступ бізнесу до стандартів,
- вплив війни та обмежене фінансування.

Подолання цих викликів дозволить Україні інтегруватися до європейського ринку, модернізувати промисловість та підвищити конкурентоспроможність економіки. Стандарти – це не лише технічні документи, а й універсальна мова, якою світ говорить про якість, безпеку та довіру. І ця мова має звучати українською.

Клименко С.А. Інститут надтвердих матеріалів
ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ

МУЛЬТИФРАКТАЛЬНІ ПАРАМЕТРИ СТРУКТУРИ, МЕХАНІЧНІ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ТВЕРДИХ СПЛАВІВ ГРУПИ ВК

У роботі розглядалися гама мультифрактальних параметрів структури, механічні та експлуатаційні властивості дослідних зразків твердих сплавів групи ВК, отриманих під час водневого та вакуумного спікання, та їхніх аналогів – Р40 (М35), ТТР-20 виробництва «Sandvik Coromant» (Швеція) і «Winter» (Німеччина) відповідно.

Експлуатаційними показниками вважали величину навантаження, за якого руйнувалася кромка зразка (моделювали навантаження різальної кромки інструменту), час до появи тріщин під час циклічного навантаження з частотою 3500 уд/хв, співвідношення твердостей матеріалу різального інструменту і оброблюваного матеріалу, швидкість зношування різального інструменту.

З імовірністю вище 90% спостерігається кореляційний зв'язок між такими параметрами досліджуваних твердих сплавів: – величиною твердості за Віккерсом HV_i і мірою адаптивності структури до зовнішнього впливу (D_q/D_1), інформаційною (D_1) і фрактальною (Гаусдорфа-Безіковича) (D_0) розмірностями структури, показником прихованої впорядкованості структури ($\Delta_q = D_1 - D_q$), показником межі порушення симетрії структури ($D_q - D_{-q}$), значенням межі зародження та виродження мультифрактального масиву в структурі (D_q, D_{-q}) і ступенем однорідності структури (f_q):

$\uparrow HV_i - \uparrow (D_q/D_1) - \downarrow D_1 - \downarrow D_0 - \downarrow (\Delta_q = D_1 - D_q) - \downarrow (D_q - D_{-q}) - \downarrow D_{-q} - \uparrow f_q$,
де D_0, D_1, D_q, D_{-q} – мультифрактальні параметри, що визначаються зі спектра Рен'ї (розглядався випадок $q = 40$).

Величина коерцетивної сили K пов'язана зі значенням межі зародження мультифрактального масиву в структурі (D_{-q}), ступенем однорідності структури (f_q), інформаційною розмірністю структури (D_1), показником межі порушення симетрії структури ($D_q - D_{-q}$):

$$\uparrow K - \downarrow D_{-q} - \uparrow f_q - \downarrow D_1 - \downarrow (D_q - D_{-q}).$$

Як видно з викладеного, більшу твердість і коерцетивну силу мають більш однорідні тверді сплави з рівномірним розподілом зв'язки у вигляді тонких прошарків між частинками наповнювача.

Експлуатаційні показники матеріалів зазвичай визначаються комплексом структурних характеристик (рис. 1).

Це справедливо і в розглянутому випадку. Екстремальні залежності спостерігаються для функцій: руйнівне навантаження – показник межі порушення симетрії структури ($D_q - D_{-q}$) і ступінь однорідності структури (f_q) (рис. 1, а); руйнівне навантаження – показник межі порушення симетрії структури ($D_q - D_{-q}$) і адаптивність (D_q/D_1) структури до зовнішніх впливів (рис. 1, б); час до появи тріщин при циклічному навантаженні – показник прихованої впорядкованості структури ($\Delta_q = D_1 - D_q$) і ступінь однорідності структури (f_q) (рис. 1, в).

З урахуванням наявності зв'язку співвідношення твердості інструментального HV_i та оброблюваного HV_o матеріалів з працездатністю інструменту, можна зробити висновок, що найменший знос різального

інструменту відповідає парі з максимальним значенням фрактальної розмірності оброблюваного матеріалу (D_{0o}) і мінімальним значенням фрактальної розмірності інструментального матеріалу (D_{0i}) (рис. 1, з).

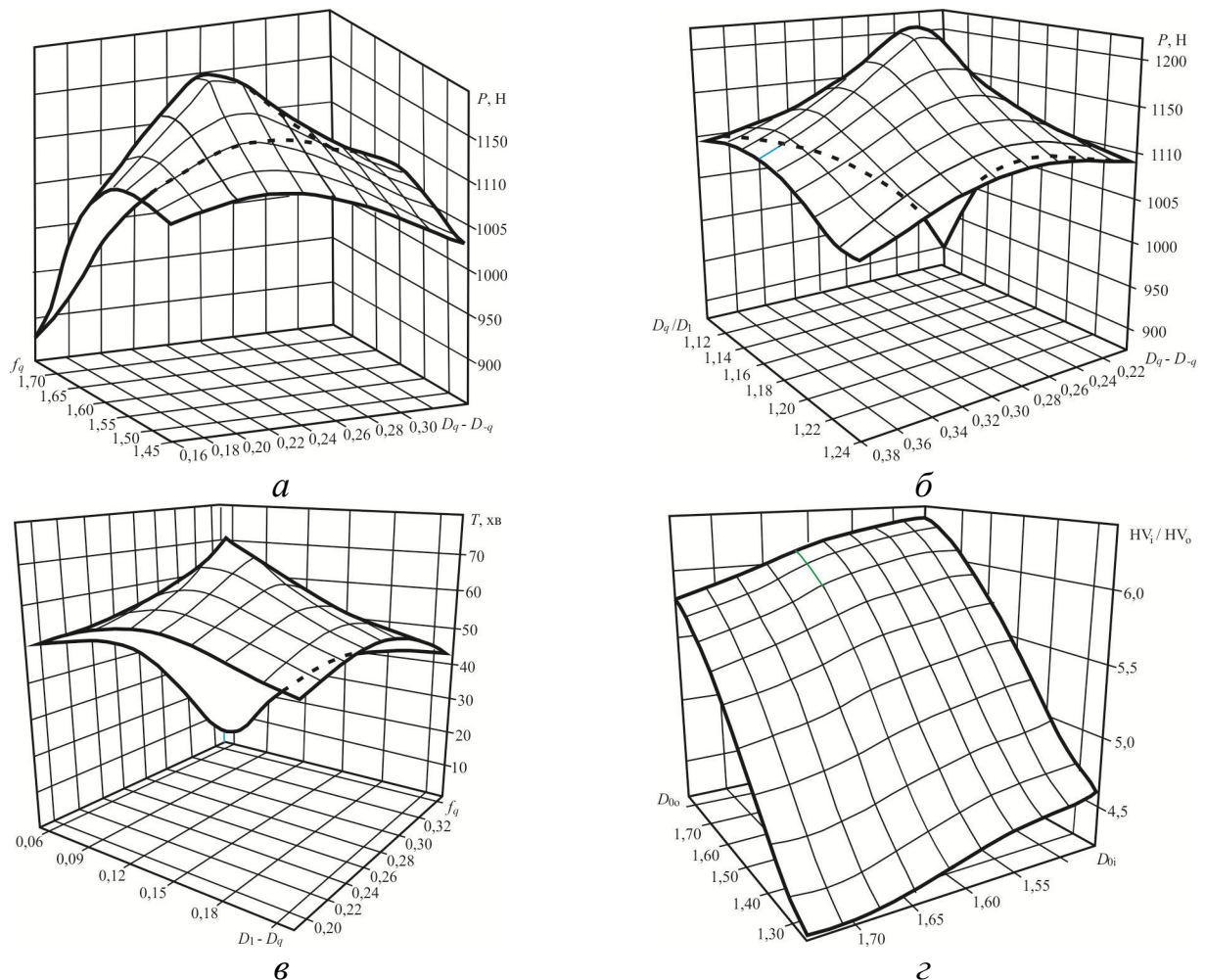


Рис. 1 – Залежність між руйнівним навантаженням, показником межі порушення симетрії структури та однорідністю структури (а), руйнівним навантаженням, ступенем адаптивності та показником межі порушення симетрії структури (б), часом до появи тріщин під час циклічного навантажування, показником прихованої впорядкованості структури та ступенем однорідності структури (в), співвідношенням твердості інструментального й оброблюваного матеріалів і показниками розмірності Гаусдорфа-Безиковича (г)

Аналіз отриманих даних свідчить про те, що зі збільшенням значень фрактальних параметрів однорідності (f_q) і упорядкованості ($\Delta_q = |D_1 - D_q|$) структури і зменшенням значення фрактальної розмірності D_0 збільшується зносостійкість твердих сплавів при точінні залізовуглецевих сплавів. Між швидкістю зношування інструменту (i , мкм/хв) і параметрами структури твердого сплаву установлені залежності:

$i = 0,1D_0^{5,3}$; $i = 1,24D_0 - 1,22$; $i = 1,82 - 0,35f_q$; $i = 1,26 - 1,9\Delta_q$
з коефіцієнтами кореляції 0,84, 0,74, 0,73 відповідно.

Отримані результати досліджень показують, що для забезпечення потрібних експлуатаційних властивостей існує оптимальна структура твердого сплаву, показники якої характеризуються комплексом фрактальних параметрів. Експлуатаційна перебудова структури матеріалу, що характеризується зміною показників їхньої структури, пов'язана з наявним механізмом дисипації енергії, зокрема появою мікротріщин, скупчень дислокацій і, зрештою, руйнуванням.

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

ІНСТРУМЕНТИ ДЛЯ ЕФЕКТИВНОЇ ОБРОБКИ ВАЖКООБРОБЛЮВАНИХ МАТЕРІАЛІВ В УМОВАХ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

В промисловому виробництві більшість операції при механічній обробці різанням характеризується нерівномірним припуском і, як наслідок, нестаціонарністю термобаричного навантаження на різальний інструмент. Крім того, обробка значної кількості виробів з конструктивними елементами – пазами, фасками, зубчасті вінці, стінки корпусів та формуючи поверхні штампів, супроводжується ударами на контактних ділянках інструменту. Обробка різанням таких виробів, особливо у випадках коли вони виготовляються з важкооброблюваних матеріалів високої твердості (50–65 HRC), пов'язана з руйнуванням або прискореним виходом інструменту з ладу внаслідок різких змін величини навантаження. Контактні тиски при різанні таких матеріалів досягають 3400–4800 Н/мм², а при наявності імпульсного навантаження вони зростають до двох разів, що обумовлює руйнування інструменту.

Висока твердість, динамічні навантаження та триботермоактивована взаємодія матеріалу інструменту з оброблюваним вимагають оснащення інструментів надтвердими композитами на основі кубічного нітриду бору (ПКНБ) – найбільш ефективними інструментальними матеріалами за даних умов.

Композити ПКНБ характеризуються унікальним набором властивостей, а саме термостійкістю до температур 1100–1200 °С, твердістю 32–40 ГПа, міцністю під час розтягування та стискання до 1000 та 4000 МПа відповідно, теплопровідністю 60–150 Вт/мК, відносно низь-

ким рівнем адгезійної взаємодії та коефіцієнтом тертя з конструкційними залізобетонними сплавами. Це забезпечує високу працездатність різальним інструментам, оснащеним ПКНБ. Але ефективне застосування таких інструментів в умовах ударного навантаження потребує вирішення питань подальшого збільшення фізико-механічних властивостей надтвердих композитів та інтенсифікації режимів обробки, а саме збільшення швидкості різання.

Серед напрямків удосконалення ПКНБ є оптимізація розподу в їх структурі керамічних включень. Це можливо з використанням вихідних зерен надтвердої фази із CVD-покриттям TiN-TiB₂ товщиною до 50 нм. Подальше спікання таких порошків за технологією *hp-ht* дозволяє сформувати ПКНБ з фізико-механічними властивостями, які на 30% перевищують властивості композитів, отриманих з шихти того ж хімічного складу та з зернами КНБ таких самих розмірів.

За рахунок формування нанорозмірної, рівномірно розподіленої матричної структури з високим значенням показників міжфазної взаємодії на границях «зерна cBN-керамічна матриця» досягається збільшення границі міцності під час згинання зразків надтвердого композиту, що дозволяє виконувати оснащеними ними інструментами обробку в умовах динамічних навантажень одночасно забезпечуючи головну перевагу інструментів з ПКНБ групи VL – високу стійкість при термотрибоактивованій хімічній взаємодії під час обробці з високими швидкостями різання.

Крім використання ПКНБ з високими фізико-механічними властивостями працездатність різальних інструментів в умовах дії динамічних навантажень багато у чому залежить від використаної схеми різання і режимів різання. Суттєво підвищити строк роботи інструменту можна за рахунок оптимізації кута нахилу різальної кромки, що сприяє зменшенню величини ударного імпульсу, діючого на інструмент, зниженню негативного впливу на його стійкість явищ, що супроводжують врізання та вихід леза з контакту з оброблюваним матеріалом при переривчастій обробці.

Наявність кута нахилу різальної кромки змінює параметри перетину зрізаного шару – площа контактуючих поверхонь в момент удару суттєво знижується, а крива, яка характеризує залежність миттєвої сили різання від часу має менший нахил по відношенню до осі ординат, в результаті при однаковій величині сумарної роботи сили різання, робота на ділянках врізання та виходу інструменту із контакту з виробом суттєво зменшується. У результаті, наприклад, для однокромочного різця з ПКНБ [1] із кутом нахилу різальної кромки 30–50° ві-

рогідність виходу з ладу внаслідок удару прід час оброблення валу з загартованої сталі знижується на 60%.

Література

1. Klimenko, S.A. Hard “Skiving” Turning / S.A. Klimenko, A.S. Manokhin // J. of Superhard Mat. – 2009. – Vol. 31, No 1. – P 42–55.

Коваленко І.А. Інститут надтвердих матеріалів
ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ

ВЗАЄМОДІЯ КУБІЧНОГО НІТРИДУ БОРУ З ВІЛЬНИМ ВУГЛЕЦЕМ В СТРУКТУРІ ОБРОБЛЮВАНОВОГО ЧАВУНУ

Обробка виробів з чавуну інструментами на основі кубічного нітриду бору (КНБ) дозволяє значно підвищити продуктивність виробництва та якість оброблюваних поверхонь. Незважаючи на унікальне поєднання високої твердості, теплостійкості та відносної хімічної інертності КНБ по відношенню до заліза, інтенсивний знос інструменту залишається основною проблемою, що обмежує економічну ефективність процесу [1]. Складність прогнозування стійкості інструменту обумовлена багатofакторним характером контактної взаємодії в зоні оброблення, де поряд зі зношуванням, обумовленим абразивною та адгезійною дією оброблюваного матеріалу, істотну роль відіграють фізико-хімічні процеси. Наприклад, вуглець, що міститься в структурі чавуну у вигляді графіту, при високих температурах та тисках у зоні різання стає активним хімічним агентом.

Мета цього дослідження – визначити основні фізико-хімічні механізми взаємодії інструменту з кубічного нітриду бору з графітом, присутнім у чавуні, в умовах високошвидкісної обробки, та дослідити його вплив на інтенсивність зношування різального інструменту.

Для досягнення поставленої мети розглядалися наступні ефекти:

- з врахуванням результатів аналізу діаграми стану систем Fe–C–B [2] та даних про термодинамічні властивості КНБ при високих температурах та тисках розглянуто оцінку термодинамічної стабільності КНБ та визначена ймовірність перебігу хімічних реакцій між компонентами інструменту (B, N) та вуглецем [3];
- застосовано модель дифузійного розчинення для опису масопереносу атомів бору та азоту в матеріал стружки та виробу; [4, 1]; при

досягненні критичних температур, що викликають структурно-фазові перетворення в поверхневих шарах матеріалу інструменту [5], активізуються дифузійні процеси, що призводить до інтенсифікації зношування інструменту;

- систематизовано результати з трибохімічного зношування надтвердих матеріалів [6] та структурно-фазових перетворень у поверхневих шарах при інтенсивному трибологічному контакті.
- для умов високих температур (понад 900 °С) та тиску, характерних для зони різання, розглянута часткова дисоціація кубічного нітриду бору; при цьому і вуглець, що знаходиться в контакті з інструментом, виявляє високу хімічну спорідненість до бору, що обумовлює можливість перебігу реакцій з утворенням карбідів бору (B_4C) на контактних ділянках, що призводить до хімічної ерозії інструменту [2];
- характер і інтенсивність взаємодії в зоні різання безпосередньо залежить від структури чавуну: – при обробці сірих чавунів з пластинчастим або кулястим графітом, вільний вуглець виступає як активний реагент у хімічних процесах на кромці інструменту [5]; –при різанні вибілених чавунів, де вуглець переважно пов'язаний з цементом, переважає абразивний знос твердими карбідними фазами.

Відповідно до фундаментальних положень трибології [7], знос інструменту при різанні слід розглядати як складний синергетичний процес, що включає одночасну дію кількох механізмів: абразивного, адгезійного та хімічного. Локалізація високих тисків і температур на різальній кромці створює умови для інтенсифікації цих процесів та їхнього взаємного впливу, що не дозволяє зводити загальну картину зносу тільки до одного домінуючого фактора.

Висновки. Взаємодія інструменту з кубічного нітриду бору з вуглецем в чавуні носить складний, комплексний характер, що включає як механічні (абразивні), так і фізико-хімічні (дифузійні, хімічні реакції) процеси. Домінування того чи іншого механізму визначається температурою в зоні різання, швидкістю обробки і, значною мірою, формою присутності вуглецю в структурі чавуну, що обробляється. Розуміння цих механізмів дозволяє прогнозувати зношування та розробляти рекомендації щодо вибору оптимальних марок КНБ та режимів різання для підвищення стійкості інструменту.

Література

1. Trent, E.M. Metal Cutting / E.M. Trent, P.K. Wright. – Butterworth-Heinemann, 2000. – 464 p.

2. Давидова, І.Г. Термодинамічний аналіз взаємодії в системі Fe-C-B / І.Г. Давидова, М.Ф. Жоровков // Вісті вищих навчальних закладів. Чорна металургія. – 2012. – № 5. – С. 7–10.

3. Верещагін Л.Ф. Термодинамічні властивості кубічного нітриду бору в широкому інтервалі температур і тисків / Л.Ф. Верещагін, Є.Н. Яковлев, Л.М. Бучнев та ін. // Теплофізика високих температур. – 1977. – Т. 15, № 2. – С. 316–321.

4. Kramer, B.M. Tool Wear by Solution: A Quantitative Understanding / B.M. Kramer, N.P. Suh // J. of Eng. for Ind. – 1980. – Vol. 102(4). – P. 303–309.

5. Grigorescu, S. Study on Wear Behavior of CBN Tools when Hard Turning / S. Grigorescu, M. Gheti // Mat. Sci. Forum. – 2011. – Vol. 672. – P. 201–206.

6. Zou, Y. Tribochemical wear of PCBN cutting tools під час high-speed machining of hardened steel / Y. Zou, J. Zhou, J. Deng // Trib. Inter. – 2008. – Vol. 41(1). – P. 54–60.

7. Костецький, Б.І. Тертя, мастило та знос у машинах / Б.І. Костецький, І.Г. Носовський, Л.І. Бершадський. – Київ : Техніка, 1970. – 396 с.

*Ковальов В.Д., Васильченко Я.В., Клименко Г.П.,
Шаповалов М.В. Донбаська державна машинобудівна
академія, Краматорськ*

АГРЕГАТНО-МОДУЛЬНІ ПРИНЦИПИ СТВОРЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ НОВИХ ВАЖКИХ ВЕРСТАТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ БАЗИ ЗНАТЬ: СТАНДАРТИЗАЦІЯ ТА ІННОВАЦІЇ

Серед найбільш значимих масштабних проблем, які натеper постали перед Україною, – виклики у сфері забезпечення обороноздатності та енергетичної безпеки. Розробка та впровадження інноваційних технологій, адаптованих до умов і потреб країни, є стратегічно важливим напрямом розвитку. Його реалізація можлива лише за умови високої наукової обґрунтованості, ефективності, раціонального ресурсного забезпечення та, найголовніше, уніфікації й стандартизації технічних рішень.

У контексті розвитку важкого машинобудування в Україні дослідницьким колективом ДДМА обґрунтовано, розроблено та впроваджено комплекс обладнання для обробки крупногабаритних деталей оборонного та енергетичного призначення. Особливістю підходу є використання агрегатно-модульного принципу, що дозволяє створювати гнучкі, адаптивні конструкції з високим ступенем уніфікації (рис. 1,2).

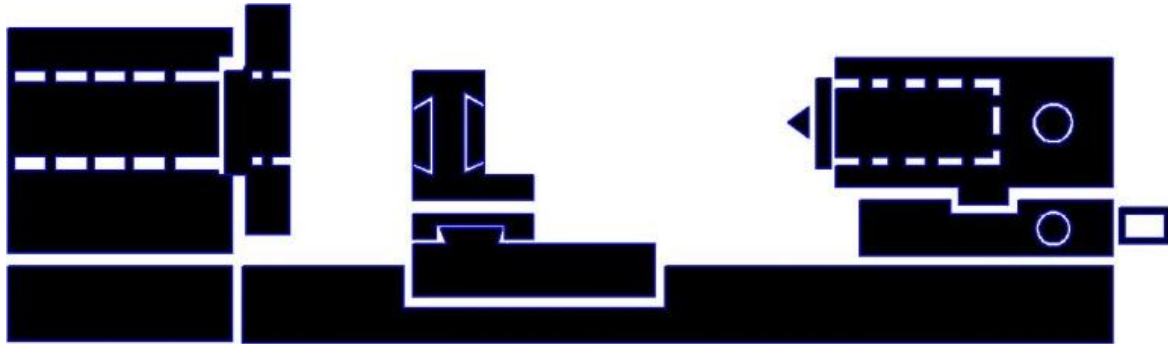


Рис. 1 – Головний вид важкого токарного верстата базової конструкції

Ключовою умовою ефективності таких технологічних систем виступає стандартизація модулів та їх взаємодії, що забезпечує сумісність, зменшує витрати на виробництво та технічне обслуговування, сприяє скороченню термінів розробки обладнання. Відповідність елементів розроблюваної системи стандартам та галузевим технічним вимогам значно підвищує їх якість, надійність і конкурентоспроможність.

Розроблено структуру бази знань для автоматизованого проектування, що включає каталог модулів із вказаними рівнями уніфікації (від 20 до 70%) і характеристиками якості обробки. Удосконалено методику математичного моделювання проектування з урахуванням технічних стандартів та проведено експериментальні дослідження довговічності й надійності критичних вузлів.

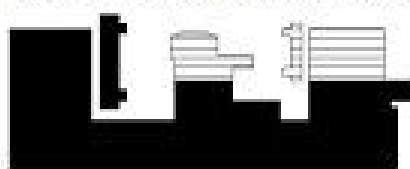
Методика дослідження включала етапи створення та тестування бази знань, формування модульного каталогу, математичне моделювання процесу проектування з урахуванням технічних та експлуатаційних вимог. Було проведено аналіз конструкцій різних модифікацій, визначено оптимальні комбінації модулів, а також виконано серію експериментів для вивчення довговічності та надійності вузлів обладнання.

Перевагами модульного принципу проектування є: скорочення термінів розробки нових конструкцій, підвищення технологічності виготовлення, спрощення технічного обслуговування, зменшення витрат на розробку, розширення можливостей для масштабування та адаптації обладнання до специфічних умов експлуатації.

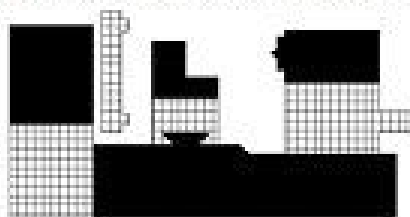
Розточувальний верстат



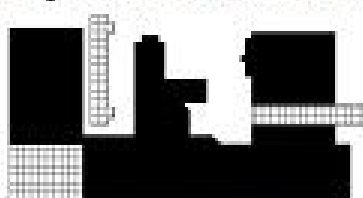
Спеціальний токарний верстат



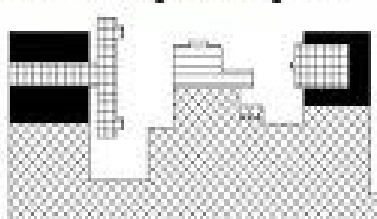
Верстат збільшеного діаметру



Верстат збільшеною вантажопідйомністю



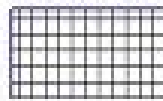
Лоботокарний верстат



Базовий модуль уніфікація



Модифікація



базового модуля
уніфікація 70%

Спеціалізовані модулі



уніфікація 50-70%

Спеціальні модулі



уніфікація 40%

Оригінальні виконання



уніфікація 20%

Рис. 2 – Модульний принцип побудови гами важких токарних верстатів

Таким чином поєднання принципів стандартизації, уніфікації та модульності є основою сучасного підходу до створення високоефективного обладнання у важкому машинобудуванні, що відповідає актуальним потребам оборонного та енергетичного секторів України.

Комарова Г.Л. Український державний університет залізничного транспорту, Харків,
Приміський І.В. Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Київ,
Лалазарова Н.О. Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

ІНСТИТУЦІЙНІ ПЕРЕДУМОВИ, БАР'ЄРИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ СТАНДАРТУ ДСТУ ISO 9001 У СИСТЕМУ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ОСВІТИ

Проблематика забезпечення якості вищої освіти в Україні дедалі більше актуалізується в умовах глобалізації, цифровізації та інтеграції у європейський освітній простір. Поряд із зовнішніми механізмами забезпечення якості, які регламентуються Законом України «Про вищу освіту» та діяльністю Національного агентства із забезпечення якості вищої освіти (НАЗЯВО), зростає потреба у впровадженні дієвих внутрішніх систем управління якістю. Одним з найбільш визнаних міжнародних інструментів у цій сфері є стандарт ISO 9001, який в Україні застосовується у формі національного стандарту ДСТУ ISO 9001:2015.

На відміну від традиційних підходів до забезпечення якості, що базуються на контролі виконання нормативних вимог, ДСТУ ISO 9001 орієнтує організацію на системне управління процесами, що ґрунтується на принципах постійного вдосконалення, управління ризиками, лідерства та орієнтації на споживача. У контексті закладу вищої освіти таким «споживачем» виступають як здобувачі освіти, так і роботодавці, держава, міжнародні партнери та суспільство в цілому.

Впровадження СУЯ за стандартом ДСТУ ISO 9001 вимагає не просто формальної сертифікації, а глибокої трансформації управлінської культури університету, переосмислення ролі адміністративного персоналу, академічного складу та студентів у формуванні й підтриманні якості освітнього процесу. Йдеться про зміну філософії управління: від централізованого контролю до процесного підходу, що передбачає чітке визначення вхідних і вихідних параметрів кожного процесу, взаємозв'язок між ними, а також механізми моніторингу, оцінювання та вдосконалення. На прикладі Українського державного університету залізничного транспорту (УкрДУЗТ) можна проаналізувати реальний стан готовності класичного галузевого закладу до запровадження вимог ДСТУ ISO 9001. УкрДУЗТ має значний науково-педагогічний потенціал, тісно співпрацює з транспортними підприємствами України, здійс-

нює підготовку кадрів для критично важливої галузі національної економіки. Однак наразі в університеті відсутня впроваджена та сертифікована система управління якістю, побудована за принципами ISO 9001.

Наявна система внутрішнього забезпечення якості освітньої діяльності, що базується переважно на вимогах стандартів вищої освіти та внутрішніх положеннях, не дозволяє у повній мірі досягти процесної прозорості, відповідальності та орієнтації на результат. Зокрема, спостерігається фрагментарність процедур зворотного зв'язку зі стейкхолдерами, нерівномірний рівень автоматизації управлінських функцій, відсутність уніфікованої системи внутрішніх аудитів та регулярної оцінки ризиків, пов'язаних із невідповідністю освітніх процесів стратегічним цілям університету.

Аналіз наукових джерел і практичного досвіду інших ЗВО свідчить, що впровадження СУЯ на основі ДСТУ ISO 9001 надає університету низку стратегічних переваг: формування довгострокових цілей і показників ефективності, підвищення репутації на ринку освітніх послуг, зміцнення партнерських зв'язків, поліпшення умов для академічної мобільності та залучення зовнішнього фінансування, зокрема у межах міжнародних програм. Крім того, ISO-підхід дозволяє синхронізувати освітні, адміністративні та дослідницькі процеси, забезпечуючи цілісність і взаємоузгодженість стратегічного розвитку університету.

Особливу увагу варто приділити організаційно-психологічним бар'єрам впровадження СУЯ в УкрДУЗТ. Ідеться про відсутність мотивації персоналу до змін, інерційність управлінських структур, слабку комунікацію між підрозділами та недостатній рівень підготовки працівників у сфері менеджменту якості. Таким чином, першим етапом на шляху впровадження СУЯ має стати формування внутрішньої культури якості, що охоплює цінності прозорості, відповідальності, інноваційності та взаємоповаги. Необхідним є проведення системних тренінгів, воркшопів, залучення зовнішніх консультантів, формування ініціативної групи з числа керівників структурних підрозділів.

З методологічної точки зору, впровадження СУЯ в УкрДУЗТ доцільно реалізовувати поетапно: від проведення діагностичного аудиту та розроблення політики в сфері якості – до моделювання ключових процесів, створення документації, запровадження системи моніторингу та регулярного вдосконалення. Важливо забезпечити цифрову підтримку всіх етапів – шляхом використання ERP-рішень для управління навчальним процесом, електронних систем документообігу, онлайн-платформ для збору та аналізу зворотного зв'язку, що забезпечить прозорість, відкритість і стійкість СУЯ.

Слід також врахувати особливості освітньої галузі, які відрізняють її від виробничого або сервісного сектору, де ISO 9001 вже давно застосовується. В освітньому середовищі цінність продукту – знань, компетентностей, світогляду – є менш формалізованою, а вплив людського чинника – набагато вищим. Тому стандартизація має поєднуватися з гнучкістю, а управління якістю – із збереженням академічної свободи. Це вимагає від адміністрації університету здатності до адаптивного управління та інституційного лідерства.

В умовах воєнного стану та обмежених ресурсів впровадження СУЯ може стати не лише інструментом виживання, а й механізмом стратегічного відновлення та зростання. УкрДУЗТ, як транспортний ЗВО, що забезпечує кадрову безпеку країни, має потенціал стати прикладом для інших галузевих університетів, формуючи нову управлінську культуру – культуру якості, орієнтовану на стейкхолдерів, ефективність і стійкий розвиток.

Отже, впровадження СУЯ відповідно до ДСТУ ISO 9001 в УкрДУЗТ є не лише бажаною ініціативою, а й об'єктивною необхідністю. Це дозволить перейти від ситуативного управління освітнім процесом до стратегічного, від реактивного реагування на проблеми – до проактивного формування майбутнього університету. Системне застосування підходів, закладених у стандарті, відкриває шлях до підвищення якості освіти, формування довіри, зростання міжнародної репутації та інтеграції в глобальний освітній простір.

*Комарова Г.Л., Харченко Б-А.О. Український державний університет залізничного транспорту,
Сергєєв Д.М. ПНВП МІКРОТЕХ, Харків,
Крамаренко С.Б. Міжгалузева науково-дослідна установа цифровізації та технологій штучного інтелекту, Київ*

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА ЧЕРЕЗ МОТИВАЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ

У сучасних умовах глобалізації, зростаючої конкуренції та необхідності забезпечення сталого розвитку підприємств першорядного значення набуває питання якості управління всіма процесами. Висока якість у сфері виробництва та обслуговування неможлива без належ-

ного управління людськими ресурсами, адже саме працівники формують кінцевий результат діяльності підприємства. Від рівня їхньої мотивації, професійної відповідальності та залученості залежить якість продукції, безпека технологічних процесів і стабільність функціонування організації. У цьому контексті надзвичайно актуальним стає впровадження мотиваційного моніторингу – інструменту, який доцільно розглядати як методичну складову системи управління якістю (СУЯ).

Суть мотиваційного моніторингу полягає у безперервному зборі, аналізі та оцінюванні інформації щодо рівня задоволеності працівників, їх професійної активності, очікувань і впливу мотиваційних факторів на результати діяльності підприємства. Упровадження цього інструменту забезпечує виконання одного з базових принципів СУЯ – орієнтації на персонал, що передбачений міжнародним стандартом ISO 9001:2015 «Системи управління якістю. Вимоги» [1, 2]. Мотиваційний моніторинг виступає механізмом підтримання стійкої якості процесів, оскільки дозволяє швидко виявляти відхилення, попереджати ризики і формувати коригуючі дії, спрямовані на вдосконалення системи стимулювання та підвищення ефективності роботи персоналу.

Методичні засади впровадження мотиваційного моніторингу базуються на інтеграції цього інструменту у замкнутий управлінський цикл «планування – контроль – аналіз – коригування». На етапі планування визначаються ключові показники ефективності (КРІ), які інтегрують стратегічні цілі підприємства із потребами його працівників. Це забезпечує узгодженість системи управління якістю з людським фактором, що традиційно вважається найбільш складним у регулюванні. Далі формується інформаційна база – результати анкетувань, експертних оцінок, HR-статистика, соціометричні дослідження. Отримані дані піддаються аналізу відповідності запланованим значенням, що дозволяє ідентифікувати диспропорції у мотиваційній системі та визначити критичні точки, які можуть впливати на якість виробничих і управлінських процесів. Важливим етапом є організація зворотного зв'язку з персоналом, що забезпечує принцип відкритості СУЯ та створює підґрунтя для постійного вдосконалення. Завершальною фазою виступає розробка та реалізація коригуючих дій, які спрямовані на покращення системи стимулювання та підвищення якості трудових результатів.

Практичне значення мотиваційного моніторингу проявляється у двох взаємопов'язаних площинах: економічній та якісно-соціальній. В економічному аспекті його результати сприяють зниженню витрат,

пов'язаних із плинністю кадрів, підвищенню продуктивності праці, оптимізації використання ресурсів. У соціальному та якісному аспекті – забезпечують зростання рівня задоволеності роботою, підвищення лояльності й залученості, формування корпоративної культури якості та розвиток внутрішньої відповідальності. Таким чином, мотиваційний моніторинг не лише покращує якість роботи персоналу, а й безпосередньо підсилює якість системи управління в цілому, роблячи її більш гнучкою, прозорою та орієнтованою на довгострокові результати.

Застосування запропонованих методичних засад було апробовано на прикладі Харківської міської філії ТОВ «Газорозподільні мережі України». Для підприємств газорозподільної галузі, де якість роботи персоналу безпосередньо впливає на безпеку та стабільність енергопостачання, впровадження мотиваційного моніторингу є особливо доцільним. Він дозволяє не лише підвищити результативність діяльності працівників, а й сформувати культуру відповідальності та професійної надійності, що є критично важливими для стратегічного розвитку компанії.

Таким чином, мотиваційний моніторинг доцільно розглядати не як допоміжний HR-інструмент, а як невід'ємний елемент системи управління якістю, спрямований на підвищення надійності, результативності та конкурентоспроможності підприємства. Його впровадження забезпечує не лише економічну ефективність, а й системне підвищення якості управління, дозволяє формувати довгострокові конкурентні переваги та закладає основу для сталого розвитку організації в умовах мінливого зовнішнього середовища. З позицій концепції Total Quality Management (TQM) [3], мотиваційний моніторинг можна розглядати як дієвий інструмент реалізації принципу «залучення персоналу» та створення культури безперервного вдосконалення.

Література

1. ISO 9001:2015 Quality management systems – Requirements.
2. ДСТУ ISO 9000:2015. Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 50 с.
3. Oakland J.S. Total Quality Management and Operational Excellence : Text with Cases / J.S. Oakland. – Routledge, 2014.

Кузін О.А., Бурдяк М.Р. Національний лісотехнічний університет України,
Кузін М.О. Національний університет «Львівська політехніка», Львівський науково-дослідний інститут судових експертиз, Львів

ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ДЕРЕВООБРОБНОГО ІНСТРУМЕНТУ УПРАВЛІННЯМ ПАРАМЕТРАМИ ПОВЕРХОНЬ ПОДІЛУ

Важливою проблемою отримання виробів з високою доданою вартістю в лісовій промисловості є створення і використання деревообробного інструменту із заданим життєвим циклом. Її вирішення вимагає підвищення властивостей інструментальних матеріалів за рахунок оптимізації технологічних процесів обробки. Підготовка таких процесів повинна включати в себе інформацію про параметри властивостей деталей при обробках і експлуатаційних навантаженнях, методи обчислювального матеріалознавства для одночасного конструювання матеріалів і виробів із високими параметрами надійності.

Розробка і використання таких підходів обмежується відсутністю одночасно встановлених взаємозв'язків між пошкодженістю та етапами життєвого циклу деревообробного інструменту.

При виготовленні і експлуатації виробів джерелами дефектів є границі і потрійні стики зерен, що виходять на їх зовнішні поверхні. В умовах дії знакозмінних навантажень в інструменті відбувається утворення нелокалізованих пошкоджень, в яких зароджуються мікроскопічні тріщини. В матеріалі з більшою кількістю мікроскопічних тріщин відповідного розміру розвивається магістральна тріщина [1].

Проблема встановлення причин руйнування поверхневих шарів контактуючих тіл в умовах фрикційної взаємодії має ряд особливостей. Наявність макровідхилень хвилястості, шорсткості, субшорсткості і нанощорсткості приводить до взаємодії в локальних зонах – плямах контакту, які є співрозмірними із розміром зерен інструментальних сталей. Тому існує велика ймовірність попадання в пляму контакту зерен, поверхонь їх поділу і потрійних стиків.

Під час роботи деревообробного інструменту відбувається його нагрів, який викликає дифузійні процеси, перерозподіл домішок і легувальних елементів між внутрішніми об'ємами і поверхнями поділу зерен. Поява зернограничних сегрегацій вимагає визначення їх впливу

на накопичення пошкоджень при дії навантажень, зниження пластичності, опору зношуванню, ударної в'язкості, міцності матеріалу інструменту.

Аналіз характеристик механічних властивостей граничних зон поділу з врахуванням її енергії проводили при дослідженнях деревообробного інструменту із сталей У7А, 65Г, У9А, 9ХС, 65ХВ. На відміну від традиційної схеми, отримання виробів із заданим життєвим циклом передбачає застосування методів моделювання структури, з використанням яких можна розраховувати значення її керівних параметрів, що відповідають умовам експлуатації, а також вибирати режими технологічної обробки заготовок для отримання розрахункових параметрів.

Результатами експериментального дослідження локальних об'ємів зерен, з використанням критерія схильності до міжзеренного руйнування сплавів [2] встановлено кількісні характеристики градієнта зміни мікротвердості поблизу поверхонь поділу, при яких деревообробний інструмент має низьку, стабільну і катастрофічну схильність до міжзеренного руйнування. Утворення міжзеренних пошкоджень і тріщин в деревообробному інструменті визначається хімічним складом, структурою і напружено-деформованим станом зони контактної взаємодії (рис. 1).



Рис. 1 – Фактори, що сприяють утворенню міжзеренних пошкоджень та інтеркристалітному руйнуванню сталей деревообробного інструменту

Форма зернограничних карбідів має суттєвий вплив на процеси деформації і утворення пошкоджень в сталях. В умовах зовнішнього навантаження сферичні карбіди сприяють відшаруванню по границях карбід – матриця, а пластинчастої форми – об'ємному розтріскуванню,

що підтверджується більшим вмістом легуючих елементів на міжзеренних поверхнях зломів.

Висновки. На основі визначення впливу кількісних характеристик мікроструктури і енергетичного стану поверхонь поділу на утворення міжзеренних пошкоджень і інтеркристалітне руйнування сталей проведена оптимізація технологічних режимів, що використовуються при виготовленні деревообробного інструменту для підвищення його надійності.

Література

1. Трощенко В.Т. Усталость металлов. Влияние состояния поверхности и контактного взаимодействия / В.Т. Трощенко, Г.В. Цибанев, Ю.С. Налимов. – К. : ИПП НАН Украины, 2009. – 661 с.

2. Kuzin, O. Continual description of polycrystalline systems taking into account their structure / O. Kuzin, B. Lukiyanyets, N. Kuzin // Technol. Audit and Product. Res. – 2018. – 1(45). – Н. 25–30.

*Кусий Я.М., Брухаль П.Р., Дідун Н.В.,
Марцінюк Л.В., Синенький Р.В., Ярмола М.М.*
Національний університет «Львівська політехніка», Львів

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ТА ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРІАЛУ ЗАГОТОВОК ІЗ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ З ПОЗИЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО УСПАДКОВУВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВИРОБІВ

Зростання вимог до якості продукції та зміна пріоритетів для забезпечення експлуатаційних характеристик відповідно до регламентованих показників надійності з дотриманням показників точності, якості поверхневих шарів деталей машин вимагає комплексного моніторингу фізичних процесів на всіх етапах і стадіях у їхніх життєвих циклах. Методи виробництва високоточних заготовок без або з мінімальною часткою подальшої механічної обробки, адитивні технології, технології нанесення покриттів для відновлення деталей під час їхнього виготовлення та ремонту, методи поверхневого пластичного деформування тощо інтенсивно розвиваються в різних галузях машинобудування [1, 2].

Однак обробка матеріалів різанням, незважаючи на її недоліки з позиції забезпечення концепцій сталого виробництва деталей і машин та вимог Індустрії 4,0, залишається одним із важливим методом їхнього формоутворення. Складнощі врахування усіх факторів під час обробки різанням матеріалів заготовок виробів, враховуючи неоднозначність взаємозв'язків між елементами технологічної системи «верстат – пристрій – металорізальний інструмент – заготовка (деталь)», вимагають якісного моніторингу, оцінки та аналізу фізичних процесів у рамках технологічних операцій зокрема та технологічного процесу загалом під час виготовлення машинобудівних виробів [3, 4].

Поряд з тим, проблема технології обробки Al-Si сплавів, які є одними з найважливіших серед ливарних сплавів і широко використовується (особливо в аерокосмічній та автомобільній промисловості), займає особливе місце в загальному комплексі технічних завдань, пов'язаних з підвищенням експлуатаційних характеристик деталей та забезпечення надійності машин. Al-Si сплави ідеально підходять для ефективної заміни чавуну та інших матеріалів і композитів в конструкціях машин завдяки їхній добрій ливарній здатності, стійкості до агресивних середовищ, хорошій оброблюваності різанням, хорошій зварюваності тощо. Зокрема, Al-Si сплави ідеально підходять для заміни чавунних гільз циліндрів у блоках двигунів автомобілів [5].

Метою даного наукового дослідження є аналіз прямих або опосередкованих зв'язків між шорсткістю поверхні заготовок зі Al-Si сплавів та параметрами матеріалу, які служать основними носіями спадкової інформації, для оптимізації режимів різання та забезпечення раціональної продуктивності обробки згідно з регламентованими технічними вимогами.

Нами проведено дослідження динаміки зміни параметрів шорсткості, з однієї сторони, та характеристик матеріалу заготовок – алюмінієвого сплаву АК21М2,5Н2,5 (ДСТУ 7809:2015), з іншої, для трьох альтернативних технологічних маршрутів механічної обробки, що включали попередню та фінішну фрезерну обробку при різних режимах різання для формоутворення пазів у призматичних заготовках кінцевими фрезами $\varnothing 32$ мм ($z = 4$) із швидкорізальної сталі Р6М5.

Режими різання вибрано відповідно до властивостей матеріалу і паспортних даних універсально-фрезерного верстату 676, який використано для експериментальних досліджень: для першого технологічного маршруту механічної обробки: заготовка; чорнове фрезерування: глибина різання $t = 32$ мм; ширина різання $B = 1,0$ мм; хвилинна пода-

ча $S_{XB} = 52$ мм/хв; частота обертання шпинделя $n = 410$ хв⁻¹; швидкість різання $V = 41,22$ м/хв; чистове фрезерування: $t = 32$ мм; $B = 0,5$ мм; $S_{XB} = 26$ мм/хв; $n = 315$ хв⁻¹; $V = 31,67$ м/хв; для другого технологічного маршруту механічної обробки: заготовка; напівчистове фрезерування: $t = 2$ мм; $B = 1,0$ мм; $S_{XB} = 26$ мм/хв; $n = 410$ хв⁻¹; $V = 41,22$ м/хв; чистове фрезерування: $t = 32$ мм; $B = 0,5$ мм; $S_{XB} = 26$ мм/хв; $n = 315$ хв⁻¹; $V = 31,67$ м/хв; для третього технологічного маршруту механічної обробки: заготовка; заготовка; напівчистове фрезерування: $t = 30$ мм; $B = 1,0$ мм; $S_{XB} = 13$ мм/хв; $n = 410$ хв⁻¹; $V = 38,64$ м/хв; чистове фрезерування: $t = 30$ мм; $B = 0,5$ мм; $S_{XB} = 13$ мм/хв; $n = 315$ хв⁻¹; $V = 29,69$ м/хв.

Після кожного технологічного переходу параметри шорсткості контролювали на інтерференційному профілометрі «Micron-alpha» у напрямку подачі [6].

Поряд з тим, ступінь деградації матеріалу після кожної обробки різанням оцінювали методом ЛМ-твердості за розсіюванням характеристик твердості, вимірюючи мікротвердість кулькою $\varnothing 3,175$ мм із випробувальним зусиллям 588,4 Н згідно з ISO 6508 для експериментальних досліджень. Кількість вимірювань для кожного експерименту – 40. Для забезпечення відтворюваності результатів було проведено дві серії експериментальних досліджень [7].

Отримані результати зміни параметрів шорсткості для трьох технологічних маршрутів: заготовка – попереднє (чорнове або напівчистове) – чистове фрезерування за умови постійних значень глибини різання t , ширини різання B , швидкості обертання n , швидкості різання V та зміни лише хвилинної подачі S_{XB} . без використання мастильно-охолоджувальних рідин показали неоднозначні результати. Перший технологічний маршрут, який є найпродуктивнішим, характеризується погіршенням висотних параметрів шорсткості після чорнового фрезерування при хвилинній подачі $S_{XB} = 52$ мм/хв, з покращенням параметрів шорсткості після чистового фрезерування при хвилинній подачі $S_{XB} = 26$ мм/хв. Другий технологічний маршрут, який також забезпечує високу продуктивність, характеризується практично незмінними параметрами поверхні заготовки та поверхні після чистового фрезерування, при цьому попереднє та чистове фрезерування виконуються при хвилинній подачі $S_{XB} = 26$ мм/хв. Третій технологічний маршрут, який є найменш продуктивним, передбачає почергове покращення параметрів шорсткості після відповідних переходів напівчистового та чистового фрезерування при хвилинній подачі $S_{XB} = 13$ мм/хв. Вибір мінімально можливої для виробничих умов хвилинної подачі під час

обробки заготовок із сплаву АК21М2,5Н2,5 (ДСТУ 7809:2015) є критерієм покращення параметрів висоти шорсткості після фрезерування. Технологічна успадкованість властивостей матеріалу заготовок забезпечується для всіх технологічних маршрутів шляхом послідовного покращення однорідності поверхні, з одного боку, та зменшення тенденції до деградації матеріалу, з іншого боку, після попереднього та остаточного фрезерування в технологічному ланцюжку: «структурно однорідний матеріал відправної заготовки» – «структурно однорідний матеріал заготовки деталі» – «структурно однорідний матеріал кінцевої деталі». Це підтверджується динамікою змін двох основних параметрів розробленого критерію однорідності матеріалу, зокрема, збільшенням коефіцієнтів однорідності Вейбулла (m) з 17,53 (на етапі виготовлення заготовки) до 31,79–48,44 (після чистового фрезерування для різних варіантів маршрутів) та зменшенням коефіцієнтів варіації v з 6,47% (на етапі виготовлення заготовки) до 2,34–3,58% (після чистового фрезерування для різних варіантів маршрутів), тобто в 1,81–2,77 рази відповідно. Динаміка змін показників розробленого нами критерію однорідності матеріалу для другого та третього технологічних маршрутів практично однакова, що дозволяє вибрати продуктивніший другий варіант технологічного маршруту за однакових умов. Тенденція зміни показників критерію однорідності матеріалу, пов'язаного з коефіцієнтом однорідності Вейбулла (m), є різною. Константа матеріалу A_m збільшується з 0,927 (після етапу заготівельного виробництва) до 0,958–0,972 (після чистового фрезерування для різних технологічних маршрутів), тоді як технологічна пошкоджуваність D зменшується з 0,66 (після етапу заготівельного виробництва) до 0,07–0,39 (після чистового фрезерування для різних технологічних маршрутів). Крім того, розсіювання значень константи матеріалу A_m є більшим після етапу заготівельного виробництва, зі стабілізацією показників для чистової обробки. Інтенсивність зростання технологічної пошкоджуваності J_D також зменшується з 0,66 (після етапу заготівельного виробництва) до 0,07–0,39 (після чистового фрезерування для різних технологічних маршрутів). Отримані закономірності свідчать про тенденцію до підвищення однорідності структури матеріалу після кінцевої обробки на відміну від операцій попередньої обробки, з одного боку, та дають практичні рекомендації стосовно розробки раціональних технологічних маршрутів обробки заготовок виконавчих поверхонь виробів, з іншого.

У зв'язку з проведеними дослідженнями, концепції технологічного успадкування в життєвих циклах продукції, пов'язані з вимогами Індустрії 4.0, зокрема технологічного успадкування властивостей заготовок із Al-Si сплавів під час їхньої обробки, отримали подальший розвиток.

Водночас, запропонований комплексний підхід з використанням безконтактного контролю параметрів шорсткості та неруйнівного контролю матеріалів за критерієм розсіювання твердості значно покращує диференційовані підходи до визначення мікротопології поверхні та фізико-механічних властивостей матеріалу заготовки. З одного боку, це посилює дослідження в областях параметрів шорсткості зубчастих коліс, впливу параметрів обробки на висотні характеристики шорсткості під час фрезерування ламінату та вібраційної обробки циліндричних втулок, а також технологічного успадкування хвилястості поверхні під час виготовлення підшипників тощо. З іншого боку, це розширює знання в оцінці деградації матеріалів заготовок протягом їх життєвого циклу та визначенні напружень і деформацій в матеріалознавстві та машинобудуванні, оптимізації режимів різання під час обробки заготовок із Al-Si сплавів тощо [7, 8].

Вперше наведено критерії кількісної оцінки ступеня деградації заготовок з алюмінієвих сплавів та оброблених заготовок. Розроблений підхід передбачає комплексну оцінку однорідності матеріалу поверхні або його пошкоджуваності за показниками розробленого критерію однорідності поверхні, що підсилює дослідження диференційованої оцінки ступеня деградації матеріалу за коефіцієнтом однорідності Вейбулла (m) або коефіцієнтом варіації v . Кількість показників критерію однорідності поверхні призначається залежно від регламентованих технічних вимог у життєвому циклі виробу.

Література

1. Ji, X. Challenges and Opportunities in Product Life Cycle Management in the Context of Industry 4.0 / Ji X., Abdoli S. // Proc. CIRP. – 2023. – 119. – 29–34.
2. Sharma, S. Advancements in Machining Processes Through Hybrid and Sequential Approaches S. / Sharma, T. Singh, A. Dvivedi // CRC Press. Boca Raton. – 2025. – P. 170.
3. Kumar, A. Manufacturing Strategies and Systems Technologies, Processes, and Machine Tools / A. Kumar, P. Kumar, A.K. Srivastava, L. Saharan // CRC Press, Boca Raton. – 2025. – P. 326.

4. Posinasetti, N.R. Sustainable Machining Using MQL Application of Cutting Fluids / N.R. Posinasetti, V.K. Pasam, R.S. Revuru, B. Kuriachen // CRC Press, Boca Raton. – 2024. – P. 204.

5. Neuser, M. Joining suitability of cast aluminium for self-piercing riveting / M. Neuser, F. Kappe, M. Busch, O. Grydin, M. Bobbert, M. Schaper, G. Meschut, T. Hausotte // IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. – 2021. – 1157. – 12005.

6. Filatov, Y.D. Roughness of Polished Surfaces of Optoelectronic Components Made of Polymeric Optical Materials / Y.D. Filatov, V.I. Sidorko, S.V. Sokhan', S.V. Kovalev, A.Yu. Boyarintsev, V.A. Kovalev, O.Y. Yurchyshyn / J. Superhard Mat. – 2023. – 45/ – P. 54–64.

7. Kusyi, Y. Control of the parameters of the surface layer of steel parts during their processing applying the material homogeneity criterion / Y. Kusyi, V. Stupnytskyu, Kostyuk O., O. Onysko, E. Dragašius, S. Baskutis, R. Chatys / Eksploatacja i Niezawodnosc. – 2024. – 26(3). – 187794.

8. Wagner M. A comparison of surface roughness measurement methods for gear tooth working surfaces / M. Wagner, A. Isaacson, M. Michaud, M. Bell // AGMA 2019 Fall Technical Meeting. – Amer. Gear Manufact. Ass. – 2019. – 19FTM21.

Лавріненко В.І. Інститут надтвердих матеріалів
ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ

ДО ПИТАННЯ ПОДОЛАННЯ МІФІВ ТА ХИБНИХ ПРИПУЩЕНЬ В ДОСЛІДЖЕННЯХ ПРОЦЕСІВ АЛМАЗНО- АБРАЗИВНОЇ ОБРОБКИ: ОПОСЕРЕДКОВАНІ ПІДТВЕРДЖЕННЯ У СУЧАСНИХ НАУКОВИХ ПРАЦЯХ

Свого часу в рамках проекту НАН України «Наука для всіх» якраз до 60-ти річчя Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України вийшла книга: Лавріненко В.І. Алмазно-абразивна обробка: як подолати усталені міфи / Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України. – К.: Академперіодика, 2021. – 366 с.

В книзі викладено відомості про низку усталених міфів та хибних припущень, що склалися за останні 50 років, в наукових та практичних дослідженнях процесів алмазно-абразивної обробки при застосуванні найтвердіших матеріалів (алмазів і кубічного нітриду бора). Показані шляхи подолання таких міфів, що дозволить підвищити ефе-

ктивність процесів обробки та більш реально будувати теоретичні за-
сади подальшої розробки нових процесів із застосуванням інструмен-
тів з надтвердих матеріалів.

Безумовно, кожна наукова праця міс-
тить певні суб'єктивні наукові підходи ав-
тора, які можуть викликати і деякі запереч-
чення фахівців, бо у них можуть бути свої
суб'єктивні причини для цього. Тому автор
спробував у даному повідомленні навести
низку опосередкованих підтверджень своїх
розробок, присвячених подоланню устале-
них міфів та хибних припущень, у сучасній
(за останні роки з 2021 по 2024 рр.) закор-
донній науковій літературі.

Абразивні зерна з надтвердих матеріа-
лів (НТМ) мають певну протяжність у прос-
торі і є переважно еліпсоїдами обертання. А раз так, то вони в робочому
абразивному шарі повинні мати певний нахил. В книзі [1] це доведено
для різних марок і зернистостей НТМ. Разом з тим, дослідники йдуть по
спрощеному шляху і приймають алмазні зерна або у вигляді кулі, або у
вигляді рівнобедреного шестигранника [2] (рис. 1). Як наслідок, це надає
їм можливість нехтувати нахилом зерен. Між тим, таке нехтування при-
зводить до досить суттєвої похибки, адже тоді вважається, що усі зерна,
що знаходяться на ріжучій поверхні круга можуть приймати участь у
зйомі оброблюваного матеріалу. А насправді, зерна, нахилені не назу-
стріч зусиллю різання не можуть сприймати наявне навантаження і ви-
падуть із зв'язки, що і показано у сучасній статті [3] (рис. 2).

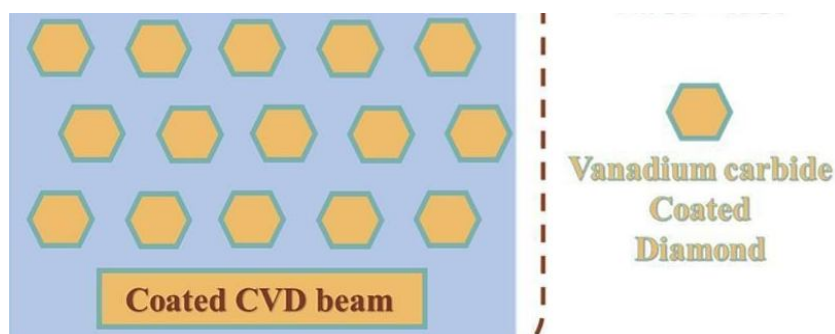
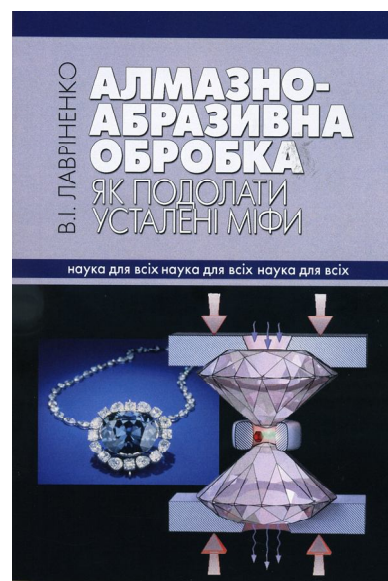


Рис. 1 – Приклади робочого шару шліфувального круга із алмазами
з покриттям із карбідом ванадію [2]

Що є наслідком такого врахування нахилу зерен? В книзі [1] вка-
зується, що реально в різанні приймають участь лише 50% зерен, роз-

ташований вертикально або з нахилом зерен назустріч зусиллю різання. Інші, нахилені не назустріч зусиллю різання, не приймають участь, оскільки випадають із зв'язки, що і показано у сучасному дослідженні [3]. Разом з тим, інше сучасне дослідження [4], присвячене розробці рейкошліфувальних кругів із зниженою теплонапруженістю шліфування враховує і просторову протяжність абразивних зерен і їх нахил в робочому шарі (рис. 3).

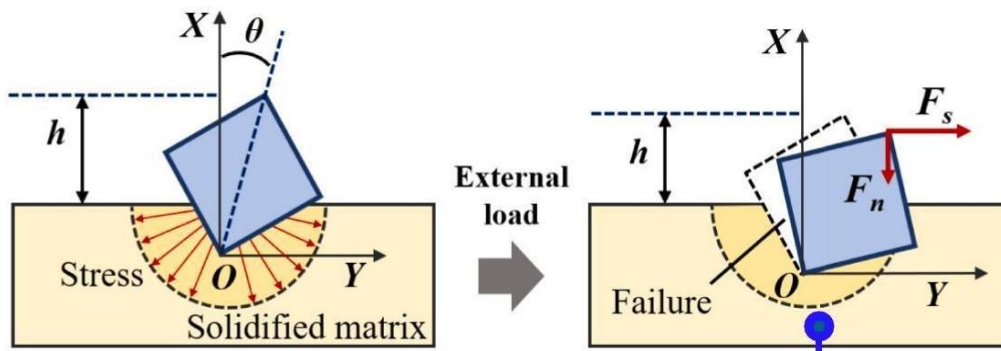


Рис. 2 – Приклади розташування зерна з нахилом в робочому шарі шліфувального круга та руйнування закріплення зерна при навантаженні [3]

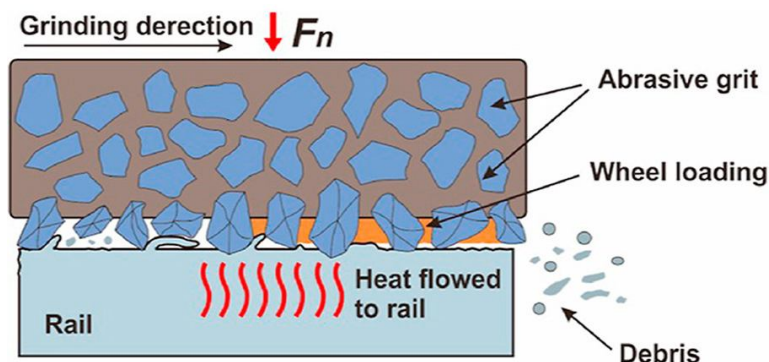


Рис. 3 – Приклад врахування нахилу абразивних зерен в робочому шарі шліфувального круга при розробці рейкошліфувальних кругів [4]

Тепер звернемо увагу на те, де саме на ріжучій поверхні круга знаходяться оті вказані нами вище просторові нахилені зерна. Існує сталий міф, що ця ріжуча поверхня шліфувального круга є пласкою, а відтак, усі зерна, що на ній знаходяться і виступають над цією поверхнею, приймають участь у шліфуванні. Вище ми вже показали, що з урахуванням нахилу зерен лише половина з них реально може прийняти у різанні. Але це не все. Насправді, у відповідності до [1], ріжуча поверхня круга при шліфуванні набуває в коловому напрямку хвилеподібного профілю, а відтак за зняття припуску відповідальним є фронт цієї хвилі. Останнього часу в публікаціях закордонних дослідників є підтвердження цього підходу. Так, в статті [5] детально досліджені характеристики зносу алмазних правлячих кругів з гальваніч-

ним покриттям, які застосовуються для прецизійної правки дугоподібних пошарових (arc-shaped) алмазних кругів. Досліджувалася топографія зносу, висота виступання алмазів, а також механізм зношування металічної матриці. Звернемо увагу (рис. 4) на те, що профіль arc-shaped алмазних кругів до правки є саме хвилеподібним (profile before truing) із підвищеним радіальним биттям. Тобто в процесі попередньої алмазної обробки алмазний круг набуває хвильового зносу, на що ми вже неодноразово звертали увагу, як на закономірний процес зношування [1]. Як бачимо і в статті [5] це підтверджується. Встановлено, що точність правки алмазних arc-shaped шліфувальних кругів можливо значно підвищити за рахунок зменшення зносу алмазних частинок гальванічного правлячого інструмента. В правлячому крузі з великою зернистістю алмазних частинок з'являється графітизація, і швидкість зносу алмазу буде прискорена. Як приклад, правлячий круг з розміром зерна D213 мкм успішно знижує погрішність радіального биття arc-shaped алмазного круга з гібридною зв'язкою від 35 до 1,9 мкм. А це вказує на те, що висота хвилі на поверхні круга при алмазній обробці складала 35 мкм [5], що вкладається в ті межі, які наведені нами в [1].

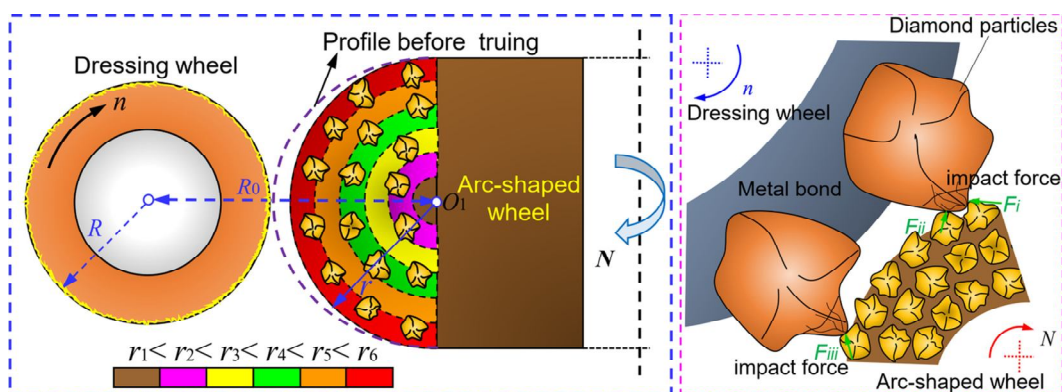


Рис. 4 – Профіль ріжучої поверхні arc-shaped алмазних кругів до правки є саме хвилеподібним (profile before truing) із підвищеним радіальним биттям [5]

Опосередковано, хвилеподібний профіль ріжучої поверхні круга ми можемо побачити і в статті [6], де запропоновано новий метод мокрого хімічного механічного шліфування (WCMG) для фінішної обробки крихкого композитного матеріалу (покриття $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$) з використанням структурованого алмазного абразиву та розчину NaOH. Але в даному випадку, автори вирішили не очікувати природного формування хвилі при шліфуванні, а створили її примусово (рис. 5).

В цій же статті є і інший цікавий момент, і цікавий саме нам з точки зору викладеного вище нахилу зерен. Зокрема, тут на основі синтезу геометрії та кінематики, механіки контакту, видалення матеріалу та

механіки руйнування вдавнення створено аналітичну модель шорсткості поверхні та тріщин зламу. При цьому автори [6] враховують наявність нахилу зерен у зоні шліфування (рис. 6).

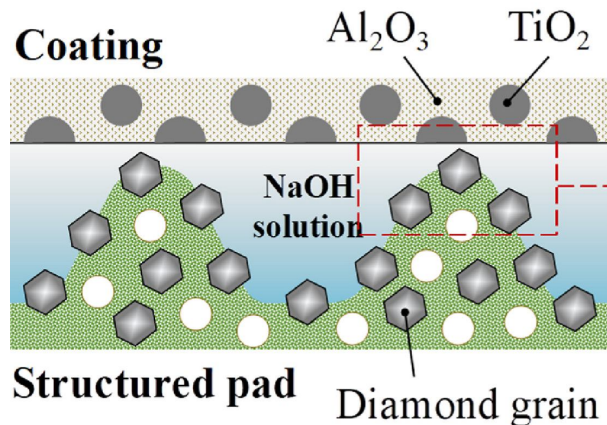


Рис. 5 – Принципова схема процесу WCMG на покритті $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$: поперечний переріз області шліфування [6]

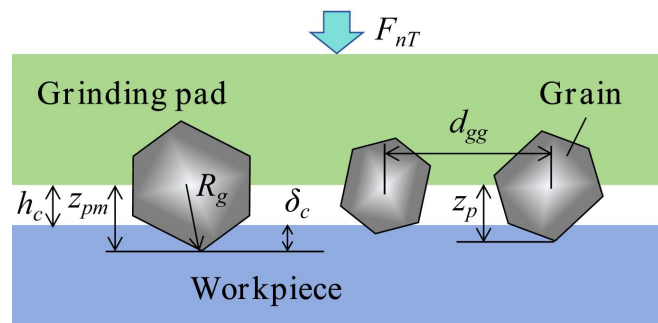


Рис. 6 – Принципова схема області шліфування аналітичної моделі з урахуванням нахилу алмазних зерен [6]

Тепер звернемо увагу на алмазні зерна на усіх наведених вище рисунках. Це монолітні зерна, наближені до монокристальних. І це є характерним для закордонних дослідників. Між тим, це, як показано в книзі [1], є міфом, адже алмазні зерна, які застосовуються у шліфувальному інструменті є у значній мірі дефектними, із порами, тріщинами і різними включеннями, що залишилися у алмазі після синтезу. Закордонні дослідники переважно раніше з цим не стикалися, адже вони застосовували в шліфувальних кругах саме гарні алмазні зерна підвищеної міцності, а щоби покращити їх утримання у зв'язуючому робочого шару шліфувального круга застосовували різне шорстке покриття. Разом з тим, практика алмазного шліфування змусила і їх останнім часом звернути увагу саме на шорсткі (дефектні) алмазні зерна, саме про які ми вже вели мову не тільки в книзі [1], а і у спеціально написаній статті про позитивні особливості дефектності алмазів для шліфувального інструменту [7]. Так, в статті [8] показано, що пористі алмази мають перспективи застосування завдяки шорсткій розвиненій повер-

хні, великому співвідношенню площі поверхні до об'єму і високій здатності до самозаточування. Повідомляється про досить простий та ефективний метод вирощування великих пористих монокристалічних алмазів міліметрового масштабу із застосуванням методів високого тиску і високої температури.

Тобто, з наведеного вище видно, що у сучасних статтях закордонних дослідників є опосередковане підтвердження раніше виконаних розробок автора [1], які присвячені подоланню усталених міфів та хибних припущень в дослідженні процесів алмазно-абразивної обробки.

Література

1. Лаврінченко В.І. Алмазно-абразивна обробка: як подолати усталені міфи / В.І. Лаврінченко. – К. : Академперіодика, 2021. – 366 с.
2. Xueqi, Wang. Enhancement of mechanical and thermal properties of diamond particles via vanadium carbide coatings / Wang Xueqi, Tu Jianbo, Liu. Baochang // *Diamond and Related Mat.* – 2024. – Vol. 148. – 111510.
3. Guo, Lei. Retention and interfacial failure mechanism of single diamond grains in resin-bonded grinding tools / Lei Guo, Jintao Song, Chen Xu, Chuqing Cao, Xiaohui Liu, Chenxiao Li, Bei Wang, Jizhuang Hui // *Diamond and Related Mat.* – 2024. – Vol. 150. – 111681.
4. Yongjie, Yuan. Porous grinding wheels toward alleviating the pre-fatigue and increasing the material removal efficiency for rail grinding / Yuan Yongjie, Zhang Wulin, Zhang Pengfei, Fan Xiaoqiang, Zhu Minhao // *Tribology Inter.* – 2021. – Vol. 154. – 106692.
5. Wang, Sheng. Wear characteristics of electroplated diamond dressing wheels used for on-machine precision truing of arc-shaped diamond wheels / Sheng Wang, Qingliang Zhao, Bing Guo // *Diamond and Related Mat.* – 2022. – Vol. 129. – 109372.
6. Weifeng, Yao. Surface roughness and fracture cracks of Al₂O₃/TiO₂ composite coating by wet chemical mechanical grinding with structured abrasives pad / Yao Weifeng, Chen Zhan, Yang Jianguo, Zhou Fenfen, Zhang Tianqi, Dong Jian, Zhang Yuhui // *J. of Mat. Res. and Technol.* – 2024. – Vol. 33. – P. 361–375.
7. Smokvyna, V. Defectiveness of low strength synthetic diamond grains : negative and positive aspects in case of using them in a grinding tool / V.V. Smokvyna, V.I. Lavrinenko, H.D. Ilnytska // *J. of Superhard Mat.* – 2023. – Vol. 45, No. 4. – P. 306–315.
8. Junpu, Wang. Porous single-crystal diamond / Wang Junpu, Su Yuzhu, Tian Yi, Xiang Xiaojun, Zhang Jiawei, Li Shuaiqi, He Duanwei // *Carbon.* – 2021. – Vol. 183. – P. 259–266.

*Лавріненко В.І., Полторацький В.Г., Смоквина В.В.,
Бологов П.І., Кошкін О.М. Білорусець В.В.* Інститут
надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ
Cherevuk O. Roycemore school, Evanston, IL, USA

МІКРО- ЧИ НАНО-: ЯКОЇ ДИСПЕРСНОСТІ ПОРОШКИ КУБІЧНОГО НІТРИДУ БОРУ БАЖАНО ЗАСТОСОВУВАТИ ДЛЯ ПОКРИТТЯ ПОВЕРХНІ ЗЕРЕН ШЛІФПОРОШКІВ АЛМАЗІВ ДЛЯ ШЛІФУВАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

В машинобудуванні порошки синтетичного алмазу невеликої міцності марок АС6–АС20 широко застосовуються в процесах механообробки, однак працездатність будь-якого алмазомісткого інструменту значною мірою визначається станом робочої поверхні зерен шліфпорошку алмазу. Одним з варіантів досягнення цього є створення зносостійкого покриття на поверхні зерен шліфпорошків синтетичного алмазу збільшеної, з вказаного вище діапазону, міцності з мікро- та нанопорошків кубічного нітриду бору та речовин з підвищеними адгезійними властивостями – неорганічних та органічних. Метою такого покриття є створення захисного бар'єру між зв'язкою та зерном для уникнення графітизації алмазу як при виготовленні, так і при застосуванні (шліфування), а також збільшення величини питомої поверхні зерен алмазу та покращення завдяки цьому надійності утримання зерен в зв'язці та створити можливість використання більш міцних, з вказаного вище діапазону, шліфпорошків синтетичного алмазу в шліфувальних кругах на полімерній зв'язці для обробки твердих сплавів. Покриття утворювалося методом рідиннофазного нанесення в процесі кристалізації або ущільнення розчинних компонентів з комбінованого розчину-суспензії. До складу покриття можуть входити порошки кубічного нітриду бору (КМ 3/2, КМ 0.5/0 або КМ нано) та оксид бору (B_2O_3), силікат натрію (Na_2SiO_3), полівініловий спирт, полівінілбутіраль фенолформальдегідний, гідролізований колаген у різних поєднаннях. В даному повідомленні нами основна увага приділена питанню: якої дисперсності порошки кубічного нітриду бору бажано застосовувати для вказаного вище покриття.

Вкажемо, що питання дисперсності нині є актуальним для сучасних дослідників. Так, метою роботи [1] було виявлення впливу розміру частинок наповнювача на реологічну поведінку, а також мікро- і макромеханічні властивості полімерно-керамічних композитів. У якості наповнювачів застосовувалися порошки гідроксіапатиту з сере-

днім розміром частинок 10 мкм і 60 нм. Виявлено, що застосування нанометричного наповнювача привело до більш бажаним механічним властивостям і поліпшеної стабільності розплаву полімеру у порівнянні з композитами, що містили мікрометричний наповнювач.

В дослідженні [2] вивчалася трибологічна поведінка композитів полієфірефіркетону (PEEK), армованих частинками карбиду кремнію (SiC) різних розмірів і концентрацій. Композити, наповнені як нано-, так і мікрочастинками SiC при різних концентраціях (2,5, 5,0, 7,5 і 10%), були оцінені на предмет їх зносостійкості і фрикційних властивостей із застосуванням трибометра «кулька на пластині». Результати засвідчили, що нанорозмірні частинки SiC забезпечують гарне зниження тертя у порівнянні з їх мікророзмірними аналогами при вмісті наповнювача 5,0–7,5%. Нанорозмірні частинки SiC поліпшують трибологічні характеристики за рахунок зниження тертя при збереженні структурної цілісності. Але збільшення вмісту SiC призвело до підвищення зносу як в мікро-, так і в наноармованих композитах з-за нестабільності продуктів зносу. Для мікророзмірних армуючих частинок SiC коефіцієнт тертя збільшується із вмістом SiC, причому більш виражені ефекти спостерігаються при більш високих концентраціях наповнювача. Тобто, нанорозмірні частинки, ймовірно, знижують тертя більш ефективно, ніж мікророзмірні, що підкреслює їх відмінні характеристики ковзання.

Повернемося до нашого питання: якої дисперсності порошки кубічного нітриду бору бажано застосовувати для покриття поверхні алмазних зерен.

Для цього нами вибрані для нанесення покриття мікропорошки КМ 3/2 та нанопорошки КМ нано. Покриття наносилися на алмазні зерна АС15 160/125 (рис. 1).

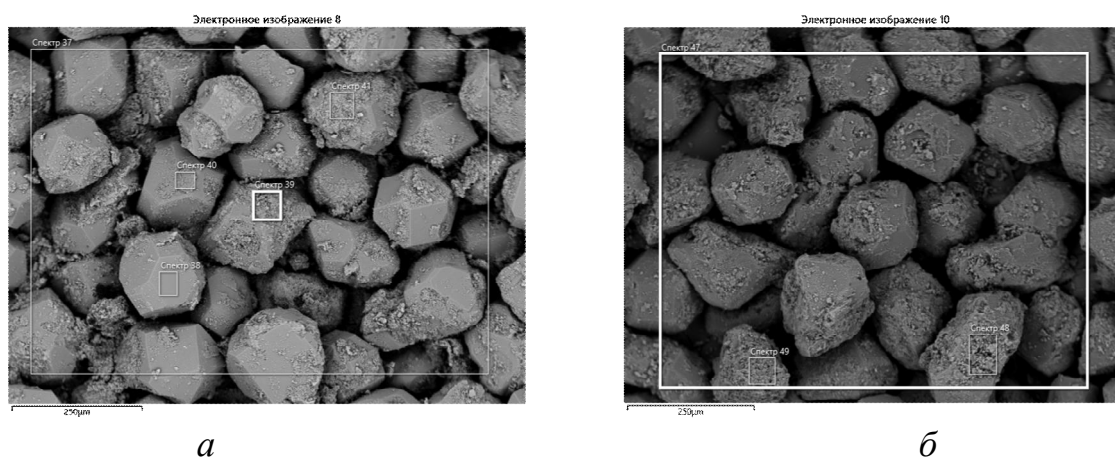


Рис. 1 – Алмазні зерна АС15 160/125 з нанесеним на їх поверхню покриттям з порошками кубічного нітриду бору: а – КМ 3/2; б – КМ нано

Ці дві групи алмазних шліфпорошків АС15 160/125, а також вихідні алмазні порошки без покриття були застосовані при виготовленні алмазних шліфувальних кругів форморозміру 12А2-45° 125×5×3×32 на полімерній зв'язці В2-08 з відносною концентрацією алмазів в робочому шарі – 100%. Для обробки був вибраний важкооброблюваний вольфрамо-кобальтовий твердий сплав марки ВК6 з розмірами зразка 63×15×7 мм. Шліфування провадилося без охолодження, щоби не вносити додаткових збурень в процес обробки. Режимми шліфування: швидкість обертання круга – 18 м/с, поперечна подача – 0,05 мм/подв. хід, повздовжня подача – 0,57 м/хв (для продуктивності обробки 200 мм³/хв) та 1,14 м/хв (для продуктивності обробки 400 мм³/хв). Оцінювалася зносостійкість шліфувального інструменту за показником відносних витрат алмазів (q) та шорсткість обробленої поверхні за показником (Ra). Результати випробувань наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Експлуатаційні показники алмазних шліфувальних кругів на полімерній зв'язці В2-08 із відносною концентрацією зерен у 100% та алмазними зернами АС15 160/125 з різним покриттям

Характеристика алмазних порошків	Продуктивність обробки			
	200 мм ³ /хв		400 мм ³ /хв	
	q , мг/г	Ra , мкм	q , мг/г	Ra , мкм
АС15 160/125 (вихідний)	5,8	0,36	13,8	0,49
АС15 160/125 (з покриттям зерен КМ 3/2)	2,8	0,60	7,7	0,64
АС15 160/125 (з покриттям зерен КМ нано)	1,6	0,39	5,2	0,55

Аналіз даних з табл. 1 дозволив встановити наступне:

1. В обох випадках нанесення покриття з кубічного нітриду бору на поверхню алмазних зерен дозволяє знизити знос алмазних кругів.
2. Встановлено, що нанесення покриття КМ нано дозволяє фактично втричі зменшити знос алмазних кругів, а КМ 3/2 – вдвічі. Тобто, у питанні нано чи мікро і для покриття з кубічного нітриду бору відповідь на боці – нано, що власне і підтверджує висновки робіт [1, 2].
3. Разом з тим, з даних таблиці видно, що в усіх випадках наявність покриття на поверхні алмазних зерен призводить до погіршення шорсткості обробленої поверхні – показник Ra зростає. Але знову ж таки, при покритті КМ нано це зростання є не таким відчутним, як при покритті КМ 3/2.

Таким чином, встановлено, що нанесення на поверхню алмазних зерен збільшеної в межах порошків марок АС6–АС20 міцності покриття з кубічного нітриду бору дозволяє відчутно підвищити зносостійкість алмазних кругів, що може бути викликано покращенням утримання у зв'язуючому таких алмазних зерен збільшеної міцності. Такий покращений алмазний інструмент може бути застосований у механообробці новітніх матеріалів, які нині використовуються у машино- та авіабудуванні, випуску пілотованої і безпілотної (дронові) техніки.

Література

1. Kryszak, Bartłomiej. Micro vs nano : influence of filler size on the rheological and mechanical properties of highly-filled PLA/HAp and PCL/HAp composites / Bartłomiej Kryszak, Aleksandra Ujčić, Veronika Gajdošová, Miroslav Šlouf, Konrad Szustakiewicz // J. of Mat. Res. and Technol. – 2025. – Vol. 37. – P. 2919–2934.

2. Delbé, Karl. Contribution of Raman analysis on tribological study of PEEK reinforced with micro or nano SiC particles / Karl Delbé, Marie Doumeng, Jean Denape, Tiphaine Mérian, Florentin Berthet, Olivier Marsan, France Chabert // Wear. – 2025. – Vol. 570. – 205927.

Лавріненко В.І., Скрябін В.В. Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ
Солод В.Ю., Гумаров О.В. Дніпровський державний технічний університет, Кам'янське

СУЧАСНІ НАПРАЦЮВАННЯ В НАПРЯМКУ РОЗРОБОК РІЗАЛЬНИХ ПЛАСТИН З ФУНКЦІОНАЛЬНИХ КЕРАМІК ДЛЯ ОБРОБКИ СУПЕРСПЛАВІВ

Протягом вже тривалого часу зростає зацікавленість дослідників у досягненні ефективною лезовою обробкою нових складнооброблюваних сплавів. В даній роботі нами зупинена увага саме на найсучасніших напрацюваннях, які є у наукових публікаціях за початок 2025 р. Вкажемо, що тут нас найбільше цікавили дослідження в напрямку розробки нових різальних пластин з функціональних керамік, а саме на чому роблять наголос нині сучасні дослідники в таких розробках.

Суперсплав GH4169 широко застосовується в аерокосмічній промисловості завдяки своїй високій питомій міцності, чудовій стійкості

до окислення при високих температурах, гарній втомній міцності і гарній міцності на повзучість. Але його висока міцність і низька теплопровідність призводять до сильного зносу інструмента і труднощів стружкодроблення в процесі токарної обробки. Це призводить до погіршення якості поверхні і значному зниженню втомної міцності. Технологія обробки із застосуванням охолоджувального змащування під високим тиском може поліпшити оброблюваність цього суперсплаву (рис. 1) [1].

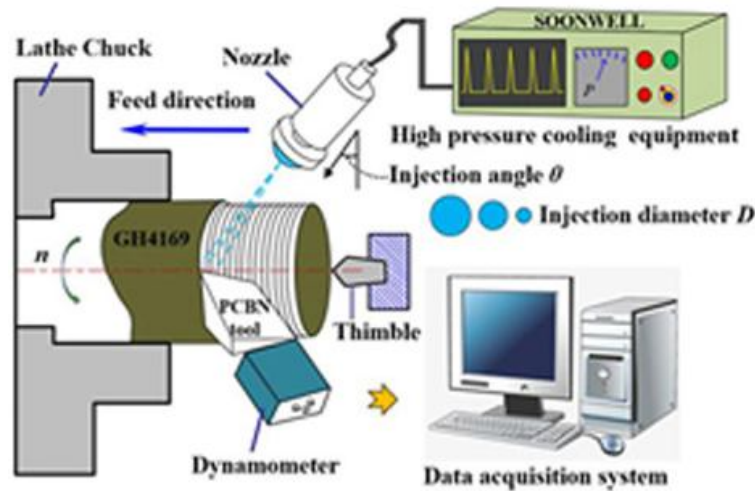


Рис. 1 – Схема технології обробки пластинами з PCNB із застосуванням охолоджувального змащування під високим тиском [1]

В роботі [1] моделювання методом скінченних елементів використане для аналізу впливу різних параметрів охолодження під високим тиском (діаметр упорскування, кут і тиск) на утворення стружки, морфологію задирок і знос інструмента під час токарної обробки інструментом з полікристалічного кубічного нітриду бора (PCBN). Результати свідчать, що сухе точіння приводить до утворення довгої спіральної стружки і значного зносу інструмента. Навпаки, охолодження під високим тиском змінює морфологію стружки з довгих на короткі спіралі, зменшує утворення задирок і зменшує знос інструмента. Оптимальні параметри включають тиск впорскування 50 бар, кут 0° і діаметр 1,6 мм, що приводить до збільшення строку служби інструмента, гарній формі стружки і зменшенню задирок.

Самозмащувальна кераміка – це передові інструментальні матеріали, що застосовуються для більш чистого виробництва в екстремальних умовах сухого різання. Але механічні властивості самозмащувальних керамічних інструментів погіршуються з-за несумісності маслянистих частинок і керамічної матриці. Крім того, поєднання механіч-

них і мастильних властивостей робить механізми змащування непередбачуваними. Для вирішення цих проблем в [2] запропоновано схему інфільтрації під високим тиском в сполученні з двоетапної підготовкою самозмащувальної кераміки (рис. 2). Пориста кераміка WC/cBN забезпечує пористий каркас з чудовими механічними властивостями і зберігає гарну твердість при покритті інфільтраційними змазками під високим тиском. Більш того, заповнення змазкою знімає поле напружень і приводить до виникнення механізму зміцнення фазового переходу. Був виявлений зв'язок між механічними властивостями і ефективністю змазки, а також був запропонований механізм зниження зносу самозмащувальної кераміки через механізм інфільтрації мастильних фаз в нанопори в екстремальних умовах. Експерименти при різанні показали, що коефіцієнт тертя керамічного інструмента знизився на 40 %, а знос інструмента знизився на 36%.



Рис. 2 – Схема формування самозмащувальної WC/cBN кераміки [2]

Відомі з літератури ламіновані керамічні матеріали зазвичай мають лінійну текстуру інтерфейсу. Разом з тим, більш цікавим є проектування і виготовлення різних інноваційних текстур інтерфейсу на інтерфейсі між гетерогенними шарами. Метою роботи [3] було дослідження механізму інноваційної інтерфейсної текстури в механізмах розповсюдження тріщин і зміцнення в біонічних керамічних різальних інструментах. При цьому, в цій кераміці Y_2O_3 та MgO є спікаючими добавками. Для того, щоби розрізняти різні шари матеріалу, зовнішній шар був названий ASS, а сусідній шар був названий A20ST. При рентгенодифракційному аналізі біонічного керамічного різального інструменту з різними текстурами інтерфейсу наявність піків Al_2O_3 , SiC , TiC та $MgAl_2O_4$ є відчутно помітним. Спостерігається, що склад матеріалів в ASS і A20ST не залежить від типу текстури інтерфейсу. Причому

нова фаза, $MgAl_2O_4$, також може бути утворена з-за нестабільності MgO при високих температурах і хімічної реакції з Al_2O_3 . Слід вказати, що SiC_w і нанофази схильні до агломерації. Для поліпшення властивостей керамічних різальних інструментів були виготовлені біонічні керамічні різальні інструменти з інноваційними інтерфейсними переплетеннями в лінійних, трикутних, квадратних і хвилювих формах (рис. 3). Вплив розподілу напружень в інноваційній інтерфейсній текстурі було досліджено і результати засвідчили, що залишкове напруження може генерувати ефект переривчастої концентрації напружень в областях піка і впадини інноваційної інтерфейсної текстури. Механізм міжфазного зміцнення показує, що інноваційні міжфазні текстури можуть значно поліпшити механічні властивості і міцність міжфазного поєднання, а також додатково поліпшити опір руйнуванню і стабільність. Міцність міжфазного з'єднання лінійних, трикутних, квадратних і хвилястих біонічних керамічних різальних інструментів складала $63,13 \pm 6,4$ МПа, $53,25 \pm 4,3$ МПа, $73,89 \pm 8,0$ МПа і $93,26 \pm 3,9$ МПа відповідно. Хвилястий біонічний керамічний інструмент демонструє оптимальні властивості з точки зору в'язкості руйнування, твердості за Віккерсом і міцності на згин зі значеннями $7,28 \pm 0,27$ МПа \cdot м $^{1/2}$, $21,53 \pm 0,21$ ГПа та $912,81 \pm 40$ МПа відповідно.

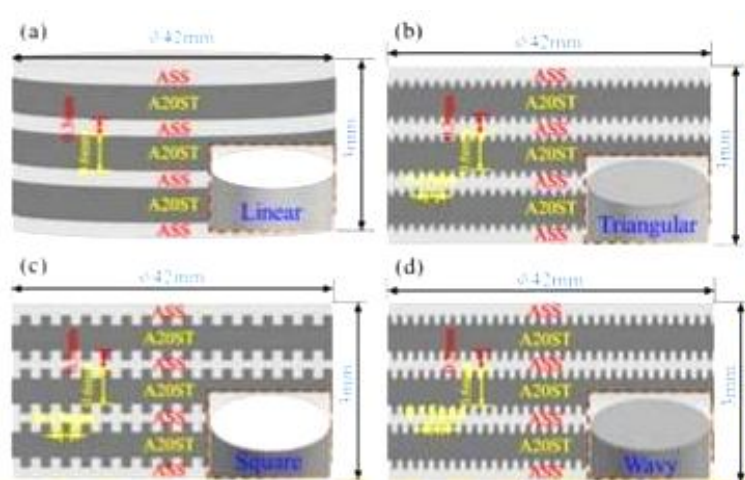


Рис. 3 – Керамічні інструменти з інноваційними інтерфейсними переплетеннями в лінійних, трикутних, квадратних і хвилювих формах [3]

В дослідженні [4] була розроблена імітаційна модель мікрорізання одним зерном sBN для матеріалів $Ti-6Al-4V$ та $In-718$. Чисельне моделювання виконане із застосуванням пірамідальної округлої форми зерна із різною орієнтацією. Порівняння середнього впливу орієнтації зернистості на пікову величину нормальної і тангенціальної сили мікрорізання, отримане за допомогою чисельного моделювання при мак-

симальній товщині стружки 10 мкм і швидкості різання 30 м/с співпало із експериментальними значеннями з похибкою 3,2 % і 2,7 % для Ti-6Al-4V та 2,2 % і 3,8 % для In-718. Похибка змодельованих результатів для питомої енергії мікрорізання склала 13,8 % для Ti-6Al-4V та 11,8 % для In-718. Питома енергія різання знизилася на 32 % при збільшенні швидкості різання у три рази (рис. 4).

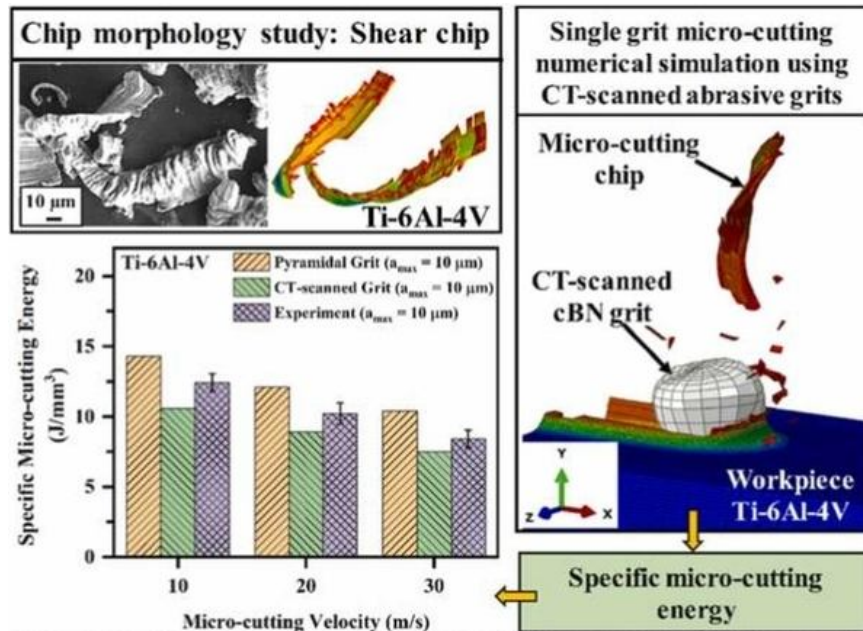


Рис. 4 – Особливості контактної взаємодії зерна cBN із сплавом Ti-6Al-4V[4]

Тобто наведене вище свідчить про те, що дослідники при розробці нових різальних керамік застосовують ефект самомастильності, шаруватості із різним типом текстури, охолодження під високим тиском та звертають увагу на орієнтацію зерна інструментального матеріалу.

Література

1. Zhang, Yali. High-pressure cooling effects on tool wear mechanism and chip formation in GH4169 superalloy turning / Yali Zhang, Quanli Zhang, Mingtao Wu, Mingyang Wu, Honghua Su // *Wear.* – Vol. 564–565. – 205675.

2. Zhang, Zhicai. High-pressure infiltration fabrication of self-lubricating ceramic tools for dry machining: Mechanistic insights into lubrication behavior and mechanical performance / Zhicai Zhang, Jiakun Wu, Chao Wang, Zhiqiang Hou, Yao Tang, Hao Li, Jiao Yang, Jun Gao, Yikan Yang, Yangbin Liu, Xiaoping Ouyang, Haikuo Wang // *J. of Mat. Proc. Technol.* – Vol. – 118801.

3. Li, Shijie FEM and experimental research on residual stress, crack propagation and toughening mechanisms of novel bionic ceramic cutting

tools / Shijie Li, Chuanzhen Huang, Hanlian Liu, Zhenyu Shi, Liang-gang Ji, Xinyao Cui, Chongzhen Du, Zhen Wang, Longhua Xu, Shui-quan Huang // Mat. Character. – 2025. – Vol. 223. – 114875.

4. Gautam, Kumar. Modelling of single grit micro-cutting of Ti-6Al-4V and In-718 with experimental validation / Kumar Gautam, Chakladar N.D. , Paul Soumitra // Tribol. Inter. – 2025. – Vol. 208. – 110661.

Лавріненко В.І. Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ
Солод В.Ю., Шпаляренко С.А. Дніпровський державний технічний університет, Кам'янське

СУЧАСНІ РОЗРОБКИ В НАПРЯМКУ ЗАСТОСУВАННЯ ВІБРАЦІЙНИХ СПОСОБІВ ЛЕЗОВОГО РІЗАННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЛЕГОВАНИХ АЛМАЗНИХ РІЗЦІВ ДЛЯ ВІБРАЦІЙНОГО ТЕКСТУРУВАННЯ

У сучасному виробництві зростає зацікавленість у досягненні ефективної лезової обробки нових складнооброблюваних сплавів. Так, наприклад, вольфрамові сплави 95W-3.5Ni-1.5Fe виготовляються методом рідкофазного спікання шляхом впровадження квазісферичних монокристалічних частинок вольфраму в пластичну матрицю твердого розчину Fe–Ni. Вони мають високу густину (16,0–18,8 г/см³), високо-температурну міцність, а також низькі показники утримання дейтерію-тритію. Тобто, це стратегічно важливі матеріали. Але властиві ним твердість, крихкість і значна фазова непомірність складають суттєві проблеми для надточної обробки. В даній роботі нами зупинена увага саме на найсучасніших напрацюваннях, які є у наукових публікаціях за початок 2025 р. Вкажемо, що тут виявився найбільше актуальним напрямком вібраційних способів лезової обробки, на чому нами і зроблений наголос.

Дослідження [1] представляє ультразвукове еліптичне вібраційне різання (UEVC) із застосуванням інструментів з твердого сплаву. UEVC накладає ультразвукову еліптичну вібрацію на кінчик інструмента для створення еліптичної траєкторії руху. Результати свідчать, що UEVC значно зменшує знос інструмента і дозволяє формувати поверхні без дефектів ($Sa = 115$ нм) у порівнянні із звичайним різанням (CC). Підповерхня характеризується однорідним нанокристалічним

шаром (глибиною біля 1000 нм, з розміром зерна від 50 до 100 нм) і більш широким розподілом дислокацій. Тобто при UEVC відбувається придушення поверхневих дефектів в процесі видалення матеріалу неперервним ультразвуковим впливом. Цей вплив сприяє розповсюдженню, руху і взаємодії дислокацій, що приводить до переходу від крихкого руйнування до пластичних режимів видалення.

Морфологія зносу інструмента з твердого сплаву представлена на рис. 1.

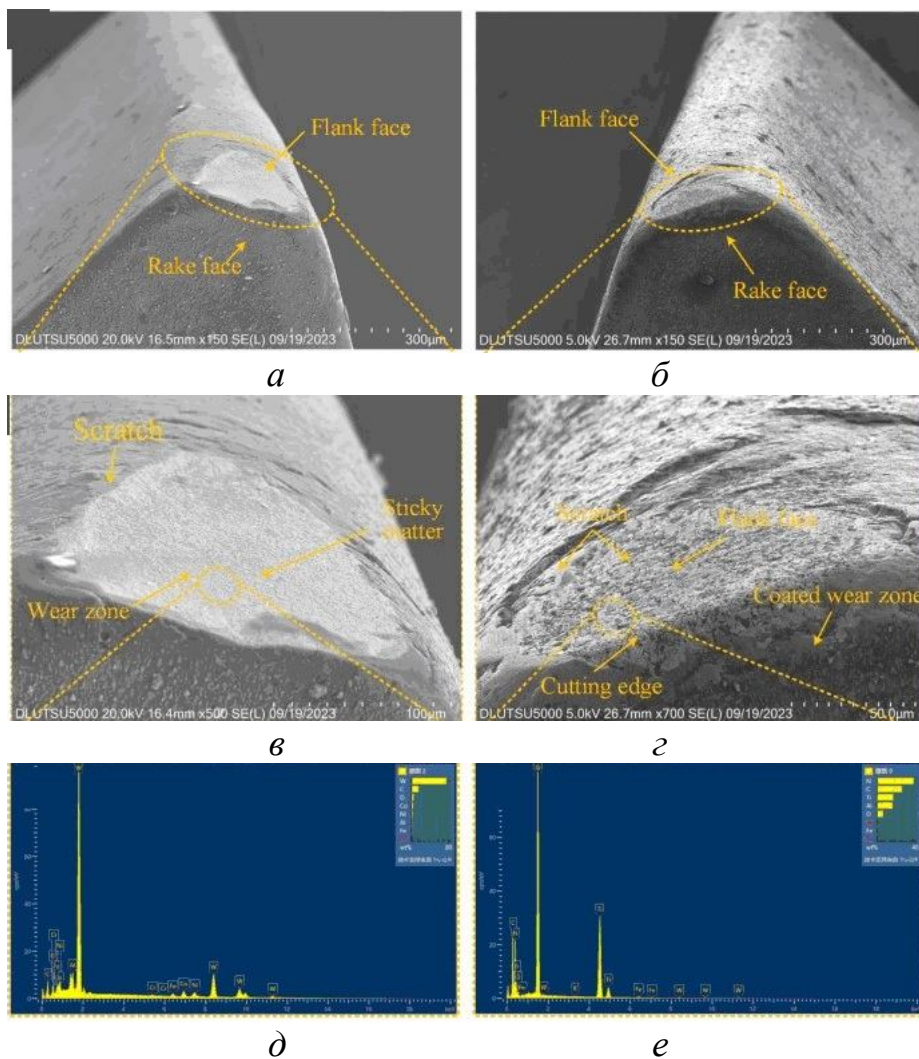


Рис. 1 – Топографія зносу інструмента:

a – СЕМ-зображення зношеного різального інструмента по СС; *б* – збільшене зображення *a*, *в* – EDS-аналіз поверхні інструмента по СС, (*г*) СЕМ-зображення зношеного різального інструмента по UEVC, (*д*) збільшене зображення *г*, *е* – EDS-аналіз поверхні інструмента по UEVC [1]

На рис. 1, *a* зображена зношена область інструмента із твердого сплаву в СС. Як видно з рис. 1, *б*, інструмент має значний знос, переважно на боковій поверхні. Зношена область виглядає відносно плоскою, з невеликими подряпинами і невеликими проявами адгезії на по-

верхні. Цікаво, що на краях зношеної області не спостерігалось перехідних особливостей «від тонкого до товстого», характерних для шару покриття. Переважним механізмом зносу в СС було визначене механічне стирання, що здебільшого приписується наявності твердих фаз вольфраму у вольфрамових сплавах. Аналіз енергодисперсійної спектроскопії (EDS) виявив зміни у вмісті вихідних елементів W, N і C в області зносу, як показано на рис. 1, в. Крім того, були виявлені елементи з матеріалу заготовки, такі як Ni і Fe, а також O з оточуючого середовища. Відсутність елементів покриття (наприклад, Ti та N) на зношеній поверхні вказує на те, що покриття було повністю видалено, що робило його неефективним для захисту інструмента. Тобто, переважними механізмами зносу твердосплавних інструментів з покриттям TiAlN в СС були механічне стирання, супроводжуване дифузійним і окислювальним зносом.

На рис. 1, в показана зношена область інструмента з твердого сплаву під впливом UEVC. Видно, що загальна геометрія інструмента залишається відносно непошкодженою, без наявних тріщин або сколів різальної кромки. Тем не менш, збільшеному зображенні на рис. 1, г можливо чітко побачити присутність покриття, зон зносу покриття та різальної кромки. Елементний аналіз з рис. 1, е показав, що основними елементами у зношеній області були N, Ti та Al – типові складові покриття, що вказує на те, що покриття не було повністю зруйноване. Гладенька полоса зносу покриття і подряпини, що спостерігаються в зоні зносу, вказують на те, що механічне тертя залишається домінуючим механізмом зносу. Крім того, наявність кисню в аналізі EDS підтверджує, що і тут окислювальний знос все ще відбувається. Тобто, вібрація відіграє позитивну роль.

В статті [2] запропонований інший метод, а саме – самозбудливого вібраційного різання (SVC) сплаву Inconel 718. З одного боку, в [2] був розроблений тримач токарного інструмента із самозбудливою вібрацією, з іншого боку, в [2] експериментально досліджені знос інструмента, ефективність обробки і цілісність обробленої поверхні для SVC у порівнянні із звичайним різанням (CC). Експерименти засвідчили, що у порівнянні з CC, SVC може подовжити термін служби інструмента до 400% при тій же ефективності обробки, а ефективність обробки для SVC може бути збільшена до 350% при тому ж терміні служби інструмента за рахунок збільшення швидкості різання і площі поперечного перерізу різального шару. SVC продукує періодичні гребені вздовж напрямку швидкості різання на обробленій поверхні (рис. 2).

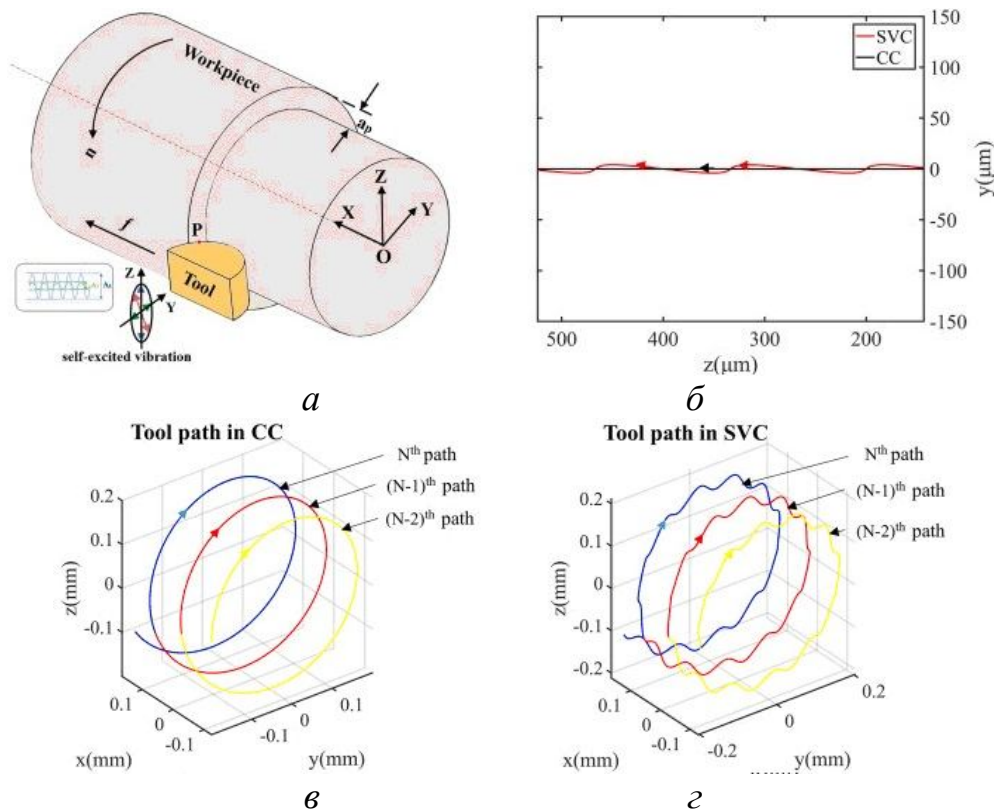


Рис. 2 – а – Ілюстрація процедури SVC; б – 2D траєкторія відносного руху інструмента і заготовки як в CC, так і в SVC; в – 3D траєкторія інструмента як в CC, так і в SVC [2]

Технологія SVC – це інноваційний підхід до обробки, який застосовує взаємодію між заготовкою і тримачем інструмента для ініціювання і підтримання вібрацій, полегшуючи видалення матеріалу. Ця система працює за замкнутим циклом і позбавлена необхідності у зовнішніх джерелах збудження. В технології SVC тримач інструмента навмисно спроектований з меншою жорсткістю у порівнянні із затискачем заготовки і компонентами верстата. Така конструкція дозволяє тримачу інструмента вібрувати під час різання, в той час як більш висока жорсткість заготовки і верстата підтримує стабільність системи. Вібраційний тримач токарного інструменту, що самозбуджується, показаний на рис. 3 і він складається з прямокутної затискної і циліндричної консольної частин. Різальна пластина встановлюється на передньому кінці консольної частини, яка функціонує аналогічно пружині малої жорсткості. При відповідних параметрах різання вона проявляє згинальні коливання в напрямку швидкості різання. Цей компонент малої жорсткості сприяє контрольованим фрикційним коливанням. В якості матеріалу для тримача інструмента вибраний алюмінієвий сплав з-за його більш низького модуля пружності, що знизило загальну жорсткість і сприяло виникненню вібрації. В дослідженні [2] були

виготовлені чотири типа тримачів інструмента з довжиною консолі 47 мм, 50,0, 51,5 і 53,0 мм, та власними частотами 5800, 5400, 5200 і 5070 Гц відповідно. Діапазон швидкостей різання для для довжини консолі 50 мм і нижче складає 40–60 м/хв, а більше 50 мм 30–50 м/хв. Стандартний тримач токарного інструмента, відповідав моделі інструмента Sandvik SRDCN2525M10-A, не викликав самозбудливої вібрації під час різання і є еталоном для порівняння з тримачем інструмента із самозбудливою вібрацією.

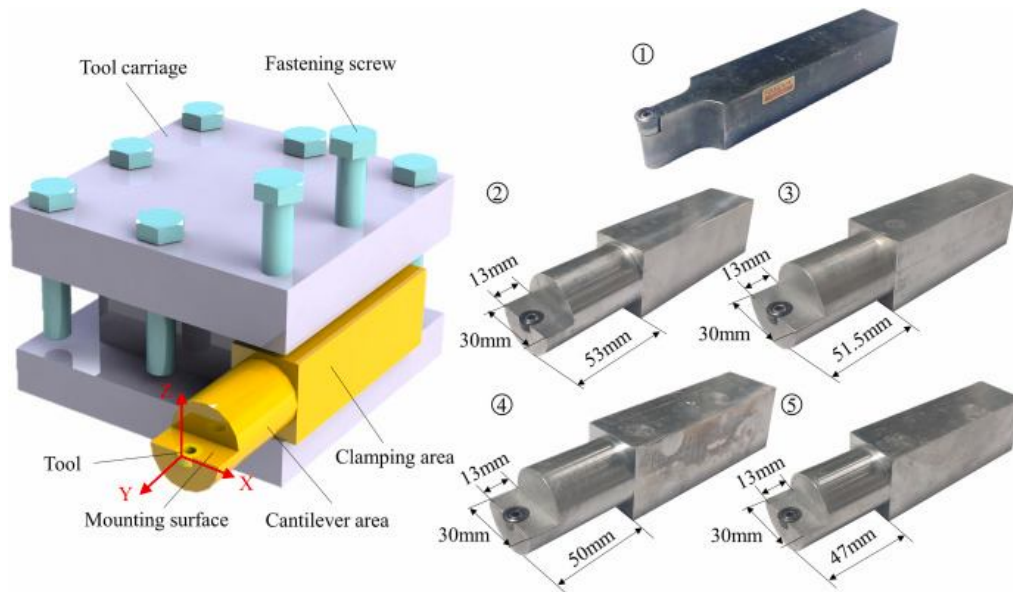


Рис. 3 – Звичайний і самозбудливі вібраційні тримачі токарного різця [2]

Вібраційне алмазне текстурування (VADT) останнім часом набуло поширення як ефективний метод отримання мікро- і наноструктурованих функціональних поверхонь. В статті [3] пропонується новий підхід до адаптивного алмазного текстурування, який інтегрує гібридне управління положенням 2D-інструменту і силою різання для точного відстеження бажаного стану видалення матеріалу (рис. 4). Встановлений двонаправлений картографічний зв'язок між фактичною траєкторією різання і динамічною силою різання, що дозволяє в реальному часі розділяти перехідний стан видалення матеріалу. Крім того, була аналітично визначена цільова функція для оптимального зміщення компенсації 2D-інструмента для адаптивного відстеження бажаної сили різання і топографії поверхні. Експериментальні перевірки, проведені на поверхнях вільної форми і нахилених поверхнях, демонструють високу узгодженість текстурованих мікроструктур і точне відстеження бажаного стану видалення матеріалу і сили різання 2D. Крім того, в статті [3] підкреслюється перевага запропонованого

гібридного підходу до управління над традиційним сервокеруванням на основі положення інструмента і сили подачі.

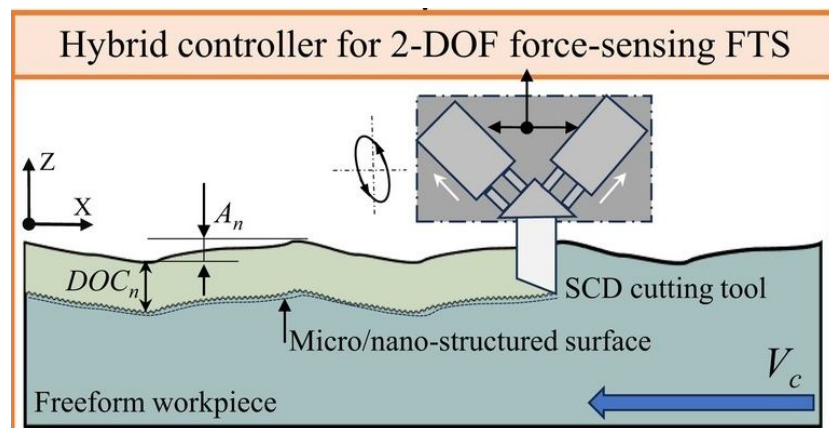


Рис. 4 – Схема принципів вібраційного алмазного текстурування [3]

Застосування алмаза у якості різального інструмента широко розповсюджене для створення субмікронних точних елементів за допомогою метода одноточкової алмазної обробки (SPDM). Певний тип алмаза, зазвичай застосований при цьому називають «суперінструментами», які демонструють строк служби більший до 300 %, аніж у стандартних алмазних інструментах. Підвищений вміст азоту (дефект типу А) підвищує зносостійкість «суперінструмента». В статті [4] дається перше експериментальне пояснення їх виключних властивостей. Застосовуючи інфрачервону спектроскопію із перетворенням Фур'є (FTIR), встановлено, що такі алмази мають більш високу загальну концентрацію азоту, зокрема дефектами типу А (тип Ia) (рис. 5) і дефектами типу С (тип Ib).

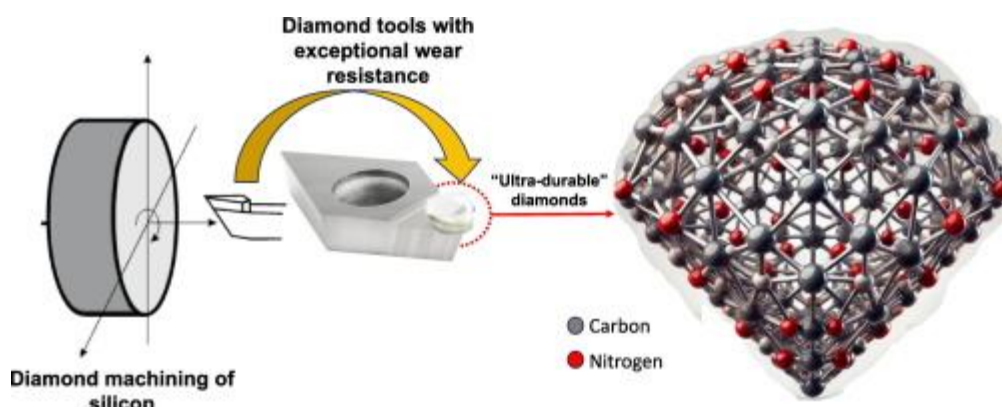
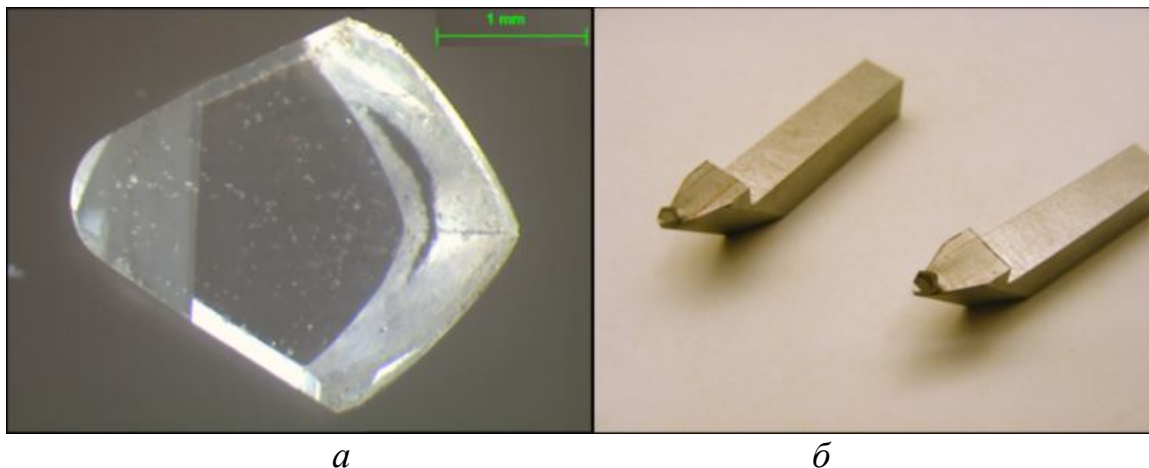


Рис. 5 – Принцип застосування різця з ультра-міцного алмазу [4]

Крім того вони демонструють більш низькі залишкові напруження, а також похибка зміщення алмазного наконечника, оцінена за допомогою аналізу зворотного розсіяння Лауе, виявилася незначною у

впливі на зносостійкість інструмента. Тобто, низька внутрішня деформація, пов'язана із більшим вмістом азоту, підвищує жорсткість решітки «суперінструмента», неспіввісність решітки не чинить істотного впливу на зносостійкість алмазного інструмента, а розмір пластинок мало впливає на зносостійкість монокристалічних алмазних інструментів. В статті [4] реальні алмазні інструменти були виготовлені з високоякісних промислових монокристалічних дорогоцінних алмазів і підготовлені відомою компанією-виробником алмазних інструментів (*Contour Fine Tooling*). Геометрія інструмента була наступною: радіус кінчика 0,5 мм, передній кут -25° і задній кут 10° (рис. 6).



**Рис. 6 – Мікрофотографія підготовленого природного алмаза, застосованого в алмазних інструментах SPDT (a).
Алмазні інструменти з натурального алмаза (б) [4]**

В статті [5] запропонований інший алмазний інструмент, де алмаз спільно легований азотом, бором і воднем (рис. 7). Переходячи у напівпровідник р-типу, алмазний інструмент проявляє термочутливі характеристики, що дозволяють визначати температуру при різанні. При таманна алмазним інструментам орієнтаційно-залежна поведінка легування бором, особливо помітна в орієнтації (100), була подавлена шляхом видалення азоту з решітки. Спотворення решітки, викликані сильним легуванням бором після видалення азоту в алмазі з орієнтацією (111), були значно пом'якшені шляхом спільного легування бором і воднем. У порівнянні з легуваними бором алмазними інструментами, з вилученим азотом і легований бором та воднем алмазний інструмент продемонстрував чудову чутливість і розширений діапазон температурного зондування. Цей інструмент застосовувався для вимірювання температури різання під час мікромасштабної глибинної токарної обробки мідних і титанових сплавів. Експерименти продемонстрували можливість інструмента для внутрішньопроектного моніто-

рингу станів різання в мікронах, а також високочутливе виявлення мікро/наномасштабних морфологій поверхні і характеристик під час надточної обробки. Тобто, інновація температурно-чутливих алмазних інструментів не тільки забезпечує точний вимір температури в мікро/наномасштабних зонах різання під час надточної обробки, але і забезпечує ефективний підхід до характеристики внутрішньопроектного стану для передового виробництва.

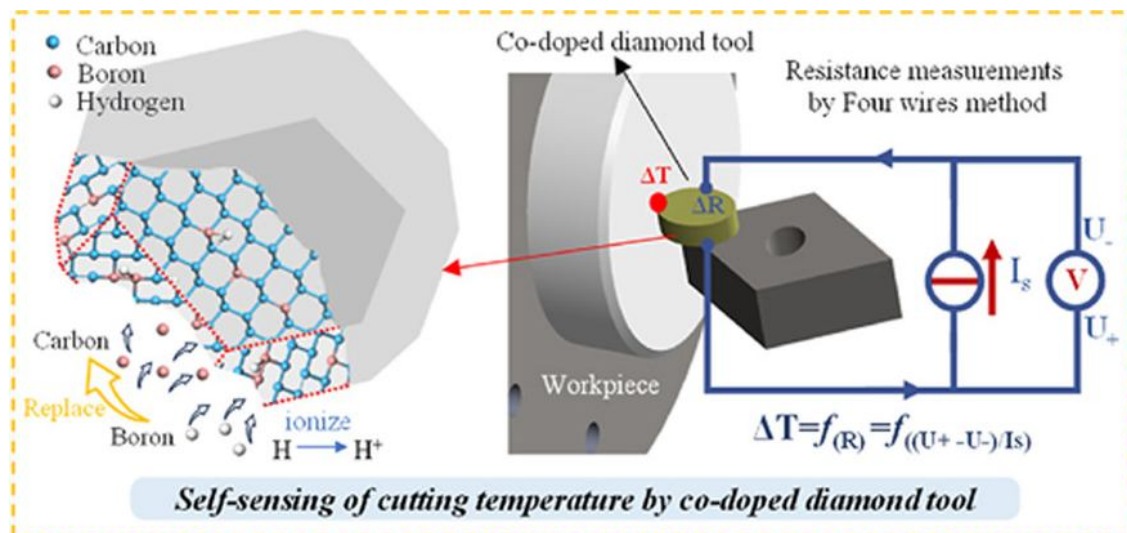


Рис. 7 – Принцип спільного легування алмазу азотом, бором і воднем [5]

Тобто наведене вище свідчить про те, що дослідники нині приділяють увагу застосуванню вібраційних методів лезової обробки, в т.ч. самозбудливій вібрації за рахунок інноваційного інструменту, а також інноваційним розробкам по легуванню алмазу для прецизійних алмазних різців.

Література

1. Su, Hao. Formation mechanism of ductile surface in ultrasonic elliptical vibration cutting of tungsten alloys basing on cemented carbide tools / Hao Su, Zhigang Dong, Yan Bao, Renke Kang, Sen Yin // J. of Mat. Res. and Technol. – 2025. – Vol. 35. – P. 5782–5795.
2. Liu, Heng. Feasibility study of high-efficiency self-excited vibration cutting for roughing Inconel 718 / Heng Liu, Wenshuai Wu, Deyuan Zhang // J. of Mat. Res. and Technol. – 2025. – Vol. 35. – P. 1429–1451.
3. Yang, Yang. Adaptive diamond texturing of micro/nano-structured surfaces enabled by hybrid control of 2D tool position and cutting force / Yang Yang, Han Pan, Yuchao Bai, Yingxue Yao // J. of Mat. Proc. and Technol. – 2025. – Vol. 337. – P. 118739.

4. Durazo-Cardenas, I.S. High-performance diamond “Supertools” with extreme tool-life / I.S. Durazo-Cardenas, Saurav Goel, P. Shore, L. Kirkwood, Graham L.W. Cross // Diamond and Related Mat. – 2025. – Vol. 154. – 112122.

5. Liu, Shiquan. Micro-zone cutting temperature measurement using a nitrogen-extracted boron and hydrogen co-doped diamond tool for ultra-precision machining / Shiquan Liu, Liang An, Hui Li, Kaiyang Xia, Mao Peng, Zhongwei Li, Bing-Feng Ju, Yuan-Liu Chen // Inter. J. of Mach. Tools and Manuf. – 2025. – Vol. 205. – 104244.

*Лавров О.С., Тимошенко В.В., Коропатник О.С.
ТОВ «ТМ.ВЕЛТЕК», Київ*

РЕЗУЛЬТАТИ ВПРОВАДЖЕННЯ СТАНДАРТУ ISO 9001 НА ПІДПРИЄМСТВІ ТОВ «ТМ ВЕЛТЕК»

На підприємстві ТОВ «ТМ.ВЕЛТЕК», що спеціалізується на виробництві порошкових дротів для зварювання, наплавлення і напилення, впровадження стандарту ISO 9001 стало вирішальним кроком для забезпечення стабільної якості продукції та підвищення довіри клієнтів.

Система управління якістю охоплює всі етапи життєвого циклу продукції: маркетинг, проектування, матеріально-технічне постачання, виробництво, контроль, випробування, пакування та реалізацію.

Політика в сфері якості затверджена керівництвом та є орієнтиром для всіх працівників.

Першим кроком став аудит існуючих процесів. Було виявлено невідповідності, зокрема при виборі змінного волочильного устаткування на волочильних станах для дротів різного діаметру. У результаті були впроваджені оптимальні маршрути волочіння, що зменшило кількість відхилень. Одночасно, актуалізовані технологічні інструкції, специфікації матеріалів, інструкції з налаштування обладнання та методи контролю. Серед них - інструкції на вхідний контроль сировини, приготування шихти, відбір і підготовку проб для хімічного та фізико-хімічного аналізу.

Операційні інструкції для виконавців робіт дозволили забезпечити чіткість та послідовність у виробництві.

Для контролю якості впроваджено регулярні випробування матеріалів та продукції відповідно до ДСТУ 8899, ДСТУ 8919, ДСТУ

EN 10315, ДСТУ ISO 6892-1, ДСТУ ISO 148-1, ДСТУ ISO 6507-1, ДСТУ EN ISO 9015-1.

Тестування гарантує відповідність продукції встановленим вимогам. Після оновлення процесів проведено навчання персоналу, що підвищило ефективність та зменшило кількість помилок. У 2024 р. порушень та відхилень від технологічної дисципліни виявлено на 16% менше, ніж у 2023 р. Також зменшилась кількість невідповідної продукції від 0,7 т в 2021 році до 0,3 т в 2024 р. Нам вдалося зберегти номенклатуру постійних клієнтів за винятком тих підприємств, що постраждали від військової агресії. Постійний моніторинг процесів дозволяє оперативно реагувати на будь-які відхилення.

В діяльності нашого підприємства враховані вимоги стандарту ISO 9001 щодо застосування ризик-орієнтованого мислення для планування та запровадження процесів системи управління якістю, визначений основний ряд можливих ризиків, плануються заходи щодо зменшення негативного впливу існуючих ризиків, щорічно аналізується ефективність впроваджених заходів та приймаються рішення, спрямовані на поліпшення.

З 2018 р. підприємство щорічно проходить аудит від DVS ZERT GmbH, що підтверджує відповідність системи управління якістю вимогам стандарту ISO 9001 і стимулює постійне вдосконалення. Крім того, підприємство отримало Сертифікати відповідності на ряд дротів від ДП «ДНПРОСТАНДАРТАМЕТРОЛОГІЯ» та відновило співпрацю з TUV RHEINLAND по сертифікації дротів для зварювання.

Таким чином, впровадження ISO 9001 стало для ТОВ «ТМ ВЕЛТЕК» інструментом оптимізації роботи, підвищення якості продукції та задоволеності клієнтів, а також підтвердженням високого рівня виробничих процесів на міжнародному рівні.

Література

1. Траченко, Л.А. Системи управління якістю підприємств сфери інжинірингу: монографія / Л.А. Траченко. – Одеса : ОНЕУ, 2019
2. Системи управління якістю. Вимоги : ДСТУ ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015, IDT). Видання офіційне. – Київ, ДП «УкрНДНЦ». – 2016. – 22 с.

МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ І ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ КОНТРОЛЮ ТА ОБЛІКУ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ

Сучасний технічний розвиток вимірювальної техніки, автоматизація технологічних процесів та необхідність підвищення якості контролю та обліку енергетичних ресурсів потребує проведення побудови та впровадження автоматизованих систем контролю якості електроенергії, автоматизованих систем комерційного обліку паливно-енергетичних ресурсів (АСКОПЕР) та комплексів програмно-технічних «ОБЛІК.ОНЛАЙН».

Комплекси програмно-технічні виконують наступні основні функції:

- прийом сигналів з відповідних лічильників, обчислювачів, коректорів, витратомірів, давачів, приладів обліку, спеціалізованих контролерів або інших засобів вимірювань;
- перетворення отриманих сигналів в автоматизованій системі для цілей збору, обробки, зберігання та передачі інформації споживання енергоресурсів на вищі рівні автоматизованих систем;
- побудова інформаційних систем зі збору даних, диспетчеризації віддалених об'єктів, управляючих систем з автоматизації технологічних процесів;
- виконання команд і алгоритмів, заданих користувачем.

Основними параметрами якості є визначення відносної розширеної невизначеності $U(N, W, Q, P)$ перетворення (електричної потужності, електричної енергії, теплової енергії, тиску і т.д.) по цифровим входам, підключених до приладів обліку. Згаданий програмно-технічний комплекс розроблений ТОВ «ІМЕКСЛОГІСТИК» (м. Миколаїв). Його калібрування було проведено ДП НДІ «Система» у 2021 р.

Автоматизовані системи комерційного обліку паливно-енергетичних ресурсів являють собою сукупність вимірювальних передавальних та обчислювальних засобів і мають основні ознаки розподілених засобів вимірювань, діяльність з метрологічного забезпечення яких регламентована відповідними нормативними документами. Метрологічне забезпечення АСКОПЕР має свої особливості, пов'язані з специфікою побудови. Як правило, такі системи комплектуються на місці експлуатації з конструктивно закінчених блоків та елементів, рознесених одне від одного на суттєві відстані.

Використання не інтелектуальних (вимірювальних перетворювачів) приладів та інтелектуальних приладів (обчислювачі, коректори з проведенням їх корекції та калібрування) дозволяють створювати гнучкі, багаторівневі автоматизовані системи комерційного обліку паливно-енергетичних ресурсів із сучасним метрологічним забезпеченням. Розробником зразка такої системи є ТОВ фірма «ПРОМЕЛЕКТРОНСЕРВІС» (м. Харків), дана система яка встановлена на ПАТ „Запоріжсталь” була атестована ДП НДІ «Система»

Щодо забезпечення контролю і дотримання показників якості електричної енергії у процесі передачі її магістральними та іншими електричними мережами в Україні відсутній відповідний технічний регламент, тому послуги з передачі електричної енергії встановлюють показники якості електричної енергії згідно ДСТУ EN 50160:2023, ГОСТ 13109-97. Кодекс системи передачі та Кодекс комерційного обліку електричної енергії. Міждержавний стандарт країн співдружності незалежних держав ГОСТ 13109-97 встановлює перелік показників якості електричної енергії, які використовуються в договорах на постачання електричної енергії, а також нормальні і гранично допустимі норми якості електроенергії в точці приєднання кінцевого споживача.

В 2021 р. фірмою «Сервіс Енергія» (м. Львів) була створена в ТЦ «Форум» автоматизована система контролю якості електроенергії, яка була сертифікована в ДП НДІ «Система». Основним елементом цієї системи є аналізатор якості електроенергії РМ 175. Сертифіковані були наступні параметри контролю якості електроенергії: вимірювання встановленого відхилення напруги змінного струму; вимірювання коефіцієнта спотворення синунусоїдальності напруги (U_{THD}); вимірювання частоти; вимірювання сумарної активної енергії.

Висновки. Використання не інтелектуальних (вимірювальних перетворювачів) приладів та інтелектуальних приладів (обчислювачі, коректори з проведенням їх корекції та калібрування) дозволяють створювати гнучкі, багаторівневі автоматизовані системи комерційного обліку паливно-енергетичних ресурсів із сучасним метрологічним забезпеченням та високими показниками якості контролю та обліку ресурсів.

Використання методів підвищення точності вимірювання температури, витрат (тиску, перепаду тиску), електроенергії і їх адаптація для автоматизованих систем комерційного обліку паливно-енергетичних ресурсів, дозволяють збільшити достовірність і забезпечити єдність вимірювань витрат, зменшення економічних втрат споживачів і продавців природних та технічних ресурсів.

Література

1. Паракуда, В.В. Підвищення точності вимірювання електричної енергії та вдосконалення МЗ АСКОВЕ / В.В. Паракуда, Б.М. Лисий, О.М. Кричевець, О.С. Сулима // Мат. ІХ Міжнарод. наук.-техн. конф. «Метрологія та вимірювальна техніка». – Харків, 2014. – С. 130–133.

2. Лисий, Б.М. Підвищення точності вимірювання та особливості метрологічного забезпечення автоматизованих систем обліку паливно-енергетичних ресурсів / Б.М. Лисий, О.С. Сулима, Т.І. Лисенко // Метрологія та прилади. – Харків, 2016. – С. 59–61.

3. СОУ НЕК 03.120.4-14:2019 Стандарт підприємства. Забезпечення контролю і дотримання показників якості електричної енергії у процесі її передачі магістральними і міждержавними електричними мережами ДП НЕК «Укренерго».

Логінова Ю.В. Інститут електрозварювання
ім. Є.О. Патона НАН України, Київ

ПРОБЛЕМИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ НА ПІДПРИЄМСТВІ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА, ЩО ЗДІЙСНЮЮТЬ ВИГОТОВЛЕННЯ ТА МОНТАЖ КОНСТРУКЦІЙ

В умовах глобалізації, розвитку міжнародної торгівлі ефективність діяльності підприємств на зовнішньому та внутрішньому ринку повністю залежить від того, наскільки їх продукція чи послуги відповідають стандартам якості, тому проблема забезпечення та підвищення якості продукції є актуальною для підприємств зварювального виробництва. Якість продукції належить до найважливіших критеріїв функціонування підприємства в умовах насиченого ринку та переважної нецінової конкуренції. Підвищення технічного рівня та якості продукції визначає темпи науково-технічного прогресу та зростання ефективності виробництва в цілому, істотно впливає на інтенсифікацію економіки, конкурентоспроможність вітчизняних товарів та життєвий рівень населення країни.

Зростання технічного рівня та якості продукції, що випускається, є в даний час найбільш характерною рисою роботи підприємств у промислово розвинених країнах. На сьогоднішній день недостатньо розроблено теоретичні, методичні та науково-практичні аспекти засобів, методів та систем управління якістю на підприємствах. Це вимагає

створення процесно-орієнтованих підходів до запровадження таких систем, які на основі узагальнення основних проблем та умов реалізації процесного управління комплексно охоплювали визначення процесів, їх моніторинг та оцінку, вибір коригувальних та запобіжних дій для підтримки якості на вказаному рівні, його поступового підвищення, а також оцінку зазначених дій.

Процесний підхід є найпоширенішим підходом до управління якістю. Він передбачає, передусім, те, що управління процесом і кожної з робіт, що входять до нього (підпроцесів або функцій) відбувається із застосуванням особливих методичних прийомів, досить добре розроблених і дозволяють виключити багато помилок.

Управління організаційними процесами у системі менеджменту якості, насамперед, зводиться до постійної підтримки організованості та впорядкованості всіх видів робіт. Проте управління процесами неправильно було б зводити лише до підтримки їх заданої організованості. Дуже важливим є один із основних принципів менеджменту – принцип постійного поліпшення. Управління якістю продукції це процес, що включає виявлення характеру та обсягу потреб у продукції, оцінку фактичного рівня її якості, розробку, вибір та реалізацію заходів щодо забезпечення запланованого рівня якості продукції зварювального виробництва.

В даний час практично всі промислово розвинені країни вступили в новий етап розвитку менеджменту, який тісно пов'язаний з використанням інтегрованих систем менеджменту, що включають, як один із складових елементів, систему менеджменту якості. Система менеджменту якості, яка охоплює всі роботи, виконувані на підприємстві, об'єднує численні окремі функції та рішення в галузі якості продукції в єдину оперативну систему, спрямовану на досягнення вищої якості при оптимальних витратах, передбачає наявність низки нормативних документів, вимоги яких зобов'язані дотримувати всі співробітники підприємства зварювального виробництва, зайняті в галузі проектування, виробництва та збуту продукції при виконанні робіт, що мають пряме відношення до якості продукції.

Ломанов К.О., Головка М.О., Рибальченко Т.П.
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна,
Національний аерокосмічний університет
«Харківський авіаційний інститут», Харків

КІЛЬКІСНЕ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОМУНІКАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ У СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ISO 9001:2015

У сучасних умовах глобалізації та стрімкого технологічного розвитку соціально-економічні системи стикаються з безпрецедентними викликами, які вимагають нових підходів до управління якістю для забезпечення сталого розвитку та конкурентоспроможності. Одним з ключових інструментів у цьому процесі є впровадження міжнародного стандарту ISO 9001:2015, що визначає вимоги до системи управління якістю [1]. Однак успішна імплементація цього стандарту вимагає не лише формальних технічних коригувань, але й глибокої трансформації внутрішніх механізмів управління, серед яких центральне місце посідає комунікація [2]. Комунікація виступає не просто інструментом передачі інформації, а складним соціальним явищем, що активно формує ефективність, ідентичність та культуру організації, сприяє координації на всіх рівнях, ефективному делегуванню відповідальності, зменшенню ризиків помилкових рішень та підвищенню довіри [3].

Складність, багаторівневість та динамічність соціально-економічних систем роблять комунікаційні процеси надзвичайно заплутаними, а їхні збої – одними з найбільш вартісних та критичних помилок. Традиційні підходи до оцінки комунікації, такі як опитування чи інтерв'ю, часто виявляються недостатніми для виявлення структурних ваг, ізольованих ланок чи надмірно навантажених вузлів у мережі взаємодій [4]. Це обумовлює нагальну потребу у застосуванні системного аналізу, який дозволяє всебічно дослідити всі елементи комунікаційного середовища, включаючи структури потоків інформації, канали взаємодії, ролі учасників та механізми зворотного зв'язку. Особливої ваги набуває такий аналіз на етапі проектування системи менеджменту якості, коли допущені помилки є найбільш дорогими та складними для виправлення, а обсяг вихідної інформації про майбутню систему обмежений.

Дослідження полягає у інтеграції якісних принципів менеджменту, викладених у ISO 9001:2015, з кількісними методами математичного моделювання на основі теорії графів та системного аналізу. Пропонується розглядати систему управління якістю як складну систему, де кожен процес представлений у вигляді вершини графа, а ін-

формаційно-комунікаційні зв'язки між ними – у вигляді ребер. Така формалізація дозволяє абстрагуватися від специфіки конкретної організації та перейти до формалізованого кількісного аналізу структури системи в цілому. Алгебраїчне подання графа у вигляді матриці прямої зв'язності стає потужним аналітичним інструментом, математичною моделлю, що відкриває можливості для глибокого структурно-топологічного дослідження.

Запропонована методологія дозволяє не лише описувати, але й оцінювати якість проектованої комунікаційної мережі через низку ключових показників. Коефіцієнт структурної зв'язності визначає мінімально допустиму кількість зв'язків у системі та виявляє незаплановані розриви, ізольовані, тупикові чи висячі вершини, які свідчать про потенційні помилки проектування. Ранг елемента дозволяє ранжувати процеси за їхньою важливістю на основі кількості зв'язків з іншими елементами, виявляючи таким чином критичні вузли, відмова яких може мати найбільш серйозні наслідки для цілісності системи. Показник живучості системи кількісно оцінює її здатність зберігати функціональність передачі інформації при втраті частини зв'язків під впливом зовнішніх чи внутрішніх факторів, що є ключовим для забезпечення надійності в умовах невизначеності.

Таким чином, використання апарату теорії графів для моделювання комунікаційних процесів при впровадженні ISO 9001:2015 надає керівництву організацій проактивний інструмент для прийняття обґрунтованих рішень ще на етапі проектування. Він дозволяє заздалегідь виявляти «вузькі місця», локалізувати зони підвищеного ризику втрати комунікації, оптимізувати структуру інформаційних потоків та обґрунтовано розподіляти ресурси для підвищення надійності. Це сприяє створенню не просто відповідної вимогам стандарту, але й гнучкої, адаптивної та стійкої системи менеджменту якості, здатної до самонавчання, оперативного реагування на зміни та стабільного функціонування в умовах глобальної конкуренції та нестабільності. Інтеграція системного мислення, вимог міжнародних стандартів і точних математичних методів відкриває нові горизонти для підвищення ефективності управління складними соціально-економічними системами.

Література

1. ISO 9001:2015, IDT Quality management systems – Requirements. Inter. Org. for Stand., Geneva.
2. Özkan, B. Analysing Effects of ISO 9001 : 2015 Quality Management System on Organizational Communication Structure / B. Özkan // Open J. of Soc. Sci. – 2021. – № 9. – P. 85–96.

3. Susanto, D. ISO 9001 implementation model: a review and future research agenda / D. Susanto, M. Suef, P. Karningsih, B. Prasetya // *The TQM J.* – 2024. – №37 (5). – P. 1342–1363.

4. Madan, K. A study on the role of communication in business management / K. Madan // *J. of Adv. and Scholarly Res. in Allied Educ.* – 2024. – №21(4). – P. 35–40.

Lopata A., Lopata L. Institute of Strength Problems
G.S. Pisarenko NAS of Ukraine, Kiev

IMPROVEMENT OF PROPERTIES COATINGS BY ELECTROCONTACT TREATMENT

Among the current technological and material science areas of science and technology, the problem of surface engineering is one of the most significant. Giving the surfaces of machine parts, working bodies, tools, and other structures the necessary physical, chemical, and performance properties is most successfully implemented when using approaches and technological methods for surface engineering. Via coating and modifying surface layers, it is possible to significantly improve the performance and reliability of parts and structures, to provide them with new, not achievable by other methods, functional properties. Promising are methods for surface engineering which combine coating with surface modification or processing.

Without the use of modern high-technology for hardening protective coatings, Ukraine's economy will not come out of the crisis of an acute shortage of metal, spare parts, electricity, and fuel. The use of coatings prolongs the service life of parts by increasing their wear and corrosion resistance, restoring performance, and also by replacing expensive materials with cheaper ones with coatings. Moreover, the use of coatings can markedly reduce the cost of alloyed steels and alloys. In this case, it is possible to create products with a unique combination of properties that are unattainable when using traditional structural materials. The coating material is usually chosen on the basis of the substrate material and operation conditions.

Coatings are multifunctional. They can help regulate thermal conductivity, provide the surface with corrosion resistance, wear resistance, specific performance properties (electrical, optical, anti-friction, etc.). Coatings are a promising way to protect against exposure to high heat fluxes and corrosive media. The creation of coatings ensuring the operability of machines and

equipment under extreme operation conditions (exposure to high temperature, wear, aggressive media) was and remains an important and urgent task.

The use of coatings is associated with the implementation of a fundamentally new approach to the creation of structural materials: the strength and carrying capacity of a part are provided by the base material, whereas the resistances to corrosion wear, and other harmful factors – by a coating. Most methods for coating deposition can be considered as alternative. The same coating material can be deposited in different ways. The complex of mechanical properties and operation characteristics of the coated part depends on the method for obtaining the coating.

Treatment of coatings should ensure their impermeability to corrosive environments, increase the strength of coating to substrate adhesion, hardness, and wear resistance. The transition of the economy to the path of intensive development involves the use of coating processing methods that are implemented using autonomous or joint effects of temperature, mechanical, and chemical factors. The application of methods with the minimum necessary heating and small values of allowances is of great importance. In this regard, the mechanical-thermal processing is of considerable interest.

One of the most effective mechanical methods is an electrocontact treatment (ECT). Its advantages include: minimum heat input and finishing allowances. One of the most effective methods of mechanical-thermal processing is electrocontact treatment (ECT). Its advantages include minimum heat input and finishing allowances.

Advantages of electrocontact processing:

- minimum heat-affected zone on the part (0.1–0.3 mm) due to small duration of the heating pulse;
- the absence of a liquid phase in the hardening zone significantly expands the technological capabilities of the process: it allows one to increase the thickness of the wear-resistant layer by 3–6 times (coating thickness up to 3 mm and more), increases the electrode durability, reduces the cost of the coating material, and contributes to a more uniform distribution of physic mechanical properties.
- provides almost poreless coatings with adhesion strength of 150–220 MPa, while maintaining the initial properties of the material.
- high performance (0.01–0.015 m) and low energy consumption 0.25–0.60 kWh /m.

For the first time, it has been shown that ECT of coatings reduces their porosity down to 2.08–3.03%, increases microhardness to 7.4–8.5 GPa and wear resistance by 2–4 times at optimal ECT parameters (current strength $I =$

6.0 kA, pressure $P = 30$ MPa, pulse and pause duration 0.04 s.). For the first time, it has been shown that a smooth decrease in microhardness through the thickness of sprayed coatings after their ECT ensures adhesion strength of coatings of 180–200 MPa and minimizes the probability of their detachment. For the first time, it has been established that the high coating-to-part adhesion strength after ECT is associated with the phenomenon of anomalous mass transfer, in particular with the accelerated migration of atoms under the electroplastic effect due to the formation of a significant diffusion interlayer. A proper combination of pressure and current pulses makes it possible to realize the electroplastic effect, which, reducing the power parameters of the process, can attribute it to the energy-saving technology. Electrocontact treatment of sprayed coatings using residual heat allows obtaining “dimensional coatings” with the required accuracy and surface cleanliness with minimal finishing machining or without it.

References

1. Smirnov, A. Improvement of functional properties of gas-thermal coatings by electrocontact treatment. / A. Smirnov, A. Lopata, T. Smirnova, L. Lopata // Probl. of Trib. – 2020. – Vol. 25, No.1/95. – P. 41–48.

Лопата В.М. Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"
Качинська І.Р. Інститут проблем міцності
імені Г.С. Писаренка НАН України, Київ
Солових А.Є., Катеринич С.Є. Центральноукраїнський
національний технічний університет, Кропивницький

ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБІЛІВ ШЛЯХОМ ФОРМУВАННЯ ЗНОСОСТІЙКИХ ПОКРИТТІВ

Актуальною проблемою підвищення експлуатаційних властивостей автомобілів є використання високоефективних, простих у застосуванні технологій відновлення і зміцнення їх деталей. Вирішення цієї проблеми вимагає впровадження в практику зміцнення та відновлення деталей автомобілів зносостійкими покриттями.

Доведено, що для підвищення експлуатаційних властивостей деталей автомобілів важливо правильно вибрати прості і доступні спо-

соби нанесення покриттів, які підвищують термін їх служби. Обґрунтовано, що серед способів нанесення зносостійких покриттів найбільш поширені, найдешевші і найпростіші методи газотермічного напилення, а саме газополуменевого напилення і електродугового напилення. Відновлення і зміцнення деталей автомобілів шляхом нанесення зносостійких покриттів дозволяє вирішити проблему забезпечення їх ресурсу, який не поступається ресурсу нових деталей.

Вирішення поставленої проблеми пов'язане з впровадженням в практику зміцнення, відновлення, підвищення експлуатаційних властивостей і строку служби деталей автомобілів нових і вдосконалення існуючих способів нанесення покриттів. Аналіз літературних джерел показав, що існує достатньо багато методів нанесення покриттів, кожен з яких може служити темою окремого дослідження. Більшість методів нанесення покриттів альтернативні. При їх виборі виникають труднощі із-за різних екологічних показників, енерговитрат, вартості устаткування і матеріалів. Обґрунтовано, що серед способів нанесення покриттів найбільш поширені, найдешевші і найпростіші методи газотермічного напилення (ГТН), а саме, газополуменевого (ГПН) і електродугового напилення (ЕДН) [1, 2].

Важливою умовою працездатності зміцнених і відновлених ДАВ є узгодженість термомеханічних характеристик покриття і матеріалу деталі. Матеріал деталі повинен мати мінімальну різницю коефіцієнтів термічного розширення в порівнянні з матеріалом покриття, забезпечити максимальну міцність зчеплення з ним. Другими словами, матеріал покриття і матеріал деталі повинні мати «експлуатаційну сумісність». Вирішення проблеми регулювання сумісності матеріалу покриття і деталі дає в повному обсязі використовувати його триботехнічні властивості. Одним з підходів вибору матеріалу покриття є встановлення зв'язків у системі «експлуатація-матеріал», а з позиції технології – в умовному трикутнику «склад-структура-властивість». Коли хімічний склад матеріалу заданий, на перший план виходять три основні критерії: 1) енергонасиченість матеріалу; 2) щільність покриття; 3) температурний режим, при якому формується покриття, що забезпечує функціональні властивості деталей автомобілів.

Після проведення досліджень покриття наносили на поверхні деталей автомобілів методом електродугового напилення, приклади яких представлені на рис. 1. Матеріал покриття – суміш порошків ніхрому (Ni-Cr 80/20) і карбіду хрому (Cr_3C_2).



Рис. 1 – Приклади відновлених і зміцнених деталей автомобілів:

а – палець поршня 304-10-2 (сталь 12ХН3А-42, HRC58, товщина покриття $h = 0,8-1,5$); *б* – розподільчий вал 101410АО (сталь 45, 163–207 НВ, $h = 0,1-2,5$);
в – колінчастий вал (сталь 18Х2Н4МА, 55–60 HRC, $h = 1,5-3,5$)

Висновки. Шляхом проведених досліджень показана ефективність використання покриттів для підвищення зносостійкості та ресурсу автомобілів. Обгрунтовано, що серед способів нанесення зміцнюючих захисних покриттів найбільш поширені, найдешевші і найпростіші методи газотермічного напилення, а саме методи електродугового і газополуменевого. Відновлення деталей автомобілів шляхом нанесення покриттів, вибір матеріалу покриття, управління його складом і структурою в процесі відновлення і зміцнення дозволило підвищити їх експлуатаційні властивості більш ніж в 2 рази та вирішити задачу забезпечення їх строку служби, який не поступається ресурсу нових деталей.

Література

1. Агеев, М.С. Условия эксплуатации, причины и виды износа валов двигателей внутреннего сгорания и повышение их износостойкости и срока службы / М.С. Агеев // Підвищення надійності машин і обладнання : мат. міжнарод. наук.-практ. конф. – Кропивницький, 2020. – С. 119–124.
2. Фомичев, С.К. Восстановление и упрочнение быстроизнашивающихся деталей бронетранспортеров электродуговым напылением / С.К. Фомичев, М.С. Агеев // Качество, стандартизация и контроль : теория и практика : мат. 15-й международ. науч.-практ. конф. – Киев : АТМ України, 2015. – С. 184–188.

РЕАЛІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЗУБЧАСТОГО КОЛЕСА НА КООРДИНАТНО-ВИМІРЮВАЛЬНІЙ МАШИНІ

Різноманіття вимірювального обладнання, а також велика кількість стандартів та видів зубчастих коліс потребує використання сучасних, швидких та точних засобів автоматичного контролю. Останні найбільш розповсюджені на виробництві є координатно-вимірювальні машини (КВМ). Вони відрізняються типом вимірювання (контактні, безконтактні), точністю вимірювання, розмірами робочої зони, а також призначенням.

Контроль зубчастих коліс (ЗК) на відповідність до певного класу – вимога сучасного виробництва, яка потребує використання новітнього автоматичного та напівавтоматичного вимірювального обладнання. Саме КВМ отримали найбільше застосування при контролі ЗК, оскільки реалізує точність вимірювань 0,001 мм і вище.

Так, наприклад, на КВМ моделі HEXAGON Global S у програмному забезпеченні (ПЗ) QUINDOS для вимірювання ЗК, після необхідних підготовчих операцій, вносяться загальні дані дослідного ЗК, за наявності – модифікації профілю та напрямку зуба, та завдання на вимірювання: вимірювання профілю (евольвенти) та напрямку зуба (бокової лінії) з вказанням номерів зубів на яких буде проводитись вимірювання, кроку та радіального биття зубчастого вінця, а також вносяться дані для обчислення спеціальних параметрів. Серед яких: товщина зуба, довжина загальної нормалі, розмір по роликах та ін. Використовуючи цю інформацію, ПЗ QUINDOS створює математичне еталонне ЗК, відхилення від якого розраховуються як похибки.

Наступним стає налаштування щупової оснастки для вимірювання. Далі – зони вимірювання та оцінки евольвенти та бокової лінії контакту.

По завершенні цих налаштувань та підтвердження – здійснюється перехід до вікна налаштувань вимірювання кроку та радіального биття. Тут необхідно вказати на якому діаметрі (ділильному за замовченням) буде проводитись вимірювання та на якій висоті (посередині зубчастого вінця за замовченням).

Останніми стають спеціальні розрахунки з визначення розмірів по роликах, довжини загальної нормалі і товщини зуба, що отримуються

з даних точок вимірювань кроку та радіального биття. На рис. 1 схематично наведено послідовність підготовки оснастки, налаштувань вимірювань і реалізації контролю ЗК із створенням протоколу даних.



Рис. 1 – Схема реалізації контролю ЗК

Далі оператор за допомогою пульта керування вказує місцезнаходження першого зубу та здійснює дотики на поверхнях, що характеризують його місцезнаходження (рис. 2).

Після цього запускається процедура автоматичного вимірювання евольвенти та бокової лінії контакту на визначених зубах з автоматичним формуванням результатів контролю в протокол (рис. 3).

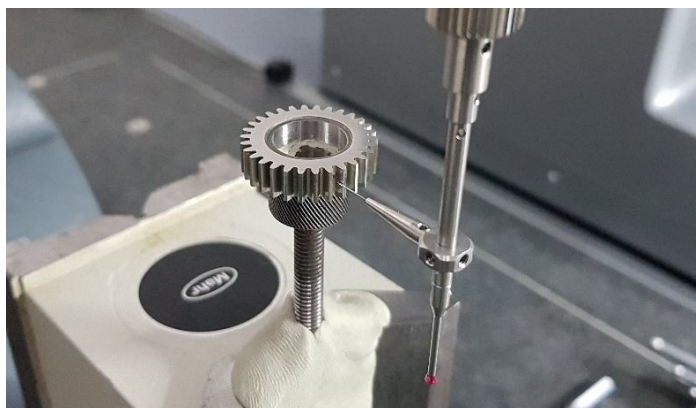


Рис. 2 – Дотик щупом першого зуба колеса

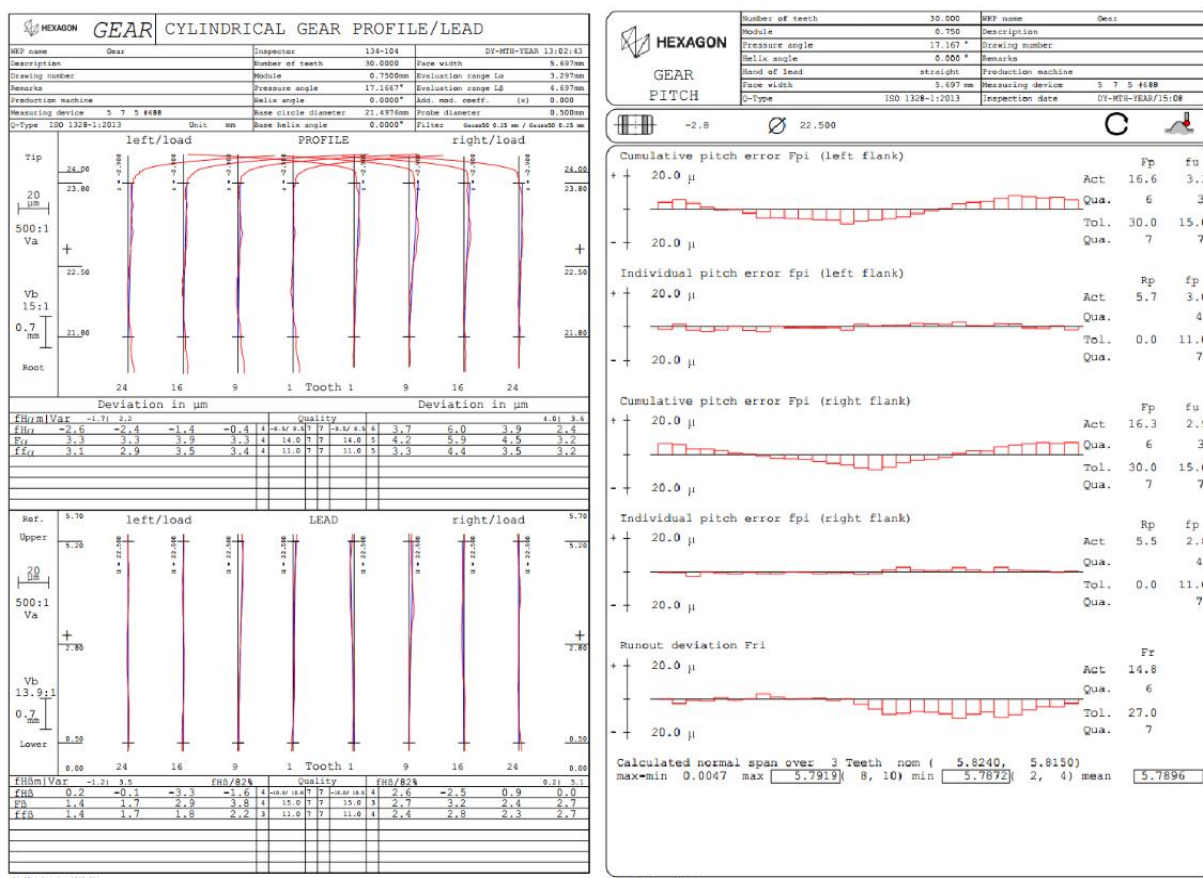


Рис. 3 – Приклад виведення протоколу контролю ЗК

Наступними дослідженнями можуть бути поопераційний контроль виготовлення ЗК з метою визначення критичних етапів технології, на яких довжина загальної нормалі шестерні набуває критично-допустимої точності. Також предметом подальших досліджень може бути створення методики сумісного використання оптичного 3D-сканування та контактного методу вимірювання з метою збільшення точності і зменшення кількості етапів вимірювань.

Малецький Є.В. МГО «Асоціація безперервної фахової освіти «Атенеум», Чернігів
Канашевич Г.В. Черкаський державний технологічний університет, Черкаси

МЕТРОЛОГІЧНІ ЦЕНТРИ В СУЧАСНИХ УМОВАХ ЗМІН КОНКУРЕНТНОГО ТА ЗАКОНОДАВЧОГО СЕРЕДОВИЩА

Дослідники та розробники нової та модернізованої продукції мають враховувати вимоги до метрологічного забезпечення під час розробки, поставлення на виробництво та експлуатації продукції, що вказано в чинному законодавстві та державних стандартах України [1].

Розробники та експлуатанти продукції також можуть стикнутися з необхідністю проведення калібрування та/або повірки засобів виміральної техніки (ЗВТ) для підтвердження відповідності ЗВТ, які застосовують під час визначення та підтвердження параметрів та характеристик продукції, встановленим вимогам щодо метрологічних характеристик цих ЗВТ.

Калібрування та/або повірку ЗВТ можуть проводити наукові метрологічні центри (НМЦ), метрологічні центри (МЦ), калібрувальні лабораторії (КЛ) та повірочні лабораторії (ПЛ). НМЦ та МЦ відповідно до Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» [2] належать до структури національної метрологічної служби України та сфери управління ЦОВМ (центральний орган виконавчої влади), завданням якого є реалізація державної політики у відповідній сфері.

Тривалий час НМЦ та МЦ, які на даний час є державними підприємствами (ДП), займали монопольне становище на ринку надання метрологічних послуг з повірки ЗВТ, які застосовуються у сфері законодавчо регульованої метрології. Однак, зміни в законодавстві та розвиток конкуренції призвели до появи приватних ПЛ.

Відповідно до інформації Мінекономіки: станом на вересень поточного року уповноваження на повірку ЗВТ мають 66 організації, з яких: 53 – ПЛ приватної форми власності; 13 – ДП. [3]. Станом на грудень 2023 року уповноваження на повірку ЗВТ мали 79 організації, з яких: 49 – ПЛ приватної форми власності; 30 – ДП. Слід зазначити, що частину МЦ було реорганізовано у філії інших МЦ [4], тобто кількість самостійно діючих МЦ скоротилась внаслідок реорганізації. Також, в зв'язку з втратою з 28 серпня 2025 р. чинності Господарського кодексу України ДП упродовж 3 років мають провести зміни організаційно-правової форми [5].

Отже, наразі МЦ перебувають у становищі конкурентної боротьби не тільки між МЦ та НМЦ з різних областей, як це було раніш, а й вже з переважаючою кількістю приватних ПЛ. З посиленням конкуренції питання економічної ефективності надання метрологічних послуг для МЦ виходить у центр уваги, що може призводити до скорочення асортименту та обсягів надання послуг з калібрування та повірки ЗВТ, які не надають прибутку чи є збитковими, незважаючи на потребу реалізації державної політики у сфері метрології та метрологічної діяльності. З іншої сторони, конкуренція між приватними ПЛ та МЦ може приводити до здешевлення та покращення умов надання метрологічних послуг для споживачів. Географічно приватні ПЛ здебільшого розташовані у крупних містах: Київ, Дніпро (табл. 1, складено автором на основі [3]). Недержавні ПЛ активно збільшують асортимент метрологічних послуг, зокрема – повірки ЗВТ, розширюючи галузь/сферу уповноваження (табл. 2, складено автором на основі [3]).

Таблиця 1 – Місцезнаходження приватних ПЛ

Місцезнаходження приватних ПЛ	Кількість ПЛ
м. Київ	17
м. Дніпро	6
Київська обл. (крім м. Київ)	4
Одеська область (крім м. Одеса)	3
м. Рівне, Полтава,	3
м. Одеса,	2
м. Житомир	2
Інші	13
Всього:	53

Таблиця 2 – Кількість документів галузі/сфери уповноваження приватних ПЛ (перші три місяці)

Місцезнаходження ПЛ	Кількість документів
Одеська область	9
м. Рівне	6
м. Дніпро	5

В той же час ДП не мають такої кількості доповнень у своїх сферах/галузях уповноваження, що з однієї сторони може обумовлюватися довготривалим усталеним розвитком та здійсненою реалізацією можливостей цих ДП, а з іншої – переважаючим розвитком приватних ПЛ, збільшенням їх номенклатури послуг, створення конкуренції ДП та іншим ПЛ з метою збільшення своєї частки на ринку метрологічних послуг.

Висновки: МЦ здійснюють свою діяльність в умовах посилення конкуренції зі сторони приватних ПЛ, що з однієї сторони надає споживачу метрологічних послуг можливість вибору більш привабливих за ціною та умовами надання послуг виконавців, а з іншої – створює ризик скорочення асортименту послуг, які не надають прибутку або є збитковими, що може ускладнити споживачам (наприклад, дослідникам, розробникам, експлуатантам нової продукції) отримання потрібних метрологічних послуг.

Література

1. Система розроблення та поставлення продукції на виробництво. Настанови щодо розроблення та поставлення на виробництво нехарчової продукції, ДСТУ 8634:2016, 2016.
2. Верховна Рада України. (2014, Черв. 5). Закон № 1314-VII, Про метрологію та метрологічну діяльність.
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1314-18#Text>.
3. Мінекономіки. База даних про наукові метрологічні центри, метрологічні центри і повірочні лабораторії, уповноважені на проведення повірки засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації. <https://me.gov.ua/view/3eb91c04-0881-4090-a89c-a1c4bc28abd6>.
4. ДП «Харківстандартметрологія». Повідомлення про припинення Державного підприємства...
<https://khsms.com/wp-content/uploads/2024/02/povidomlennya.pdf>.
5. Верховна Рада України. (2025, Січ. 1). Закон № 4196-IX, Про особливості регулювання діяльності юридичних осіб окремих організаційно-правових форм у перехідний період та об'єднань юридичних осіб. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4196-20#Text>.

*Мельничук Ю.О., Осінов О.С., Старик С.П.,
Мельничук Б.Ю.* Інститут надтвердих матеріалів
ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ

ПРОДУКТИВНІСТЬ ФІНІШНОЇ ОБРОБКИ РІЗАЛЬНИХ ПЛАСТИН ГРУПИ VL З КУБІЧНОГО НІТРИДУ БОРА

В останні роки активно розробляються нові покоління матеріалів інструментального призначення, які мають різні експлуатаційні характеристики та області застосування. Композиційні матеріали на основі кубічного нітрида бора (КНБ) можуть суттєво відрізнитись за фізико-

механічними властивостями та структурою. Це залежить від об'ємного вмісту КНБ, виду добавок та їх кількості, зернистості порошків КНБ, що використовуються при спіканні полікристалів, Р-Т умов спікання та інших факторів. В залежності від вмісту КНБ такі матеріали розділяються на групи ВН (high-CBN grades, вміст КНБ 70–95%) та ВL (low-CBN grades, вміст КНБ 45–65%) з керамічною матрицею на основі різних сполук TiN, Ti(C,N), TiC, TaN, TiB₂, Si₃N₄, SiC, МАХ-фази (наприклад Ti₃SiC₂), що зумовлено їх високою твердістю, значним модулем пружності, хімічною стабільністю, високим опором корозії та високою зносостійкістю.

Різальні пластини з таких матеріалів повинні характеризуватись високою чистотою обробки передніх та задніх поверхонь, якістю загострення (округлення) різального клина, що суттєво впливає на якість обробленої поверхні, продуктивність процесу різання, стійкість інструменту. На сьогодні ретельних досліджень процесів механічної обробки композиційних матеріалів на основі КНБ різних складів інструментального призначення не проводилось.

Після спікання в апаратах високого тиску (АВТ) типу тороїд композиційні матеріали мають вигляд неправильної геометричної фігури, що далеко нагадує форму циліндра. В залежності від стану твердосплавних матриць та кількості попередньо проведених спікань такі заготовки різальних пластин можуть суттєво відрізнятись за розмірами, наявністю великих виступів та впадин, іншими дефектами.

Абразивна обробка надтвердих матеріалів на основі КНБ є порівняно складним процесом, пов'язаним з високою твердістю та зносостійкістю, а також підвищеною крихкістю таких полікристалів. Така обробка проводиться виключно із використанням алмазного інструменту двома методами: алмазними шліфувальними кругами та з використанням вільних абразивних порошків.

В даній роботі досліджували оброблюваність композитів групи ВL на базі трьох основних компонентів: cBN, TiC, TiN: cBN-TiC (55–45 об.%), cBN-TiN (55–45 об.%). Порівняння проводили із оброблюваністю композиту групи ВН типу борсиніт (97 об.% cBN, 3 об.% Si₃N₄) та композиту cBN-TiCN-Al (90–7–3 об.%). Всі зразки для проведення досліджень були виготовлені в ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України.

Порівняльну оцінку продуктивності механічної обробки різних композитів проводили на шліфувально-полівувальному верстаті з використанням вільного абразиву (алмазного порошку АСМ 20/14). Для цього поверхню чавунного притиру шаржували однаковою кількістю (0,5 г) алмазного порошку та проводили обробку протягом 30 с. Після

проведення обробки з пластин ретельно видалявся шлам та визначалась зміна товщини та маси всіх оброблюваних зразків.

Аналіз отриманих результатів показав, що після проведення обробки в однакових умовах зміна розмірів та маси пластин з різних композитів на основі КНБ суттєво відрізняється. Маса композитів з високим об'ємним вмістом КНБ (90–97%) змінюється на 1,9–2,7%, у той час як у процесі обробки композитів групи ВЛ (55 об.% КНБ) видаляється 8,1–9,3% їх вихідної маси. Порівняльний аналіз показує, що із зменшенням об'ємного вмісту КНБ з 97–90% до 55% в композитах маса видаляемого матеріалу збільшується у 3,3–4,7 рази.

Отримані результати свідчать про те, що продуктивність обробки композитів групи ВЛ на прикладі матеріалів cBN-TiC (55–45 об.%) та cBN-TiN (55–45 об.%) в 4,0–4,6 рази вище у порівнянні із композитами з високим вмістом КНБ типу борсиніт (97% об. КНБ). Із зменшенням вмісту КНБ в композитах групи ВЛ до 90% різниця в продуктивності обробки у порівнянні з композитами групи ВЛ (55 об.% КНБ) зменшується до 2,9–3,3 разів.

Роботу виконано за підтримки Національного фонду досліджень України в рамках проєкту «Розбудова центру колективного користування ІНМ НАН України як науково-інструментальної бази для створення передових надтвердих композиційних матеріалів» (реєстраційний номер 2023.05/0007)

*Морозенко О.С. Інститут надтвердих матеріалів
ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ*

ДЕКОТРІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ В СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАДАЧАХ

Поняттям цифровий двійник (ЦД, Digital Twin) просякнута концепт Індустрії 4.0. Як зазначено в [1] цифровий двійник інструменту має бути інтегрований у сучасні CAD/CAM-системи, він спрощує вибір інструменту для певних завдань, при цьому має бути опрацьований великий обсяг інформації щодо його геометричних параметрів, умов використання, оброблюваних матеріалів, досвіду експлуатації, тощо, крім того, вся інформація повинна постійно оновлюватися. Високорівневу архітектуру побудови такої системи, налаштованої на зберігання та контроль вищезазначених даних на основі ISO 13399, описано в [2].

Цікавий досвід побудови ЦД інструменту (не металорізального, а інструментів ливарного виробництва – що не змінює суті справи) навів

концерн Sarginsons [3], де ЦД використовувався для ітеративного проектування та віртуальної валідації відливок на ранніх стадіях НДДКР (Проект PIVOT – Performance Integrated Vehicle Optimization Technology), що стало можливим завдяки інтеграції великого масиву даних про затвердіння алюмінієвих відливок, симуляцій ЦД та алгоритмів топологічної оптимізації в єдине цифрове рішення. Симуляції же ЦД, своєю чергою, були побудовані на параметричній оптимізації моделі з урахуванням локалізованих навантажень та умов експлуатації (Targeted Yield Engineering, TYE), що дозволило запропонувати нові інженерні рішення з підтвердженою ефективністю на віртуальному рівні без необхідності виконання реального лиття на кожному етапі.

Цей, а також досвід багатьох інших підприємств дає можливість сформулювати основні переваги та доводи щодо інвестування в побудову системи ЦД заданого технологічного процесу або ж інструменту:

- скоротити час виходу на ринок різального інструменту – від розробки до серійного виробництва;
- скоротити час виходу на ринок готового виробу завдяки цифровому підбору та віртуальній обкатці інструментів для механічної обробки – без потреби у фізичних обкатках і пробних обробках.

Загальна інтелектуальна мапа (Mind map), що дозволяє структурувати напрямки розвитку теми, окреслити задачі, а також планувати ресурси і ризики на прикладі різального інструменту виробництва ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України, наведена на рис. 1 [4].

Література

1. Жовтобрюх, В.О. Industry 4.0 : розумний інструмент для розумного виробництва / В.О. Жовтобрюх // Мат. між народ. наук.-техн. конф. «Нові та нетрадиційні технології в ресурсо- та енергозбереженні», 11–12 грудня 2024, м. Одеса. – Одеса : ОНМУ, 2024. – С. 52–54.

2. Морозенко, О.С. Цифрові двійники у PLM-системах: розвиток управління життєвим циклом металорізальних інструментів / О.С. Морозенко // Мат. між народ. наук.-техн. конф. «Нові та нетрадиційні технології в ресурсо- та енергозбереженні», 11–12 грудня 2024, м. Одеса. – Одеса : ОНМУ, 2024. – С. 106–108.

3. Цифрові двійники та ітеративне проектування в ливарному виробництві // Обладнання та інструмент для професіоналів. – 2025. – № 2 (252). – С. 72–73.

4. Altintas, Y. Virtual process systems for part machining operations / Y. Altintas, P. Kersting, D. Biermann, E. Budak, B. Denkena, I. Lazoglu // CIRP Ann. – Manufact. Technol. – 2014. – Т. 63, № 2. – С. 585–605.

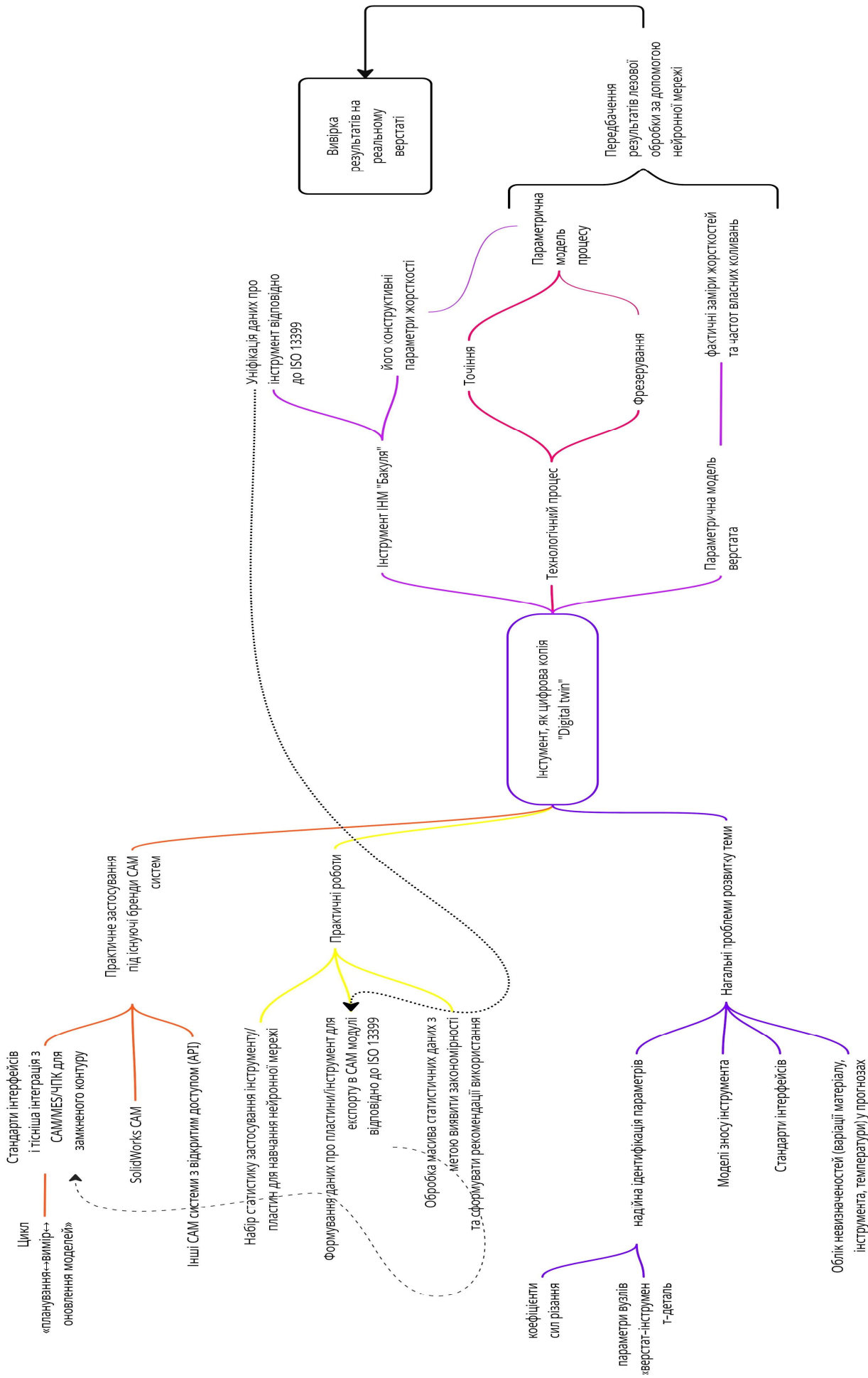


Рис. 1 – Інтелект-карта теми: напрями, завдання, ресурси та ризики

*Олійник Н.О., Ільницька Г.Д., Базалій Г.А.,
Заболотний С.Д.* Інститут надтвердих матеріалів
ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ,
Сизоненко О.М. Інститут імпульсних процесів
і технологій НАН України, Миколаїв
Циба М.М. Інститут сорбції та проблем
ендоекології НАН України, Київ

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ СТАНУ ПОВЕРХНІ ПОРОШКІВ СИНТЕТИЧНОГО АЛМАЗУ ВИХІДНИХ ТА ПІСЛЯ МОДИФІКУВАННЯ

Порошки синтетичного алмазу застосовують для створення композиційних матеріалів з певною якістю за адсорбційно-структурними, фізико-механічними та експлуатаційними характеристиками для використання при виготовленні абразивних інструментів, а також матеріалів з високою щільністю та однорідною гетерофазною структурою.

Відомо, що адсорбційно-структурні характеристики порошку алмазу впливають в значній мірі на міцність закріплення зерен порошку в матриці робочого шару інструменту та на його різальну спроможність.

Мета даної роботи – дослідження на кількісному рівні зміни стану поверхні порошків синтетичного алмазу вихідних та після модифікування за адсорбційно-структурними характеристиками.

Дослідження адсорбційно-структурних характеристик, зокрема розподілу пор за розміром та за об'ємом пор (що розраховані на основі методу вимірювання ізотерм низькотемпературної сорбції азоту), проводили на зразках порошків: мікропорошку марки АСМ зернистістю 20/14, шліфпорошків марки АС20 зернистістю 100/80; марки АС6 зернистістю 125/100; марки АС 100 зернистістю 400/315, вихідних (ДСТУ 3292-95) та після їх модифікування хімічним способом та застосовуючи імпульсну обробку високовольтними електричними розрядами (ВЕР).

Визначення зміни стану поверхні порошків за адсорбційно-структурними характеристиками проводили за допомогою газоадсорбційного аналізатора NOVA 2200 (Quantachrome, USA). Визначали ізотерму методом низькотемпературної адсорбції-десорбції азоту (77 К) при $p/pS = 0,99$, за якою визначали питомий об'єм пор V_n (см³/г), середній радіус пор R_n (нм), об'єм та радіус мікро- та мезопор; сумарний об'єм пор, розподіл пор за розмірами, середній радіус пор – методом DFT. Проводили порівняльний аналіз за результатами лінійної апроксимації кривих розподілу пор за розміром (табл. 1, 2).

Таблиця 1 – Адсорбційно-структурні характеристики зразків шліф- та мікропорошків синтетичного алмазу, вихідних та після модифікування

Порошок алмазу (ДСТУ 3292-95)	Спосіб модифікування	Зразок №	Середній радіус пор (метод DFT), нм	Об'єм пор, інтервал розміру пор (метод DFT)			
				сумарний об'єм пор, $V \cdot 10^{-3}$, $\text{см}^3/\text{г}$	інтервал радіусу сумарного об'єму пор, нм	об'єм мезопор $V \cdot 10^{-3}$, $\text{см}^3/\text{г}$	інтервал радіусу мезопор, нм
АСМ зернистість 20/14	вихідний порошок	1	1,83	2,27	0,7–19,4	2,27	1,0–19,4
	хімічне	2	2,74	1,82	0,7–19,4	1,82	1,0–19,4
	вер	3	1,00	1,49	0,9–15,5	1,49	1,0–15,5
АС20 зернистість 100/80	вихідний порошок	4	1,42	0,90	0,3–17,2	0,88	1,0–17,2
	хімічне	5	1,55	0,57	0,3–17,2	0,54	1,0–17,2
АС6 зернистість 125/100	вихідний порошок	6	2,44	0,82	1,0–37,7	0,82	1,0–37,7
	хімічне	7	2,44	1,22	0,7–37,1	1,22	1,0–37,1
АС100 зернистість 400/315	вихідний порошок	8	2,18	0,05	0,7–25,1	0,05	1,0–25,1
	хімічне	9	2,04	0,07	0,7–25,1	0,07	1,0–25,1

Таблиця 2 – Результати лінійної апроксимації кривих розподілу пор за розміром

Зразок №	Лінійна апроксимація кривих розподілу пор за розміром ($y = ax + b$)						Частка об'єму мезопор в сумарному об'ємі пор, (a_2/a_1) , %
	Коефіцієнти рівняння кривих розподілу пор за сумарним об'ємом пор		Достовірність апроксимації, R^2	Коефіцієнти рівняння кривих розподілу пор за сумарним об'ємом мезопор		Достовірність апроксимації, R^2	
	$a_1 \cdot 10^{-3}$	$b_1 \cdot 10^{-3}$		$a_2 \cdot 10^{-3}$	$b_2 \cdot 10^{-3}$		
1	0,1294	0,4266	0,69	0,1170	0,5714	0,66	90,42
2	0,1130	0,0732	0,85	0,1073	0,1434	0,83	94,96
3	0,1061	0,1939	0,78	0,0966	0,2885	0,75	91,05
4	0,0561	0,0932	0,84	0,0406	0,2829	0,87	72,37
5	0,0367	0,0270	0,89	0,0306	0,1019	0,86	83,38
6	0,0235	0,1173	0,83	0,0222	0,1474	0,83	94,47
7	0,0352	0,0842	0,91	0,0338	0,1178	0,91	96,02
8	0,0022	0,0085	0,69	0,0019	0,0012	0,65	86,36
9	0,0032	0,0172	0,61	0,0028	0,0242	0,56	87,50

Досліджені зразки мають розвинену мезопористу структуру поверхні, про що свідчить частка об'єму мезопор в сумарному об'ємі пор у вихідних порошків 72–96%, а після модифікування частка об'єму мезопор збільшується на 1–9%. Порівняльний аналіз результатів за коефіцієнта-

ми лінійної апроксимації кривих розподілу пор за розміром дає змогу отримати на кількісному рівні показник (a_2/a_1) зміни стану поверхні порошків, що може слугувати характеристикою якості поверхні порошку при вивченні дефектності поверхні зерен синтетичного алмазу та її впливу на експлуатаційні характеристики алмазного інструменту.

Дослідження виконано за темою III-4-25 (0789). Держ. реєстрац. № 0125U000040. Пост. Бюро ВФТПМ НАНУ від 10.12.2024 р., протокол № 23 та за Меморандумом №18, 19.06.2025 р. про співпрацю між ІІІТ НАН України та ІНМ ім. В.М.Бакуля НАН України

*Осіпов О.С., Мельнійчук Ю.О., Чумак А.О.,
Стратійчук Д.А., Русінова Н.О., Гажжа Г.П.,
Мельнійчук Б.Ю. Інститут надтвердих матеріалів
ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ*

ТЕРМОБАРИЧНЕ СПІКАННЯ ЗРАЗКІВ КОМПОЗИТУ PDC У СИСТЕМІ АЛМАЗ-Fe₃C-WC/Co

Подальший розвиток нових видів бурового інструменту безпосередньо пов'язаний з розробками нових надтвердих композиційних матеріалів на основі алмазу, що мають високий рівень зносостійкості, міцності та термостійкості. При цьому необхідно відзначити сучасні науково-технічні розробки, метою і результатом яких стало достатнє збільшення показника зносостійкості різального алмазовмісного шару композитів, що одержуються методом спікання в умовах високих тисків і температур [1–2].

Ступенем міцності, зв'язності такого алмазного каркаса, де між окремими алмазними частинками утворюється міжкристалітний зв'язок, і визначатиметься високий рівень показника зносостійкості спеченого матеріалу. У свою чергу, зносостійкість є основною експлуатаційно-технічною характеристикою всіх композитів, які застосовують для оснащення бурового інструменту. Пошук нових речовин і сполук, які будуть використовуватися як активуючі добавки в процесі термобаричного рідкофазного спікання алмазних мікропорошків з метою збільшення зносостійкості одержуваних композитів, є актуальним завданням.

Аналіз результатів дослідження з отримання синтетичних алмазів у системі Fe₃C-графіт свідчить про можливість використання карбіду за-

ліза як активуючу добавку в процесі спікання алмазного мікропорошку з метою формування структури високоміцного алмазного каркасу [3].

Метою даного дослідження було отримання композиту PDC методом зустрічного просочення шару алмазного мікропорошку розплавом Fe_3C -C і розплавом системи Co-WC-C з твёрдосплавної підкладки, визначення особливості мікроструктури композиту і оцінка його зносостійких характеристик.

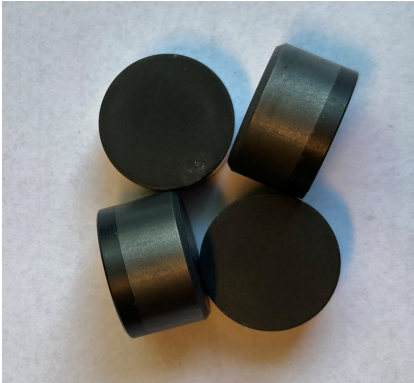


Рис. 1 – Зразки композиту PDC, отриманого в системі алмаз- Fe_3C -WC/Co

Термобаричне спікання зразків композитів діаметром 13,5 мм і загальною висотою 8,0 мм було проведено в апараті високого тиску типу тороїд з діаметром лунки 30 мм та загальною висотою контейнера 22 мм, відповідно до патенту [4]. Зразки композиту PDC були отримані при тиску 7,7 ГПа, температурі 2000 К і тривалості нагріву 3 хв. Зразки після алмазної абразивної обробки показані на рис. 1.

На основі результатів рентгенофазового аналізу (рис. 2), досліджень мікроструктури при мікрорентгеноспектрального аналізу та оцінки щільності спеченого алмазовмісного шару композита було встановлено, що верхній різальний шар товщиною до 1,2 мм має двофазну структуру алмаз- Fe_3C з об'ємним вмістом фази алмазу 92,1% і об'ємним вмістом фази карбіду заліза 7,9% (щільність дорівнює $3,82 \text{ г/см}^3$).

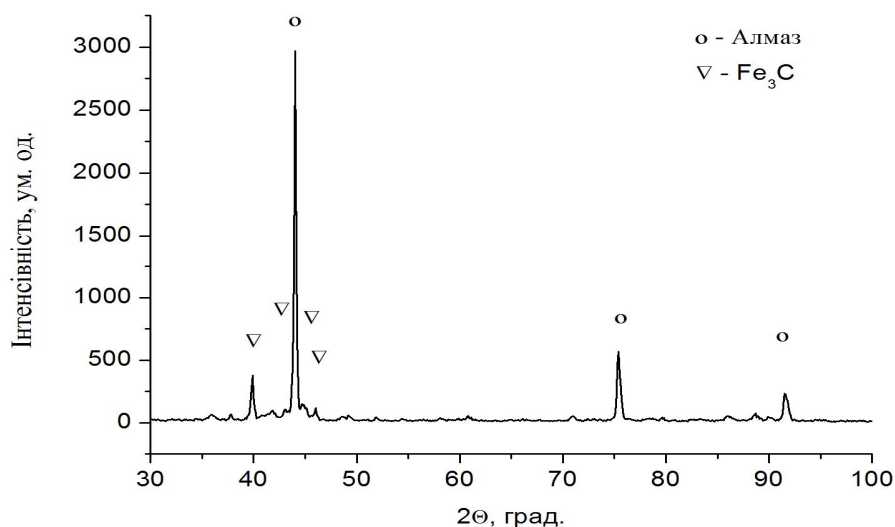


Рис. 2 – Фрагмент дифрактограми алмазовмісного різального шару, отриманого в системі алмаз- Fe_3C -WC/Co

Встановлено, що при обробці граніту в режимі переривчастого то-чіння показник зносостійкості алмазовмісного різального шару композиту PDC, отриманого в системі алмаз-Fe₃C-WC/Co, перевищує в 1,4–1,5 рази аналогічну характеристику зразків PDC виробництва фірми Dong'e Zuanbao Diamond Corporation (Китай), призначених для оснащення бурового інструменту.

Таким чином, вперше отримані зразки PDC з різальним алмазовмісним шаром зі структурою алмаз-Fe₃C. Композит показує високі експлуатаційні характеристики для застосування у якості різальних елементів в буровому інструменті.

Роботу виконано за підтримки Національного фонду досліджень України в рамках проєкту «Розбудова центру колективного користування ІНМ НАН України як науково-інструментальної бази для створення передових надтвердих композиційних матеріалів» (реєстраційний номер 2023.05/0007).

Література

1. Lia, Guangxian. The manufacturing and the application of polycrystalline diamond tools – A comprehensive review / Guangxian Lia, Mohammad Zulafif Rahim, Wencheng Pan, Cuie Wena, Songlin Ding // J. of Manuf. Proc. – 2020. – Vol. 56. – P. 400–416.

2. Osipov, A.S. Diamond-CaCO₃ and diamond-Li₂CO₃ materials sintered using the HPHT method / A.S. Osipov, P. Klimczyk, S. Cygan et al. // J. of the Eur. Cer. Soc. – 2017. – Vol. 37. – P. 2553–2558.

3. Yin, Long-Wei. Diamond formation using Fe₃C as a carbon source at high temperature and high pressure / Long-Wei Yin., Mu-Sen Li., Jian-Jun Cui et al. // J. of Crystal Growth. – 2002. – Vol. 234. P. 1–4.

4/ Патент на винахід № 91173 Україна, МПК (2009) B01J 3/06, B30B 15/02. Пристрій для створення високого тиску/ О.С. Осіпов, М.О. Бондаренко, І.А. Петруша, А.Г. Гаран – Заявл. 05.11.09, Опубл. 25.06.10, Бюл. №12.

СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ НА ПІДПРИЄМСТВІ В СУЧАСНИХ УМОВАХ

Ринок сьогодення створює жорсткі умови для існування виробничої компанії, перевірка її конкурентоспроможності. Основною запорукою успішності є здатність швидко адаптуватися до плинних умов, гнучкість технологій, стабільна якість продукції, додержання умов контрактів. Все це і робить фірму цікавою для замовника.

Але реальність вносить свої корективи. Під впливом зовнішніх факторів умови існування стають наджорсткими. Політична нестабільність, воєнні конфлікти, війни тощо все це спричиняє низку подій, які в свою чергу, запускають ланцюг факторів майже вбивчий для бізнесу, який звик до розміреності буття. Сьогодні фраза Дарвіна «survival of the fittest» (з *англ.* виживання найпристосованіших), як ніколи влучно відображає ситуацію на ринку і набуває більшого сенсу. «It is not the strongest of the species that survives, nor the most intelligent, but rather the one most adaptable to change» Charles Robert Darwin (з *англ.* «Виживає не найсильніший і не найрозумніший представник виду, а той, хто найкраще адаптується до змін»). Чарльз Роберт Дарвін).

В цих надскладних умовах потрібно не тільки забезпечити працездатність виробництва (безперебійне постачання сировини, матеріалів тощо, зберегти ресурси людські і матеріальні), але й довести цю спроможність працювати і виконувати умови контракту замовникам не дивлячись на всі ризики.

Є різні аспекти досягнення цієї задоволеності замовника, але рівень ризику залишається значним. Тобто замовник повинен бути дуже зацікавлений.

Такі зовнішні умови наче лакмус виявили всі негаразди. Наприклад, це, як не сумно, наочна перевірка формальна система управління якістю на підприємстві чи реально діюча. Не шляхом перевірки наявності в фірмі сертифікатів відповідності, серії стандартів ISO 9000 чи інших, тобто відповідності процесів функціонування заявленим вимогам, не шляхом проведення аудиту фірми, а наочна демонстрація можливостей з прийняття і обробки ризиків, змін зовнішнього і внутрішнього середовища та реакція на ці зміни. Як раз в таких умовах перевіряються не документи, а оцінюються процеси, їх життєздатність.

Це безумовно складний процес, але не неможливий. Особливо це важливе саме в виробничих сферах. Складніші умови в галузях де

діють спеціальні (додаткові) вимоги та правила. Тут залишаються регулятивні норми, які, в силу певних причин, набагато повільніше реагують на зміни ззовні. Таким фірмам додається ще один важливий чинник впливу на ризики. Все це впливає на впевненість виконавця і безумовно замовника. При цьому значно вищому ризику, зберегти довіру замовника до постачальника (виконавця) стає над завданням, виконати яке можна тільки знаходячись в безперервному процесі змін (реакція на зовнішні і внутрішні фактори), що мають на меті забезпечення функціонування процесів.

*Посвятенко Н.І., Кулин О.В. Національний транспортний університет, Київ,
Мельник Т.В. Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків*

АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ВИХРОСТРУМОВОГО МЕТОДУ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРИПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ МАТЕРІАЛІВ

Питанням неруйнівного контролю (НК) якості продукції завжди приділялась особлива увага в усіх промислово розвинених країнах. Адже високий рівень якості продукції визначає ступінь технічного прогресу.

До особливостей сучасної дефектоскопії слід віднести те, що, не дивлячись на широку номенклатуру приладів неруйнівного контролю, що випускаються серійно, у кожному окремому випадку через низку специфічних вимог (особливості структури і властивостей матеріалу, форми контрольованого виробу, вимог замовника і т.п.), виникає необхідність додаткових досліджень і розробку спеціалізованого обладнання. Крім того, у ряді випадків такий шлях є більш економічно прийнятним для замовника.

В основу класифікації методів неруйнівного контролю покладені фізичні процеси взаємодії фізичного поля або речовини з об'єктом контролю. З точки зору фізичних явищ виділяють 10 видів контролю: магнітний, електричний, вихрострумівий, радіохвильовий, тепловий, оптичний, радіаційний, акустичний і проникаючими речовинами [1, 2].

Сучасний етап розвитку НК характеризується переходом від якісного контролю за принципом "Є дефект - Немає дефекту" до кількіс-

ного контролю з визначенням параметрів виявлених дефектів [1, 5]. Це має велике значення при експлуатації відповідальних конструкцій, де кількісна інформація про дефекти дозволяє дати їх об'єктивну оцінку для визначення ресурсу. Не менш важливим є кількісний контроль у виробництві, де параметри дефектів визначають якість виробу і можливість його доробки.

Прикладом може служити рішення задачі визначення глибини дефектів на основі вихрострумового дефектоскопу ВД-30 НК в ЗАТ "РАКС" (м. Дніпродзержинськ). За результатами досліджень в пам'ять дефектоскопа було «зашифо» відповідну характеристику, що дозволило проводити безпосередній відлік глибини дефекту в міліметрах з точністю до 10% в діапазоні глибин до 3 мм. При більшій глибині дефектів помилка збільшується і сягає 25% від глибини дефекту. Вказаної точності виявилось достатньо, щоб на основі використання приладу ВД-30 НК зменшити брак по поверхневих дефектах. Зокрема, з партії спочатку вибракуваних виробів були відібрані вироби з дефектами, глибина яких дозволяла провести обточування в межах допустимого діаметру виробу [3].

У загальному вигляді задача визначення параметрів дефектів є достатньо складною проблемою. Для повної оцінки дефекту необхідно визначити його тип, довжину (для тріщин) або ефективний діаметр (для локальних дефектів), глибину дефектів, її нахил щодо поверхні, а також глибину залягання для підповерхневих дефектів. Для вирішення цих задач використовують підходи, які базуються на наявності кореляційних зв'язків між параметрами дефекту і параметрами сигналу контролюючого приладу. Сучасні системи кількісного контролю мають функції навчання, забезпечують поліпшення своїх характеристик в процесі роботи, що дозволяє відносити їх до систем штучного інтелекту. Проте, треба відзначити, що поки що ці роботи носять експериментальний характер [6].

В останні роки можна спостерігати значне зростання цікавості до вихрострумового методу (ВМ) у всіх галузях промисловості. Непрямим підтвердженням цього може бути кількість доповідей на 8-й Європейській конференції по НК в Барселоні, де за кількістю доповідей ВМ вперше зайняв почесне друге місце. На українських конференціях кількість доповідей по ВМ складає від 1 до 9%, що красномовно говорить про недостатню увагу до нього в нашій країні [2, 6].

Електромагнітні (вихрострумові) методи контролю засновані на взаємодії або аналізі взаємодії зовнішнього електромагнітного поля з електромагнітним полем вихрових струмів, що наводяться збудливою

катушкою в електропровідному об'єкті контролю. Щільність вихрових струмів в об'єкті контролю (ОК) залежить від його геометричних параметрів, також від електромагнітних параметрів досліджуваного об'єкту.

Особливість вихрострумовею контролю (ВСК) полягає в тому, що його можна проводити без контакту перетворювача і об'єкту контролю (ОК). Також найважливішою особливістю ВСК є те, що на сигнали перетворювача практично не впливають такі величини, як вогкість, тиск, забрудненість середовища, різні радіоактивні випромінювання.

Області застосувань ВСК достатньо широкі. Це дефектоскопія, товщинометрія і термометрія.

В дефектоскопії ВСК, як правило, застосовується для контролю якості електропровідних об'єктів: різних металів, сплавів, напівпровідників, а також виявляються дефекти типу різних несучільностей, які виходять на поверхню об'єкту або залягаючих на невеликій глибині, різноманітні тріщини, раковини, розшарування, крім того, різні металеві включення.

В товщинометрії за допомогою цих методів визначають геометричні параметри виробу. Товщина, що вимірюється, може лежати в межах від мкм до декількох десятків мм. При використуванні цих методів в товщинометрії погрішність складає 2–5%. Мінімальна площа зони контролю складає 1 мм^2 , що у свою чергу дозволяє вимірювати товщину покриття на малих об'єктах складної конфігурації.

В процесі свого розвитку ВМ освоював все більш низькі і все більш високі робочі частоти [5]. Освоєння робочих частот до 10 МГц дозволило вирішити задачі виявлення дефектів в матеріалах, що погано проводять струм, з питомою електропровідністю менше 1 МСм/м , до яких відносяться багато композитних матеріалів, вуглепластики і деякі види кераміки. Унікальні можливості відкриває використання робочих частот в межах декількох сотень мегагерц. На цих частотах забезпечується локалізація вихрових струмів в тонкому поверхневому шарі, що підвищує чутливість і роздільну здатність ВМ. Підвищені робочі частоти можуть знайти застосування при виявленні дрібних дефектів в графітних матеріалах, оцінці зносу алітованих шарів лопаток з жаростійких сталей, визначенні початкових стадій межкрісталітного ураження аустенітних сталей і ін [5].

У вихрострумівій дефектоскопії все ширше застосовуються сучасні методи обробки сигналів і представлення інформації на основі послідовної інтерпретації великих об'ємів даних. Для ідентифікації і аналізу сигналів ВСП використовують різного типа кластеризуючі алгоритми, двовимірні цифрові фільтри, методи реконструкції дефекту із

застосуванням голографічних принципів, алгоритми нечіткої логіки і нейронних мереж. Розвиваються також способи двовимірної візуалізації результатів ВК [7]. Але найбільш унікальні перспективи відкриває застосування принципів вихрострумової томографії, яка забезпечує можливість отримання і аналізу перетинів КО в різних площинах. Сьогодні широке практичне застосування вихрострумової томографії обмежено низькою швидкістю існуючих томографічних систем. Але за ними, безумовно, майбутнє вихрострумового методу.

Причини, які стримують розвиток ВМ, це відсутність універсальних вихрострумових дефектоскопів (ВД) вітчизняного виробництва. Задачу створення сучасного універсального ВД поставлено в НПФ «Промприлад», де створений прилад ВД 89-НМ (ОКО-01) [4]. На його основі можуть розв'язуватися найрізноманітніші задачі вихрострумової дефектоскопії.

Особливу увагу необхідно звернути на традиційно нерозвинену нормативно-методичну базу ВМ. Певні проблеми можуть з'явитися і при метрологічній атестації універсальних ВД в рамках діючих стандартів, які було розроблено стосовно дефектоскопів, що вирішували обмежений круг задач. Тому в них закладаються параметри чутливості, які визначають на стандартних зразках із штучними дефектами. Реалізувати такий підхід для ВД з широким спектром можливостей не реально. На практиці цю суперечність обходять шляхом атестації ВД для конкретної задачі, що не відображає можливостей приладу. Більш придатний в цьому випадку підхід, який реалізовано в європейському стандарті (EN 13860-1. Eddy current examination. Equipment characteristics and verification. Part T. Instrument characteristics and verification). Тут ВД розглядається, як засіб отримання необхідного сигналу для збуджуючих обмоток вихрострумового приладу (ВСП), і засіб обробки і відображення сигналу ВСП в зручному для оператора вигляді. Параметри чутливості і відповідні стандартні зразки використовуються тільки при перевірці ВСП (друга частина стандарту). Тому в Україні ситуацію частково можна виправити шляхом гармонізації і ухвалення європейських стандартів.

Таку роботу, в першу чергу, необхідно провести за стандартами, які торкаються загальних питань і устаткування. Надалі, необхідно розглянути достатньо велику кількість європейських стандартів по ВК продукції, зокрема зварних швів. Необхідно також звернути увагу на необхідність розробки галузевих нормативних документів і стандартів, в яких можна узагальнити накопичений позитивний досвід використання ВМ.

Окремого розгляду вимагає питання якості підготовки фахівців. В Україні немає центру, в якому фахівці проходили б навчання на сучасних універсальних ВД з широким спектром можливостей. Навчання проводять, як правило, на дефектоскопах індикаторного типу, призначених для виявлення поверхневих дефектів. В процесі навчання фахівці не одержують практичних навичок щодо використання сучасних можливостей ВМ. Причина криється, перш за все, у відсутності відповідної вітчизняної апаратури і навчально-методичної літератури.

Усунути наявне відставання в розвитку і використанні ВМ в Україні можна тільки за умови конструктивної уваги до цієї проблеми і сумісних зусиль всіх зацікавлених сторін.

Література

1. Куц, Ю.В. Магнітний неруйнівний контроль : навч. посібник / Ю.В. Куц, А.Г. Протасов, В.К. Цапенко та ін. – Київ : НТУУ «КПІ», 2012. – 139 с.

2. Серебренніков, С.В. Порівняльні дослідження неруйнівних методів контролю для дефектоскопії деталей аксіально-поршневих машин / С.В. Серебренніков, Д.В. Трушаков, В.Г. Медяник // Мат. третьої Укр. наук.-техн. конф. «Неруйнівний контроль та технічна діагностика 2000». – Дніпропетровськ, 2000. – С. 187–188.

3. Учанин, В.М. Дослідження вихрострумів методів оцінки глибини довгих тріщин в феромагнітних матеріалах / В.М. Учанин, В.М. Гоголя, Г.Г. Луценко // Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів.– Львів : ФМІ НАН України, 2003.– Вип. 8.– С. 76–83

4. Джаганян, А.В. Створення нового універсального вихреструмівого дефектоскопа типу ВД 89-НМ (ОКО-01) / А.В. Джаганян, Г.Г. Луценко, В.М. Учанин // Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів.– Львів : ФМІ НАН України.– 2006.– Вип. 11.– С. 93–102

5. Учанин, В.Н. Вихретоковий контроль с применением повышенных рабочих частот / В.Н. Учанин. – Киев : Знание, 1990. –23 с.

6. Учанин, В.М. Можливість підвищення продуктивності вихреструмівого дефектоскопії при застосуванні мультидиференційних перетворювачів / В.М. Учанин, А.В. Яшан, Р. Беккер, М. Дискє // Мат. 4-й Нац. наук.-техн. конф. «Неруйнівний контроль та технічна діагностика» (НКТД-2003). – Київ, 2003. – С. 121–124.

7. Мок, Г. Визуализация результатов неразрушающего контроля вихретоковом методом / Г. Мок, В.Н. Учанин // Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів. – Львів : ФМІ НАН України, 2000. – Вип. 5. – С. 9.

Проц Л.А., Легета Я.П., Ковач В.В. Державний вищий навчальний заклад «Ужгородський національний університет», Ужгород

ОСОБЛИВОСТІ ВИКЛАДАННЯ ДИСЦИПЛІНИ «ВЗАЄМОЗАМІННІСТЬ, СТАНДАРТИЗАЦІЯ І ТЕХНІЧНІ ВИМІРЮВАННЯ» ДЛЯ ЗДОБУВАЧІВ ОСВІТИ СПЕЦІАЛЬНОСТІ G9 «ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА»

Дисципліна «Взаємозамінність, стандартизація і технічні вимірювання» (ВСТВ) є базовою складовою інженерної освіти, оскільки забезпечує знання про точність виготовлення та взаємозамінність деталей. Вона формує вміння застосовувати стандарти та методи вимірювання для контролю якості виробів і оптимізації виробничих процесів. Засвоєння курсу дозволяє майбутнім інженерам приймати технічно обґрунтовані рішення, що підвищують надійність і ефективність машин та механізмів [1–3].

У ДВНЗ «Ужгородський національний університет» ця освітня компонента посідає системоутворювальне місце при підготовці інженерів-механіків за спеціальністю G9 «Прикладна механіка» освітньої програми «Технологія машинобудування», забезпечуючи методологічну єдність конструкторської, технологічної та метрологічної підготовки. Актуальність курсу зумовлена потребою гармонізації національної та міжнародної стандартизації, упровадженням узгодженої української технічної термінології та переходом до компетентісно орієнтованих освітніх практик у контексті цифровізації виробництва.

Зміст курсу реалізовано за принципом «від креслення до приймального контролю» з інтеграцією типових для машинобудування тематик. У межах блоку «Основи взаємозамінності та технічні вимірювання» студенти опановують систему допусків і посадок ISO: від розуміння основних відхилень і полів допусків до практики вибору посадок для гладких циліндричних поверхонь (наприклад, обґрунтування вибору посадок із зазором/натягом для системи вал-отвір і розрахунок інтервалів натягу). Окремо розглядається вибір посадок для підшипників кочення з урахуванням характеру навантаження кілець і вимог до надійності вузла. У тематичному блоці з геометричних елементів подаються допуски кутових розмірів і взаємозамінність конічних з'єднань, акцентується вплив кутових відхилень на збірність і працездатність. Блок «Основи взаємозамінності та стандартизації» включає нормування точності циліндричних зубчастих коліс і передач із узагальненим переліком показників для кон-

тролю, а також побудову та аналіз розмірних ланцюгів (вирішення прямого завдання методом $\max\&\min$ і теоретико-ймовірнісним підходом) для складання типових вузлів. Практикоорієнтованим продовженням є модуль з різьбових та шпонкових і шліцьових з'єднань: параметри кріпильних різьб, поля допусків і посадки за ISO 965, принципи взаємозамінності та контролю; вибір розмірів і посадок для шпонкових і шліцьових з'єднань з узагальненням критеріїв сумісності.

Дидактична модель курсу базується на поєднанні проблемно-орієнтованого та проектного підходів із використанням сучасних цифрових інструментів. Типові інженерні кейси охоплюють повний цикл: інтерпретація креслення з позначеннями, обґрунтування вибору посадки (зокрема для системи вал-отвір і підшипникових вузлів), побудова розмірного ланцюга, складання плану контролю й аргументоване прийняття рішення щодо придатності. Для навчальної візуалізації застосовуються CAD із підтримкою позначень, демонстраційні приклади протоколів вимірювань та базові SPC-інструменти для ілюстрації стабільності процесів. Така архітектура забезпечує релевантність змісту виробничим практикам, зберігаючи академічну чіткість викладу.

Система оцінювання структурована через прозорі критерії та портфоліо здобувача. Оцінюванню підлягають: коректність специфікацій і добору посадок; адекватність розрахунків (натяги, розмірні ланцюги); обґрунтованість планів контролю; здатність інтерпретувати результати вимірювань з урахуванням невизначеності та правил приймання. Підсумковий пакет (креслення з позначеннями, розрахунки, план приймання для вибраного вузла) верифікує сформовані компетентності й демонструє готовність здобувача до інженерної діяльності.

Інтеграція дисципліни з освітньо-науковим середовищем та виробництвом реалізується через гостьові лекції практиків, аналіз анонімізованих виробничих документів і навчально-ознайомчі екскурсії на підприємства регіону. Водночас зберігається акцент на узгодженій українській технічній термінології, що мінімізує синонімію та неоднозначність у навчальних і виробничих текстах.

Таким чином, досвід ДВНЗ «УжНУ» засвідчує, що академічно вивірена модель викладання дисципліни «Взаємозамінність, стандартизація і технічні вимірювання», яка поєднує актуальні міжнародні стандарти, узгоджену термінологію, типові для машинобудування приклади (посадки, підшипники, зубчасті передачі, різьби, розмірні ланцюги) та критеріальне оцінювання, забезпечує цілісність і практичну релевантність професійних компетентностей здобувачів спеціальності G9 «Прикладна механіка».

Література

1. Базієвський, С.Д. Взаємозамінність, стандартизація і технічні вимірювання: підручник / С.Д. Базієвський, В.Ф. Дмитришин. – Київ : Вид. Дім «Слово», 2004. – 504 с.
2. Желєзна, А.О. Основи взаємозамінності, стандартизації та технічних вимірювань: навч. посіб. / А.О. Желєзна, В.А. Кирилович. – Київ : Кондор, 2004. – 796 с.
3. Іванов, Г.О. Взаємозамінність, стандартизація та технічні вимірювання. Практикум: підручник / Г.О. Іванов, В.С. Шебанін, Д.В. Бабенко, П.М. Полянський. – Миколаїв : МНАУ, 2016. – 428 с.

Рукавішников П.В., Баглай О.П., Жуга В.О.
Український державний університет
залізничного транспорту, Харків

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЯК ІНСТРУМЕНТ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЗВАРЮВАННЯ В СКЛАДНИХ УМОВАХ

Сучасне зварювальне виробництво все частіше стикається з необхідністю виконання робіт у складних умовах — зокрема, у відкритому середовищі, де на процес зварювання впливають численні зовнішні чинники: вітер, дощ, температура, забруднення, тощо. Це значно ускладнює контроль якості та стабільну якість зварних з'єднань.

Хоча погода може спричинити труднощі, зварювання завжди має відповідати стандартам якості. Процес проводиться відповідно до технічних умов зварювання, затверджених шляхом попередньої атестації. Висококваліфіковані зварювальні роботи виконуються в екстремальних умовах.

Інформаційні технології дають змогу значно покращити ефективність і безпечність зварювального процесу в нестандартних умовах. Їх впровадження дозволить автоматизувати налагодження обладнання, здійснювати контроль параметрів зварювання дистанційно, зберігати дані для подальшого аналізу, а також швидко реагувати на зміну зовнішніх умов завдяки адаптивним системам керування.

Використання інформаційних технологій у зварювальному виробництві є стратегічно важливим напрямом розвитку галузі, особливо в умовах відкритого середовища. Їх впровадження дозволить не лише

покращити якість зварних з'єднань, але й забезпечити ефективний моніторинг, автоматизацію, аналіз та управління процесами в реальному часі. У недалекому майбутньому такі технології стануть стандартом для підприємств, які прагнуть до цифрової трансформації та підвищення конкурентоспроможності.

Таким чином, використання інформаційних технологій у зварювальному процесі не лише покращує якість зварювання, але й підвищує продуктивність, знижує витрати та ризики, пов'язані з людським фактором.

Література

1. Сучасні інформаційні технології у промисловості // Зварювання і контроль. – 2022. – №4.
2. Official site of Fronius WeldCube – <https://www.fronius.com>
3. ISO 3834 «Quality requirements for fusion welding of metallic materials».

*Рябченко С.В., Федоренко В.Т., Сільченко Я.Л.,
Бандуренко М.В.* Інститут надтвердих матеріалів
ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ, Україна

ЯКІСТЬ ШЛІФУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ АБРАЗИВНИМИ КРУГАМИ ІЗ ХРОМИСТОГО КОРУНДА

Шліфування деталей авіаційних двигунів з жароміцних сплавів є суттєвою є проблемою. Для проведення робіт по шліфуванню деталей авіадвигунів використовувався фрагмент диску авіаційної турбіни з спеціального жароміцного сплаву ЕП742-ИД.

Було проведено дослідження якості обробки фрагменту диску та працездатності абразивних кругів при шліфуванні зразка на плоскошліфувальному верстаті моделі 3Г71 (рис. 1, а).

Досліджувалась працездатність шліфувальних кругів із хромистого корунду (рубін-корунду) прямого профілю (типу Т1) діаметром 250 мм та висотою 25 мм, зернистістю F40 на керамічній зв'язці. Якість обробки оцінювалося по шорсткості поверхні фрагменту диску турбіни після шліфування. (рис. 1, б).

Режими шліфування:

- швидкість абразивного круга $v_{кр} = 25$ м/с;
- поздовжня подача $s_{позд} = 2$ м/хв;
- поперечна подача $s_{поп} = 0,05$ м/хв;
- глибина шліфування $t = 0,01$ мм/подв.хід;



а



б

Рис. 1 – Обробка фрагменту диска авіаційної турбіни:

а – шліфування диску кругом хромистого корунду,
б – замірювання шорсткості обробленої поверхні

Шліфувалася торцева поверхня фрагменту диску діаметром 150 мм. При дослідженні працездатності шліфувальних кругів контролювались:

- кількість зняття обробленого матеріалу (г);
- лінійний знос шліфувального круга (мкм);
- відносний знос круга на 1 г знятого матеріалу;
- потужність шліфування, N_{ef} . (Ват);
- шорсткість обробленої поверхні зразка, Ra (мкм).

Результати дослідження працездатності шліфувальних кругів показали (табл. 1), що обробка спеціального жароміцного сплаву ЕП742-ИД ефективна кругами із хромистого корунду (рубін-корунду). Круги із хромистого корунду шліфують жароміцний сплав рівномірно, без напруження та не «припікають» поверхню обробленого матеріалу.

Відносний знос круга на 1 грам знятого матеріалу розраховувався відносно лінійного зносу круга до кількості зняття обробленого матеріалу за період шліфування і складає до 2,5 мкм/г. Потужність шліфування N_{ef} визначалась різницею загальної потужності $N_{заг}$ та потужності холо-

стого ходу N_{xx} . За весь період шліфування потужність N_{ef} складала 250–300 Ват. Шорсткість обробленої поверхні Ra (від 0,27 до 0,34) замірялась вздовж торцевої поверхні шліфованого фрагменту диску.

Таблиця 1 – Результати показників працездатності шліфувальних кругів із хромистого корунду

Шліфувальний круг	Зняття обробленого матеріалу, г	Лінійний знос кругу, мкм	Відносний знос кругу, q , мкм/г	Потужність шліфування, N_{ef} , Ват	Шорсткість обробленої поверхні, Ra , мкм
Хромистій корунд	20	50	2,5	до 300	0, 27–0,34

*Сахнюк І.О., Федосєєва І.К., Тітова Г.М.,
Битков М.Х.* Технічний центр НАН України, Київ

СТАНДАРТИЗАЦІЯ ЯК ФОРМА ВІДОБРАЖЕННЯ НОРМАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ДІЯЛЬНІСТЮ

Стандартизація за своєю суттю є однією із форм управлінської діяльності, яка має, з одного боку, загальні, а з другого – тільки їй притаманні принципи, методи і структуру.

Загальноприйняті визначення поняття управління прив'язувалися до упорядкування, тобто як до процесу підвищення або збереження ступеня впорядкованості чогось. Ця ж думка прослідковується практично у всіх визначеннях, так чи інакше пов'язаних із поняттям «стандартизація», завданням якої є досягнення оптимального упорядкування об'єктів і організація процесів управління цими об'єктами. Суттєвою особливістю стандартизації, яка вигідно відрізняє її від інших форм управлінської діяльності, є здатність керувати тими факторами інтенсифікації, які безпосередньо впливають на соціальні процеси. Стандартизація як система ідей, принципів, методів являє собою інструмент управління процесами, які практично протікають у всіх сферах суспільного життя.

Стандартизація на сучасному етапі розвитку суспільства покликана управляти науково-технічним прогресом на всіх його стадіях, починаючи від фундаментальних досліджень і конструкторських розробок до практичного впровадження науково-технічних досягнень у ви-

робництво, в різні сфери соціального життя. Впорядковуюча діяльність стандартизації забезпечується тим, що вона регламентує вимоги до всієї сукупності продукції, визначає правила її проектування, виготовлення, обігу, експлуатації, утилізації тощо.

Стандартизація справляє вплив безпосередньо як на процеси управління, так і на саму систему управління. Цей вплив розповсюджується практично на всі боки управління наукою, виробництвом, технікою, технологією, соціальними і духовними процесами тощо. Стандартизація вносить свій внесок у вдосконалення структури управління, упорядкування інформаційних потоків, забезпечення автоматизації процесів управління. Робота із стандартизації на прикінцевому етапі закінчується, як правило, розробкою норм і правил, зафіксованих у різного роду документах. Ці документи, з одного боку, служать нормативною, а з другого – інформаційною базою.

Таким чином, стандартизація за своєю суттю виступає вже як інформаційно-управляюча система, і це висуває перед нею цілий ряд вимог в силу підвищення важливості інформаційного забезпечення користувачів на сучасному етапі. Стандартизація має справу перш за все з інформацією, тому оптимізація інформаційних впливів, які складають невід’ємну частину управлінської діяльності, віддзеркалює мету функціонування стандартизації як інформаційно-управлінської системи.

Постійно зростаюче значення інформації автоматично збільшує значення науки, наукової діяльності для сучасного виробництва як в плані виготовлення продукції, так і в плані вдосконалення управління. Проникнення методів стандартизації в наукову діяльність являє собою якісно новий етап розповсюдження теорії і практики стандартизації. Тому однією із першорядних задач стандартизації у сфері управління є постійне вдосконалення її методології.

Стандартизація на сучасному етапі набуває величезного значення як регулятор господарської діяльності, як сильний важіль нетарифного регулювання. За оцінками зарубіжних фахівців в умовах ринкових відносин ефективність стандартизації проявляється через три основні її функції: економічну, соціальну і комунікативну.

Економічна функція реалізується в таких сферах:

- надання достовірної інформації щодо продукції. Це досягається тим, що стандартизація полегшує вибір товарів, а інформація про товари надається в прийнятній формі;
- впровадження нової техніки: за допомогою стандартів розповсюджуються відомості про нові властивості продукції, сучасні методи ви-

пробувань, технологічні досягнення суб'єктів господарювання. Стандартизація дозволяє уникати дублювання розроблення аналогічної техніки; сприяє збільшенню серійності і масштабів виробництва, надаючи йому масовості, що знижує собівартість продукції і збільшує продуктивність праці; спонукає до конкуренції і, зокрема, добросовісній; забезпечує взаємозамінності і сумісності. Стандартизація управління виробництвом створює необхідні передумови досягнення заданого рівня якості.

Соціальна функція стандартизації забезпечує нормативну фіксацію і досягнення на практиці такого рівня параметрів і показників продукції, які відповідають вимогам охорони здоров'я, санітарії та гігієни, охорони навколишнього природного середовища і безпеки людей при виробництві, обігу, використанні і утилізації продукції.

Комунікативна функція стандартизації забезпечує можливість створення для об'єктивізації сприйняття різних видів інформації через фіксацію термінів і визначень, умовних знаків, символів і позначень, встановлення однакових правил оформлення документації тощо. Цим самим вона сприяє досягненню необхідного для суспільства взаєморозуміння і розширення обміну інформацією.

Таким чином, стандартизація має головною мету: реалізація єдиної технічної політики держави через вироблення певних норм і правил стосовно створеної продукції, забезпечення її якості, виходячи із досягнень науки і техніки, потреб людини.

Соколов О.М., Гаргін В.Г., Русінова Н.О.
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля
НАН України, Київ

МЕХАНОКОМПОЗИТИ З ПІДВИЩЕНОЮ МІЦНІСТЮ І ЗНОСОСТІЙКІСТЮ НА ОСНОВІ АЛМАЗУ, ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛІВ ТА ЇХ СПОЛУК

Розвиток сучасної промисловості неможливий без використання надтвердих матеріалів, зокрема, полікристалічних алмазів в різних областях: машинобудуванні, будівництві, геологорозвідці. Пошук нових наукових підходів і технологічних рішень, що дають змогу домогтися поліпшення експлуатаційних характеристик алмазних композитів, є сьо-

годні одним з актуальних завдань у сфері отримання нових алмазних матеріалів.

Структурно-фазовий стан будь-якого матеріалу значною мірою визначає його властивості. Структура матеріалу – це якісна характеристика взаєморозташування і взаємозв'язків його певних складових частин – структурних елементів. Таким чином, матеріал представляється як складна багаторівнева ієрархічна система. Нині дедалі пильнішу увагу в матеріалознавстві приділяють формуванню мультимодальної структурної будови матеріалу. При цьому передбачається цілеспрямований механічний, термічний або хімічний вплив на матеріал для керованої зміни його структурно-фазового стану на різних розмірних рівнях з формуванням матеріалу з різними ступенями нано-, мікро-, мезо- і макрогетерогенності, що дає змогу підвищувати рівень широкого спектра його експлуатаційних характеристик.

Алмазні композити з металокерамічною зв'язкою (найчастіше на основі карбідів вольфраму, кобальту, титану тощо) є ключовими матеріалами для виготовлення різального інструменту, бурового обладнання та абразивних інструментів. Їхня експлуатаційна якість визначається двома основними факторами: 1) зносостійкість, яка забезпечується алмазними зернами; 2) міцність зв'язки, що забезпечується завдяки наявності металокерамічного прошарку, який сприяє утримувannya алмазних зерен в композиті і передає на них навантаження.

Основною проблемою при виготовленні алмазних композитів з тугоплавкими компонентами (WC, TiC, W тощо) є їх висока температура плавлення та повільна кінетика дифузійних процесів. Це вимагає застосування високих температур і тривалого часу спікання для формування міцного прошарку, що, у свою чергу, може призводити до графітизації алмазу, росту зерен алмазу і прошарку, що погіршує механічні властивості композиту, деградації зв'язку алмаз–прошарок через хімічні взаємодії.

Одним з шляхів подолання цих проблем поряд із введенням різних активуючих процес спікання добавок є попередня механічна активація вихідних компонентів композиту.

Попередня механічна активація – це процес інтенсивного механічного оброблення порошкових компонентів у пристроях високоенергетичної дії на складові шихти (планетарні млини, атритори, тривалкові змішувачі тощо). Під час цього процесу відбуваються ключові зміни:

- зменшення розміру частинок – відбувається диспергування агломератів, отримання більш однорідного гранулометричного складу;

- накопичення дефектів кристалічної ґратки, тобто збільшення концентрації дислокацій, вакансій, що різко підвищує внутрішню енергію системи;
- аморфізація та утворення нанорозмірних структур, тобто деформація може призводити до часткового руйнування кристалічної структури та утворення активних нанофаз.
- хімічні перетворення, тобто у деяких випадках можливий механо-синтез нових сполук або твердих розчинів.

В результаті частинки тугоплавких добавок переходять у метастабільний, високоенергетичний стан, що робить їх значно більш реакційноздатними і при подальшому спіканні в умовах високих тисків і температур активовані порошки забезпечують зниження температури початку спікання, оскільки активовані порошки починають інтенсивно ущільнюватися при нижчих температурах (на 150–300°C нижче порівняно з неактивованими), що є ключовою перевагою для захисту алмазу від графітизації. Крім того, прискорюються дифузійні процеси – завдяки високій концентрації дефекти ґратки є «короткими шляхами» для швидкої дифузії атомів, що прискорює утворення міцних міжчастинкових контактів (шийок) і гомогенізації композиту, а активований прошарок має вищу хімічну активність, що сприяє більш контрольованому та міцному формуванню карбідного шару на поверхні алмазу (наприклад, за рахунок взаємодії з Со або Ті). Це запобігає вивинанню алмазних зерен із композиту під навантаженням.

Слід відзначити, що оскільки спікання відбувається при нижчих температурах і за коротший час, то зменшується ризик рекристалізації зерен композиту, а дрібнозерниста (навіть наноструктурна) структура матеріалу має вищу твердість і міцність.

Експериментальні дослідження свідчать, що ступінь ущільнення композитів з активованої шихти при тих же параметрах спікання значно вища (до 99,5% і більше проти 92–96%), а твердість прошарку зростає на 15–30% за рахунок дисперсійного зміцнення та отримання дрібнозернистої структури

Композити, синтезовані з використанням попередньої механічної активації, демонструють збільшення ресурсу роботи не менш ніж на 50% за рахунок посилення зв'язку алмаз–зв'язка та зменшення вивинання алмазних зерен.

Таким чином, попередня механічна активація вихідних компонентів композиту дозволяє подолати фундаментальне протиріччя між необхідністю формування міцного прошарку (що вимагає високих

температур) і термічною нестійкістю алмазу, роблячи технологію спікання високоякісних алмазних композитів більш ефективною та керованою. Цей метод є перспективним напрямом для розвитку матеріалів нового покоління для екстремальних умов експлуатації.

*Степаненко С.М. АТ «Івченко-Прогрес»,
Запоріжжя*

ВІДМІННІСТЬ СТАНДАРТІВ ОРГАНІЗАЦІЇ ВІД СТАНДАРТІВ ПІДПРИЄМСТВА

У національній системі стандартизації України багаторівнева система нормативних документів (НД), яка існувала раніше (державні стандарти, кодекси усталеної практики, технічні умови; відповідні галузеві НД; нормативні документи об'єднань і товариств; стандарти та інші НД підприємств), замінена двохрівневою системою. Згідно закону України «Про стандартизацію» [1] залежно від рівня суб'єкта стандартизації, що приймає нормативні документи, вони поділяються на національні стандарти та кодекси усталеної практики, що прийняті національним органом стандартизації, та на стандарти, кодекси усталеної практики та технічні умови, що прийняті підприємствами, установами та організаціями, що здійснюють стандартизацію.

Стандарти підприємства (СТП) розробляються і затверджуються підприємством та поширюються на загальні функції організації, на виконання робіт по забезпеченню якості продукції (процесів, послуг), формування і удосконалення системи якості; функції управління та забезпечення діяльності підприємства, на процеси виробничого циклу і тому подібне. Фактично стандарти СТП є нормативними документами системи менеджменту якості підприємства. На продукцію, яка призначається для поставки замовникам, ці стандарти не розробляються.

Згідно з [2], передбачалось, що стандарти організації України (СОУ) приймаються суб'єстами стандартизації, що здійснюють стандартизацію, а не національним органом стандартизації, на основі поєднання виробничих, наукових, комерційних та інших загальних інтересів. СОУ – це нормативний документ, у якому встановлюються характеристики продукції, правила здійснення і характеристики процесів проєктування, виробництва, монтажу, налаштування, експлуатації, реалізації, виконання робіт чи надання послуг. СОУ є складовою части-

ною загальної системи забезпечення підприємства необхідною нормативною базою. Тобто, СОУ можуть вирішувати всі ті ж задачі, що й національні стандарти, але на своєму відповідному рівні. Таким чином, статус стандартів організації СОУ значно вищий у порівнянні з стандартами підприємства СТП.

За допомогою розробки стандартів організації СОУ підприємство може вирішити ряд задач, які в рамках існування лише стандартів СТП не можуть бути вирішені. Наприклад, при випуску продукції в кооперації з підприємствами різних країн, в стандартах СОУ можна викласти необхідні вимоги до продукції, не прибігаючи до посилань на стандарти третіх сторін, які не приймають участь у кооперації. У стандартах СОУ можна закріпити накопичений досвід випуску продукції, який ґрунтується на застосуванні нині відмінених або заміненіх міждержавних стандартів ГОСТ та галузевих стандартів ОСТ. Можуть бути вирішені й інші задачі.

В рамках конкретної галузі вимоги відмінених стандартів ГОСТ та галузевих стандартів ОСТ можуть бути корисними декільком підприємствам одночасно. Тому немає сенсу кожному підприємству випускати свій стандарт СОУ на заміну, а варто створити корпоративну систему стандартів для зацікавлених підприємств і організацій. Така корпоративна система нормативних документів (КСНД) створена в інтересах підприємств і організацій авіаційної промисловості України [3]. На рис. 1 зображена організаційна структура КСНД.

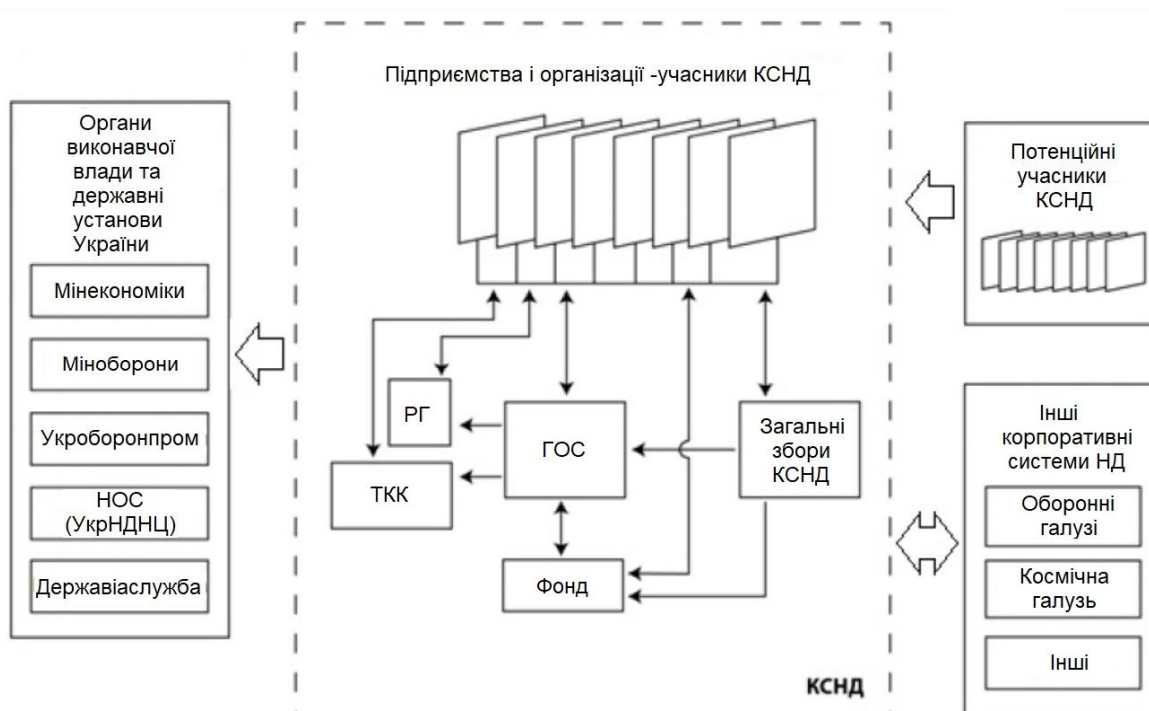


Рис. 1 – Організаційна структура КСНД

Для проведення робіт по створенню КСНД була створена робоча група (РГ). Загальним рішенням підприємств і організацій визначена Головна організація зі стандартизації (ГОС). Розробкою нормативних документів для КСНД займаються підприємства і організації в рамках технічного комітете корпоратив-ної системи (ТКК). Для абонентсько-го обслуговування учасників КСНД створено Фонд НД. Основоположні рішення по КСНД приймаються на Загальних зборах КСНД. ГОС співпрацює з Національним органом по стандартизації (НОС) та державними установами України.

Література

1. Закон України «Про стандартизацію», від 5 червня 2014 р. №1315-VII (з поправками) : офіц. Текст. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1315-18>. – 19.04.2020.
2. ДСТУ 1.0 : 2003 Национальная стандартизация. Основні положення [Текст]. – (відмінений). – К. : Держспоживстандарт України, 2003. – 10 с.
3. Кривов, Г.А. О корпоративной системе нормативных документов в интересах предприятий и организаций авиационной промышленности Украины / Г.А. Кривов, И.Ф. Кравченко, С.М. Степаненко, В.Н. Шулепов, М.Н. Кайнов, А.А. Атанасова // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2020. – № 5 (165). – С. 13–18.

*Тимофеева Л.А., Сергеев О.В., Роценко О.В.,
Голіков Д.В. Український державний
університет залізничного транспорту, Харків*

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ ПОРТАТИВНИХ ТВЕРДОМІРІВ ШЛЯХОМ ІНТЕГРАЦІЇ СИСТЕМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ТА ВИКОРИСТАННЯ ЗНОСОСТІЙКИХ МАТЕРІАЛІВ ІНДЕНТОРІВ

Сучасна промислова метрологія висуває підвищені вимоги до точності та надійності вимірювальних приладів, особливо в галузі неруйнівного контролю якості матеріалів. Портативні твердоміри, як основні інструменти оперативної оцінки механічних властивостей конструк-

ційних матеріалів, потребують постійного технологічного вдосконалення для забезпечення відповідності сучасним стандартам якості.

Основні проблеми сучасних портативних твердомірів включають: обмежену точність в польових умовах, вплив людського фактора при інтерпретації результатів, прискорений знос інденторів при роботі з твердими матеріалами та складність калібрування в процесі експлуатації. Розв'язання цих проблем можливе через інтеграцію передових технологій штучного інтелекту та застосування інноваційних матеріалів для виготовлення критично важливих елементів приладів.

Системи штучного інтелекту в портативних твердомірах реалізують автоматизацію процесів аналізу даних вимірювань та класифікації матеріалів. Алгоритми машинного навчання обробляють експериментальні дані про глибину проникнення індентора, швидкість та силу вдавлювання, що дозволяє обчислювати твердість з підвищеною точністю.

Для динамічного методу Либа ШІ-система аналізує параметри відскоку за формулою:

$$HL = (V_r/V_i) \times 1000, \quad (1)$$

де V_r – швидкість відскоку; V_i – швидкість удару індентора.

Нейронні мережі здатні корегувати результати з урахуванням температури, шорсткості поверхні та кривизни об'єкта контролю, що підвищує точність вимірювань на 25–40% порівняно з традиційними методами.

Сучасні портативні твердоміри оснащуються високороздільними цифровими камерами для автоматичного розпізнавання та вимірювання геометричних параметрів відбитка індентора. Алгоритми комп'ютерного зору автоматично визначають:

- для методу Брінелля:

$$HB = \frac{2F}{\pi D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}; \quad (2)$$

- для методу Віккерса:

$$HV = (1,854 \cdot P) / d^2; \quad (3)$$

- для методу Роквелла:

$$HR = 100 - 500h / 0,002, \quad (4)$$

де P – прикладене навантаження; D – діаметр кульки; d – діаметр або діагональ відбитка; h – глибина відбитка.

Природні та синтетичні алмази залишаються найбільш ефективними матеріалами для виготовлення високоточних інденторів завдяки екстремально високій твердості (близько 10000 HV) та хімічній інертності. Сучасні технології дозволяють виготовляти алмазні індентори з контрольованою геометрією та мінімальними відхиленнями форми.

Основні типи алмазних інденторів включають:

- конічні індентори Роквелла (кут при вершині 120°, радіус скруглення 0,2 мм)
- пірамідальні індентори Віккерса (чотиригранна піраміда, кут 136°)
- призматичні індентори Кнупа (видовжена ромбоподібна піраміда)

Для роботи з м'якими матеріалами та в умовах динамічних навантажень застосовуються індентори з твердих сплавів системи WC-Co. Оптимальний склад включає 85–95% карбіду вольфраму та 5–15% кобальтової зв'язки.

Твердість твердосплавних інденторів становить 1400-1800 HV, що забезпечує стабільну роботу при вимірюванні матеріалів твердістю до 650 HB. Ресурс таких інденторів досягає 500000–1000000 циклів вимірювання залежно від умов експлуатації.

Сучасні методи поверхневого зміцнення включають нанесення функціональних покриттів:

- алмазоподібні покриття (DLC): твердість 2000–4000 HV, низький коефіцієнт тертя;
- нітридні покриття (TiN, CrN): твердість 2000–2500 HV, висока адгезія до основи;
- багатошарові покриття: оптимальне поєднання твердості та в'язкості.

Зносостійкість покриттів оцінюється за формулою:

$$W = K \cdot H^n \cdot E^m, \quad (5)$$

де W – зносостійкість; H – твердість; E – модуль пружності; K , n , m – емпіричні константи.

Література

1. Сергєєв, О.В. Метод Бринелля : сучасний підхід до вимірювання твердості за допомогою мікроскопів, камер і програмного забезпечення / О.В. Сергєєв, С.С. Тимофєєв // Інтелектуальні транспортні технології : тези доп. 5-ої між народ. наук.-техн. конф., 25–27 листопада 2024 р. – Харків : УкрДУЗТ, 2024. – С. 323–324.

2. Сергєєв, О.В. Твердоміри Бринелля та штучний інтелект: пролив у вимірюванні твердості / О.В. Сергєєв, О.В. Роценко, Л.А. Тимо-

феєва // The 10th Inter. Sci. and Pract. Conf. «Computer-Integrated Technol. of Autom. of Technol. Proc.», 05–08 November, 2024. – Hamburg, Germany : Inter. Sci. Group, 2024. – С 350–352.

3. Вимірювання твердості металів та сплавів. – Метинвест-СМЦ, 2024.

4. Твердоміри – Прилади контролю якості NOVOTEST, 2010.

5. Випробування твердості за Брінелем / studfile.net, 2019.

6. Штучний інтелект у виробництві : як оптимізувати процеси / UkrTechSoft, 2025.

Тимофєєв С.С., Шупіло Р.Г., Пліщенко П.В.
Український державний університет залізничного
транспорту, Харків,

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ МЕТРОЛОГІЧНИХ РОБІТ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Залізничний транспорт є однією з провідних галузей народного господарства України, яка забезпечує економічний розвиток, мобільність населення та ефективне функціонування промисловості. Він виконує важливу роль у забезпеченні інтеграції нашої країни у світову економічну систему, адже без розвиненої транспортної інфраструктури неможливий вихід продукції українських підприємств на міжнародні ринки. У сучасних умовах глобалізації залізничний транспорт виступає не лише засобом переміщення вантажів і пасажирів, а й ключовим елементом економічної безпеки держави.

Розбудова національної економіки та прагнення до її піднесення до світового рівня висувають перед підприємствами низку важливих завдань. Одним із найактуальніших є підвищення конкурентоспроможності виробників товарів і послуг, що вимагає відповідності міжнародним стандартам якості. У ринкових умовах саме якість стає визначальним чинником економічного зростання, рівня життя населення, а також соціальної та екологічної безпеки. Це, у свою чергу, передбачає здійснення комплексу заходів організаційного, технічного й правового характеру, серед яких ключове місце займає адаптація національної системи стандартизації, метрології та сертифікації до вимог Європейського Союзу.

Сучасний етап розвитку метрологічної діяльності характеризується значними змінами. Засоби вимірювань активно інтегруються з виробничими технологіями та випробуваннями, автоматизуються процеси контролю та калібрування, підвищується точність і надійність приладів. Метрологічне забезпечення стає невід'ємною частиною управління якістю, адже достовірні результати вимірювань дозволяють оцінювати стан матеріалів, сировини, технологічних процесів, екологічні параметри та безпеку виробництва.

Наукові дослідження підтверджують, що існуючі методики оцінювання організаційних структур управління часто базуються на обчисленні окремих коефіцієнтів – рівня забезпеченості кваліфікованими кадрами, оперативності управлінської праці, раціональності документації чи ефективності комунікаційних процесів. Проте жодна з них не дає комплексної оцінки ефективності системи управління в цілому. Через це виникає необхідність розробки нових підходів, здатних враховувати взаємозв'язки між усіма підсистемами підприємства.

Основна увага має бути зосереджена на створенні системи управління якістю метрологічних робіт (СУЯМР). Така система повинна діяти у тісній взаємодії з усіма структурними підрозділами підприємства, впливати на всі етапи виробництва та забезпечувати постійне підвищення задоволеності споживачів. Головним елементом у цьому процесі виступає метрологічна служба, яка відповідає за управління засобами моніторингу, контролю й вимірювань. Саме вона гарантує відповідність процедур міжнародним і державним стандартам, а також формує основу для розроблення документації, методик і правил виконання робіт.

Якість метрологічних процесів визначається сукупністю зовнішніх і внутрішніх чинників, тому ефективне управління можливе лише за умови системного підходу. Окремі заходи чи епізодичні перевірки не забезпечують належного результату. Натомість потрібна комплексна система, що охоплює всі рівні діяльності підприємства й орієнтована на постійне вдосконалення.

Моделювання системи управління якістю метрологічних робіт дозволяє представити підприємство як складну багаторівневу структуру взаємопов'язаних процесів. У ній виокремлюються чотири ключові блоки: відповідальність керівництва, управління ресурсами, створення продукції та аналіз результатів із подальшим удосконаленням. Важливим є процесний підхід, що забезпечує безперервний контроль за взаємозв'язками між окремими етапами діяльності та дозволяє оцінювати ступінь задоволеності споживачів.

Застосування процесного підходу підкреслює необхідність розглядати вимірювальні операції як упорядкований потік, інтегрований у просторові та часові параметри виробництва. Для метрологічної служби управління цим потоком є складним завданням, яке передбачає не лише стандартизацію методик вимірювань, але й постійне технічне обслуговування та калібрування засобів вимірювальної техніки. У структурі метрологічного забезпечення можна виділити підпроцеси різного рівня – від організації метрологічних робіт і аналізу документації до процедур підтвердження відповідності, списання чи утилізації засобів вимірювань.

Завершальним етапом упровадження системи управління якістю є сертифікація на відповідність стандартам ISO 9001. Це не лише формальний процес, а й реальний механізм підтвердження ефективності управління, який підвищує довіру з боку споживачів та партнерів.

Таким чином, використання системного підходу та моделювання дозволяє підприємствам залізничного транспорту й суміжних галузей досягати високих результатів у господарській діяльності. Це забезпечує оптимальне поєднання ресурсів, удосконалення виробничих процесів, зниження витрат і підвищення конкурентоспроможності на міжнародному ринку. Метрологічне забезпечення, інтегроване у систему управління якістю, стає не лише технічним інструментом, а й стратегічним фактором розвитку підприємства, що сприяє інтеграції України у світовий економічний простір.

*Тихоненко В.В., Тихоненко Т.В. ТОВ «ВАТТ»,
Спілка фахівців-експертів з якості, Київ*

СТАНДАРТИ ДЛЯ НАФТОГАЗОВОЇ СФЕРИ

Нафта і газ продовжують відігравати значну роль в сьогоденні. Для розвідки, видобутку, транспортування, зберігання, обробки та використання нафти та газу вже багато років різними організаціями (ISO, IEC, API, ASTM, ASME, NACE, DNV та ін.) розробляються стандарти: на продукцію, матеріали (включаючи обробку), випробування/тестування та системи менеджменту якості (API Spec Q1, API Spec Q2, ISO 29001).

Організація, яка прагне постачати продукцію для використання в нафтогазовій сфері повинна виконувати вимоги вказаних замовником

стандартів. На міжнародному ринку такі вимоги включають обов'язкове виконання вимог стандартів Американського інституту нафти (API), а саме специфікацій/стандартів API на продукцію та на систему менеджменту якості (API Spec Q1). На відміну від вимог стандарту ISO 9001 на систему менеджменту якості (СМЯ), API Spec Q1 містить ряд спеціальних вимог щодо обов'язкових документованих процедур та ведення обов'язкових записів. При цьому СМЯ повинна функціонувати не менше чотирьох місяців, провести внутрішні аудити та провести аналізування функціонування СМЯ вищим керівництвом, тільки після цього можна подавати заявку в API на сертифікацію СМЯ (API Spec Q1) та ліцензування і монограмування продукції за вибраними специфікаціями API на продукцію. СМЯ повинна охоплювати не тільки продукцію, яку заявляють на ліцензування в API, а й всю іншу продукцію, яка постачається для використання в нафтогазовій сфері.

Специфікації API на продукцію для використання в нафтогазовій сфері містять вимоги щодо виконання інших стандартів: ISO, ASTM, ASME, NACE.

Про стандарти "ГОСТ" в специфікаціях API ніяких згадок немає, хоч за останні п'ять років в РФ з'явилися стандарти одного інституту, які практично копіюють специфікації, стандарти API на продукцію та на систему менеджменту якості для нафтогазової сфери. Також копіюється схема ліцензування та монограмування, як у API. Потрібно відзначити, що поки що це копіювання значно відстає від специфікацій API, так як Американський інститут нафти дуже часто проводить суттєві зміни в своїх специфікаціях, стандартах.

Для організацій, які надають послуги для нафтогазової сфери є API Spec Q2 на систему менеджменту якості. API Spec Q2 та API Spec Q1 приділяють значну увагу управлінню ризиками, в тому числі в ланцюжках постачань. Також не залишаються поза увагою питання управління змінами, валідації процесів та управління засобами для вимірювань та випробувань. Приділяється увага знанням організації та підготовці персоналу.

ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ КВАЛІМЕТРИЧНИМИ МЕТОДАМИ З ВИКОРИСТАННЯМ ФУНКЦІОНАЛЬНО ЗАЛЕЖНОЇ СТАТИСТИКИ

У сучасних умовах глобальної конкуренції та зростання вимог до надійності та безпечності продукції питання оцінювання ризиків якості набуває особливої актуальності. Виробничі системи стикаються з необхідністю одночасно забезпечувати високу якість і мінімізувати ризики відхилень від нормативних вимог [1]. Традиційні підходи, засновані на експертних оцінках чи складних багатofакторних моделях, хоча й поширені, залишаються обмеженими через суб'єктивність та потребу у значних масивах даних [2]. Саме тому виникає потреба у створенні універсальної методології, яка б поєднувала математичну строгість, об'єктивність та практичну застосовність у різних галузях промисловості.

Запропонований у дослідженні кваліметричний підхід ґрунтується на використанні нелінійної функціональної залежності, зокрема функції помилки *erf*, яка широко застосовується в математичній статистиці [3]. Ця функція дозволяє перетворювати вимірні показники якості у безрозмірну шкалу. В основу моделі покладено припущення про рівномірний закон розподілу показників, завдяки чому вдалося вивести нову математичну модель для визначення щільності ймовірності трансформованих показників якості. Це дало змогу визначати ймовірність потрапляння конкретного показника у ризикову зону, яка прилягає до меж допусків.

Практичні випробування методу виконані на прикладі деталей поршневої групи двигуна внутрішнього згоряння, що є високоточними виробами машинобудування. Результати числового експерименту підтвердили, що запропонований підхід дозволяє не лише об'єктивно оцінювати ризики виникнення дефектів, але й виявляти тенденції відхилень у процесі виробництва ще на етапі технологічного контролю. Таким чином, методика стає не лише інструментом оцінювання, а й засобом попереджувального управління якістю.

Особливістю підходу є те, що він не потребує залучення експертів і може бути реалізований у простих інструментах, наприклад у середовищі MS Excel, завдяки вбудованим математичним функціям. Це робить метод доступним для широкого кола підприємств, включно з

тими, що не мають можливості впроваджувати складні інформаційні системи чи алгоритми штучного інтелекту. Водночас він залишається достатньо строгим з математичної точки зору, забезпечуючи відтворюваність результатів і виключаючи суб'єктивний чинник.

Важливою перевагою методики є універсальність, її можна застосовувати як у машинобудуванні, так і в інших галузях промисловості, а також інтегрувати у системи менеджменту якості на основі міжнародних стандартів, зокрема ISO 9001 та ISO/IEC 17025. Вона дозволяє з високою точністю оцінювати ризики наближення фактичних параметрів до меж поля допуску, а отже — прогнозувати можливість виникнення браку й завчасно реагувати на відхилення.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості безпосереднього впровадження методики у виробничий процес для підвищення точності контролю та своєчасного виявлення ризиків. Використання універсальної математичної моделі дозволяє проводити аналіз незалежно від галузі застосування, що робить метод ефективним інструментом для машинобудування, енергетики, фармацевтики та інших галузей. Важливо, що розрахунки можуть виконуватися з використанням доступних програмних засобів, що забезпечує швидке впровадження на підприємствах різного масштабу й сприяє підвищенню якості продукції та конкурентоспроможності на ринку.

Таким чином, розроблена методика є важливим кроком у напрямку об'єктивного і практично орієнтованого оцінювання ризиків якості. Вона поєднує математичну універсальність, простоту застосування та можливість інтеграції у сучасні системи управління. У перспективі цей підхід може стати базовим елементом концепції «розумного виробництва» та сприяти підвищенню конкурентоспроможності підприємств завдяки підвищенню точності прогнозування ризиків і зменшенню витрат на контроль якості.

Література

1. Тріщ, Р.М. Кваліметричний метод оцінювання ризиків виробництва продукції низької якості / Р.М. Тріщ, М.Ю. Яковлев, В.М. Бурдейна, Е.А. Хом'як, І.І. Гуртовий, А.О. Євтушенко // Метрологія та прилади. – 2024. – №1. – С. 44–50.

2. Baltag, C. Quality and Risk Management in Industrial Production Systems : A Literature Review / C. Baltag, C. Morariu // Bulletin of the Polytech. Inst. of Iași. Machine constr. Section. – 2022. – № 68. – P. 75–112.

3. Сороколат, Н.А. Застосування функції помилок для оцінювання якості об'єктів кваліметрії / Н.А. Сороколат, Л.Ю. Фатєєва // Вісник Нац. техн. ун-ту «ХПІ». Серія : Нові рішення в сучасних технологіях. – 2022. – № 4 (14). – С. 53–58.

Худзіцкий П.Г. АТ «Івченко-Прогрес»,
Запоріжжя

ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВОЇ РЕНТГЕНОГРАФІЇ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ

Рентгенівський неруйнівний контроль застосовують для контролю якості відливок зварних та паяних з'єднань. Найбільш поширений рентгенографічний метод, коли на плівці отримують зображення проекції об'єкту в напрямку осі пучка променів.

При виробництві газотурбінних двигунів (в тому числі робочі турбінні лопатки) підлягають рентгенівському контролю на різних стадіях їх виробництва.

Складна конструкція деталей та складальних одиниць сучасних газотурбінних двигунів, екстремальні умови їх експлуатації ставлять високі вимоги до їх якості. І як наслідок – вдосконалення технології рентгенівського контролю.

Для ефективного та оперативного забезпечення виробничого процесу ефективно використовувати цифрової рентгенівський контроль, для чого був проведений аналіз доступного на ринку обладнання для цифрової рентгенографії. При цьому враховувалась номенклатура деталей та складальних одиниць, що підлягають рентгенівському контролю, їх геометричні розміри, місце розташування елементів контролю на поверхні об'єкта контролю, матеріал, з якого вони виготовлені та передбачувані об'єми контрольних операцій за робочу зміну. Важливим чинником, що враховувався була необхідність оперативності отримання результатів при контролі зразків для відпрацювання режимів зварювання.

Цифрова рентгенографія в машинобудуванні – це метод неруйнівного контролю, що використовує рентгенівське випромінювання для отримання цифрових зображень об'єктів з метою виявлення дефектів, неоднорідностей, оцінки якості матеріалів та конструкцій. На відміну від традиційної рентгенографії, де використовується плівка, цифрова

рентгенографія дозволяє отримувати зображення безпосередньо в цифровому форматі, що забезпечує більш швидку обробку зображення, збереження та передачу даних.

Основні переваги цифрової рентгенографії в авіадвигунобудуванні: – підвищена швидкість та зручність отримання зображень; – відсутність необхідності в операції проявлення плівки прискорює процес контролю; – висока якість зображень; – можливість цифрової обробки та покращення зображень для виявлення навіть дефектів малого розміру; – зменшення впливу людського фактору при визначенні розмірів виявлених дефектів; – покращена візуалізація – цифрові зображення дозволяють збільшити масштаб, змінювати контрастність та яскравість, що полегшує аналіз; – зручність зберігання та передачі даних; – цифрова рентгенографія може бути інтегрована в автоматизовані системи контролю якості; – економія витратних матеріалів – відсутня необхідність в плівці, хімічних реактивах, утилізації відходів зменшує затрати на контроль.

Цифрові детектори – електронні пристрої, призначені для перетворення рентгенівського випромінювання в цифровий сигнал, який може бути оброблений та відображений на комп'ютері. В цифровій рентгенографії використовуються жорсткі детектори прямого перетворення, що трансформують рентгенівське випромінювання в електричні сигнали, які обробляються комп'ютером та багаторазові гнучкі рентгенівські пластини, які після експозиції скануються лазерним променем для отримання цифрового зображення.

За результатом розгляду можливості застосування в умовах виробництва було прийняте рішення про впровадження цифрової рентгенографії з використанням багаторазових гнучких пластин. Вони дають змогу контролювати деталі та складальні одиниці різноманітних габаритів, розміщувати детектори в внутрішніх порожнинах, що спрощує процес контролю.

Нами був придбаний сканер Dynamix HR² для обробки багаторазових гнучких рентгенівських пластин фірми Fujifilm, що має наступні характеристики:

- щільність зчитування: 25, 50, 100 і 200 мкм;
- зчитування відтінків сірого: 14 біт/піксель;
- вага: 58 кг;
- розміри (Ш×Г×В): 600×660×490 мм;
- робочі умови: 15–30 °С, відносна вологість (RH) 15–80% (без конденсації);

- джерело живлення: 100–240 В змінного струму, 50/60 Гц, 400 ВА.

Для перевірки обладнання були виконані операції рентгенівського контролю із застосуванням плівки та гнучких детекторів на робочих лопатках вільної турбіни та турбіни турбокомпресора (рис. 1, *а–г*). На робочих лопатках вільної турбіни проводилось порівняння виявлених дефектів, на робочих лопатках турбіни турбокомпресора також проводилось порівняння виявлених дефектів та визначалась точності результатів виміру товщини стінки вхідної крайки лопатки (рис. 2, *а, б*).

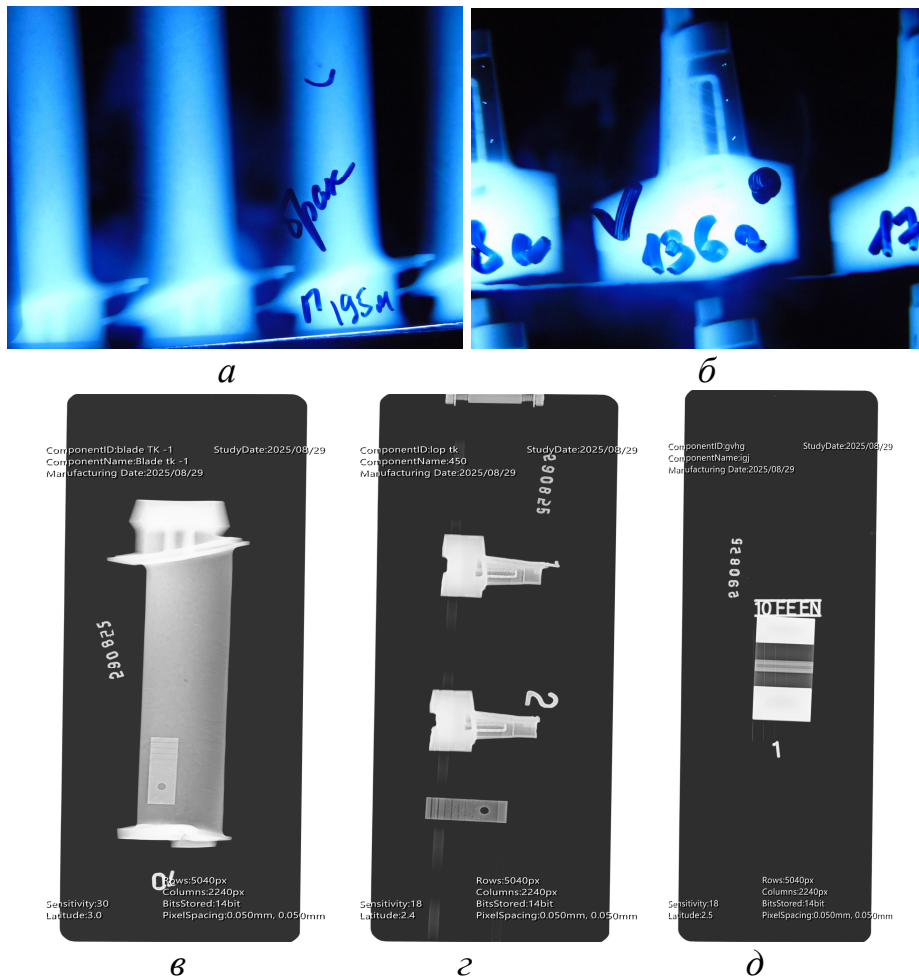


Рис. 1 – Результат контролю робочих лопаток вільної турбіни (*а, б*) на рентгенівській плівці з використанням негатоскопу, робочих лопаток турбіни турбокомпресора (*в, г*) та зварного шва барабана компресора (*д*) з використанням сканера *Dynatix HR²*

Також виконувалися роботи по контролю якості зварного шва барабана компресора при відпрацюванні режимів зварювання (рис. 1, *д*). Результати виконаних досліджень наведені у табл. 1.

При відпрацюванні режимів зварювання на зразку ротора компресора за рахунок оперативного опрацювання результатів контролю забезпечено зварювання ротора компресора в межах однієї зміни.

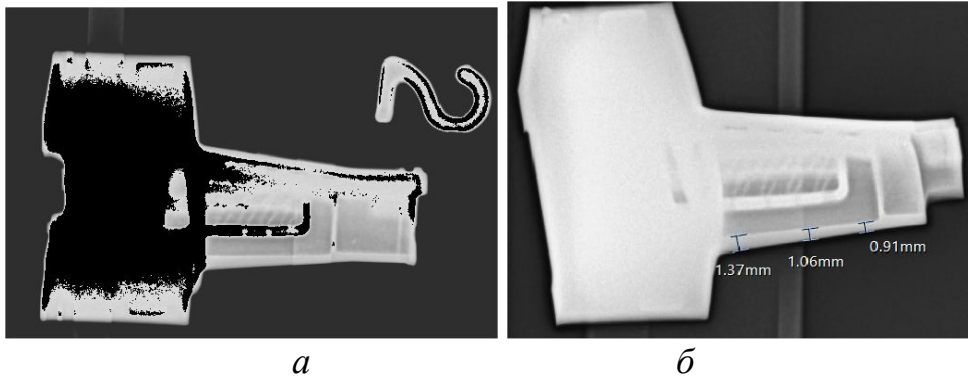


Рис. 2 – Результат контролю робочих лопаток турбіни турбокомпресора із зміною контрастності для виявлення заливів (а) та вимірювання товщини стінки входної крайки робочих лопаток турбіни турбокомпресора з використанням сканера Dynamix HR² (б)

Таблиця 1 – Результати роботи з контролю якості

Вид контролю	з використанням рентгенівської плівки	за допомогою сканера Dynamix HR ²
Час отримання результатів	25–30 хв	2–3 хв
Рішення про характер дефектів	приймається лаборантом на основі власного досвіду, а його заключення мають характер оцінки; у випадку неявного характеру дефекту, для його підтвердження необхідно розрізати деталь	приймається з використанням програмного забезпечення, що дозволяє однозначно виявити заливи в робочих лопатках турбіни турбокомпресора; при контролі товщини стінки входної крайки лопатки використано можливість заміру з допомогою відповідної функції вбудованого програмного забезпечення

Висновок: Використання сканера Dynamix HR² дає змогу суттєво скоротити час отримання результатів контролю. Відпадає необхідність в утилізації відпрацьованих матеріалів обробки плівки, що дає суттєву економію. В умовах воєнного стану зменшується ризик від можливих перебоїв в постачанні витратних матеріалів. Зберігання результатів контролю не потребує архівів. Можливість дистанційного погодження результатів контролю зі спеціалістами конструкторського науково-дослідницького комплексу. Є можливість додаткової обробки результатів контролю для їх однозначного розуміння.

ЗМІСТ

<i>Alnusirat W., Саленко О.Ф., Костенко А.О., Цуркан Д.О., Орел В.М.</i> ФОРМУВАННЯ ТОНКИХ СТІНОК FDM-ДРУКОМ ТА ЗВ'ЯЗОК ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХНІ З ХАРАКТЕРИСТИКАМИ МІЦНОСТІ СТІНОК	3
<i>Бахман С.О.</i> ВИКОРИСТАННЯ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ДЛЯ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ КОЛІСНИХ ПАР	7
<i>Бондар І.В., Жаровский Г.Я.</i> МОДЕРНІЗОВАНА УСТАНОВКА ВУ-700 ДЛЯ НАПИЛЕННЯ БАГАТОШАРОВИХ ПОКРИТТІВ	10
<i>Буковська Д.В., Антонюк В.С.</i> МОДЕЛЮВАННЯ ТРАЄКТОРІЇ КАТАПУЛЬТНОГО ЗАПУСКУ БПЛА ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ ПОЛЬОТУ	12
<i>Vukovskyi O.M., Vysloukh S.P.</i> IMPROVING THE PRODUCTIVITY AND QUALITY OF THE CONTROL PROCESS OF INTERBLOCK ELECTRICAL CONNECTIONS	15
<i>Бутенко В.М.</i> ПОКРАЩЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ ЗАСОБІВ ЕЛЕКТРОННОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ДЛЯ ПРОГРАМНОЇ ІНТЕГРАЦІЇ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ	17
<i>Бутенко В.М., Чуб С.Г.</i> ПОКРАЩЕННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ТА КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ВІТЧИЗНЯНОЇ ПРОДУКЦІЇ ЗАЛІЗНИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ	20
<i>Волошин Д.І., Гарбуз О.С., Светош В.Ю.</i> ЗАСТОСУВАННЯ ІСКРОБЕЗПЕЧНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛА (Ex i) В ПЕРЕТВОРЮВАЧАХ ТИСКУ В КОНТЕКСТІ ГАРМОНІЗАЦІЇ УКРАЇНСЬКИХ СТАНДАРТИВ ІЗ АТЕХ ТА ІЕСЕх	23
<i>Волошина Л.В., Роценко О.В., Сергеев О.В., Захаров А.В.</i> ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ МІКРОМЕТРИЧНИХ ПРИЛАДІВ У ЛАБОРАТОРІЯХ	24
<i>Даниленко Ю.А., Сараєва В.О.</i> СИСТЕМА СТАНДАРТИЗАЦІЇ В УКРАЇНІ: ВИКЛИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ	26

<i>Клименко С.А.</i> МУЛЬТИФРАКТАЛЬНІ ПАРАМЕТРИ СТРУКТУРИ, МЕХАНІЧНІ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ТВЕРДИХ СПЛАВІВ ГРУПИ ВК	28
<i>Клименко С.А., Копейкіна М.Ю., Мельнійчук Ю.О., Клименко С.Ан., Чумак А.О., Манохін А.С.</i> ІНСТРУМЕНТИ ДЛЯ ЕФЕКТИВНОЇ ОБРОБКИ ВАЖКООБРОБЛЮВАНИХ МАТЕРІАЛІВ В УМОВАХ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ	31
<i>Коваленко І.А.</i> ВЗАЄМОДІЯ КУБІЧНОГО НІТРИДУ БОРУ З ВІЛЬНИМ ВУГЛЕЦЕМ В СТРУКТУРІ ОБРОБЛЮВАНОВОГО ЧАВУНУ	33
<i>Ковальов В.Д., Васильченко Я.В., Клименко Г.П., Шаповалов М.В.</i> АГРЕГАТНО-МОДУЛЬНІ ПРИНЦИПИ СТВОРЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ НОВИХ ВАЖКИХ ВЕРСТАТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ БАЗИ ЗНАНЬ: СТАНДАРТИЗАЦІЯ ТА ІННОВАЦІЇ	35
<i>Комарова Г.Л., Приміський І.В., Лалазарова Н.О.</i> ІНСТИТУЦІЙНІ ПЕРЕДУМОВИ, БАР'ЄРИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ СТАНДАРТУ ДСТУ ISO 9001 У СИСТЕМУ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ОСВІТИ	38
<i>Комарова Г.Л., Харченко Б-А.О., Сергєєв Д.М., Крамаренко С.Б.</i> ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА ЧЕРЕЗ МОТИВАЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ	40
<i>Кузін О.А., Бурдяк М.Р., Кузін М.О.</i> ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ДЕРЕВООБРОБНОГО ІНСТРУМЕНТУ УПРАВЛІННЯ ПАРАМЕТРАМИ ПОВЕРХОНЬ ПОДІЛУ	43
<i>Кусий Я.М., Брухаль П.Р., Дідун Н.В., Марцинюк Л.В., Синенький Р.В., Ярмола М.М.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ТА ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРІАЛУ ЗАГОТОВОК ІЗ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ З ПОЗИЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО УСПАДКОВУВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВИРОБІВ	45
<i>Лавріненко В.І.</i> ДО ПИТАННЯ ПОДОЛАННЯ МІФІВ ТА ХИБНИХ ПРИПУЩЕНЬ В ДОСЛІДЖЕННЯХ ПРОЦЕСІВ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОЇ ОБРОБКИ: ОПОСЕРЕДКОВАНІ ПІДТВЕРДЖЕННЯ У СУЧАСНИХ НАУКОВИХ ПРАЦЯХ	50

<i>Лавріненко В.І., Полторацький В.Г., Смоквина В.В., Бологов П.І., Кошкін О.М. Білорусець В.В., Cherevuk O.</i> МІКРО- ЧИ НАНО-: ЯКОЇ ДИСПЕРСНОСТІ ПОРОШКИ КУБІЧНОГО НІТРИДУ БОРУ БАЖАНО ЗАСТОСОВУВАТИ ДЛЯ ПОКРИТТЯ ПОВЕРХНІ ЗЕРЕН ШЛІФПОРОШКІВ АЛМАЗІВ ДЛЯ ШЛІФУВАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ	56
<i>Лавріненко В.І., Скрябін В.В., Солод В.Ю., Гумаров О.В.</i> СУЧАСНІ НАПРАЦЮВАННЯ В НАПРЯМКУ РОЗРОБОК РІЗАЛЬНИХ ПЛАСТИН З ФУНКЦІОНАЛЬНИХ КЕРАМІК ДЛЯ ОБРОБКИ СУПЕРСПЛАВІВ	59
<i>Лавріненко В.І., Солод В.Ю., Шпаляренко С.А.</i> СУЧАСНІ РОЗРОБКИ В НАПРЯМКУ ЗАСТОСУВАННЯ ВІБРАЦІЙНИХ СПОСОБІВ ЛЕЗОВОГО РІЗАННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЛЕГОВАНИХ АЛМАЗНИХ РІЗЦІВ ДЛЯ ВІБРАЦІЙНОГО ТЕКСТУРУВАННЯ	64
<i>Лавров О.С., Тимошенко В.В., Коропатник О.С.</i> РЕЗУЛЬТАТИ ВПРОВАДЖЕННЯ СТАНДАРТУ ISO 9001 НА ПІДПРИЄМСТВІ ТОВ «ТМ ВЕЛТЕК»	72
<i>Лисий Б.М., Шшикін О.В.</i> МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ І ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ КОНТРОЛЮ ТА ОБЛІКУ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ	74
<i>Логінова Ю.В.</i> ПРОБЛЕМИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ НА ПІДПРИЄМСТВІ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА, ЩО ЗДІЙСНЮЮТЬ ВИГОТОВЛЕННЯ ТА МОНТАЖ КОНСТРУКЦІЙ	76
<i>Ломанов К.О., Головка М.О., Рибальченко Т.П.</i> КІЛЬКІСНЕ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОМУНІКАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ У СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ISO 9001:2015	78
<i>Lopata A., Lopata L.</i> IMPROVEMENT OF PROPERTIES COATINGS BY ELECTROCONTACT TREATMENT	80
<i>Лопата В.М. Качинська І.Р., Солових А.Є., Катеринич С.Є.</i> ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБІЛІВ ШЛЯХОМ ФОРМУВАННЯ ЗНОСОСТІЙКИХ ПОКРИТТІВ	82

<i>Майорова К.В., Бочаров В.Б., Суслов А.С., Калініченко В.А.</i> РЕАЛІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЗУБЧАСТОГО КОЛЕСА НА КООРДИНАТНО-ВИМІРЮВАЛЬНІЙ МАШИНІ	85
<i>Малецький Є.В., Канашевич Г.В.</i> МЕТРОЛОГІЧНІ ЦЕНТРИ В СУЧАСНИХ УМОВАХ ЗМІН КОНКУРЕНТНОГО ТА ЗАКОНОДАВЧОГО СЕРЕДОВИЩА	88
<i>Мельнійчук Ю.О., Осінов О.С., Старик С.П., Мельнійчук Б.Ю.</i> ПРОДУКТИВНІСТЬ ФІНІШНОЇ ОБРОБКИ РІЗАЛЬНИХ ПЛАСТИН ГРУПИ VL З КУБІЧНОГО НІТРИДУ БОРА	90
<i>Морозенко О.С.</i> ДЕКОТРІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ В СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАДАЧАХ	92
<i>Олійник Н.О., Ільницька Г.Д., Базалій Г.А., Заболотний С.Д., Сизоненко О.М., Циба М.М.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ СТАНУ ПОВЕРХНІ ПОРОШКІВ СИНТЕТИЧНОГО АЛМАЗУ ВИХІДНИХ ТА ПІСЛЯ МОДИФІКУВАННЯ	95
<i>Осінов О.С., Мельнійчук Ю.О., Чумак А.О., Стратійчук Д.А., Русінова Н.О., Гажа Г.П., Мельнійчук Б.Ю.</i> ТЕРМОБАРИЧНЕ СПІКАННЯ ЗРАЗКІВ КОМПОЗИТУ PDC У СИСТЕМІ АЛМАЗ-Fe ₃ C-WC/Co	97
<i>Павлова Г.О.</i> СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ НА ПІДПРИЄМСТВІ В СУЧАСНИХ УМОВАХ	100
<i>Посвятенко Н.І., Кулин О.В., Мельник Т.В.</i> АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ВИХРОСТРУМОВОГО МЕТОДУ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРИПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ МАТЕРІАЛІВ	101
<i>Проц Л.А., Легета Я.П., Ковач В.В.</i> ОСОБЛИВОСТІ ВИКЛАДАННЯ ДИСЦИПЛІНИ «ВЗАЄМОЗАМІННІСТЬ, СТАНДАРТИЗАЦІЯ І ТЕХНІЧНІ ВИМІРЮВАННЯ» ДЛЯ ЗДОБУВАЧІВ ОСВІТИ СПЕЦІАЛЬНОСТІ G9 «ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА»	106
<i>Рукавішников П.В., Баглай О.П., Жуга В.О.</i> ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЯК ІНСТРУМЕНТ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЗВАРЮВАННЯ В СКЛАДНИХ УМОВАХ	108

<i>Рябченко С.В., Федоренко В.Т., Сільченко Я.Л., Бандуренко М.В.</i> ЯКІСТЬ ШЛІФУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ АБРАЗИВНИМИ КРУГАМИ ІЗ ХРОМИСТОГО КОРУНДА	109
<i>Сахнюк І.О., Федосєєва І.К., Тітова Г.М., Битков М.Х.</i> СТАНДАРТИЗАЦІЯ ЯК ФОРМА ВІДОБРАЖЕННЯ НОРМАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ДІЯЛЬНІСТЮ	111
<i>Соколов О.М., Гаргін В.Г., Русінова Н.О.</i> МЕХАНОКОМПОЗИТИ З ПІДВИЩЕНОЮ МІЦНІСТЮ І ЗНОСОСТІЙКІСТЮ НА ОСНОВІ АЛМАЗУ, ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛІВ ТА ЇХ СПОЛУК	113
<i>Степаненко С.М.</i> ВІДМІННІСТЬ СТАНДАРТІВ ОРГАНІЗАЦІЇ ВІД СТАНДАРТІВ ПІДПРИЄМСТВА	116
<i>Тимофєєва Л.А., Сергєєв О.В., Роценко О.В., Голіков Д.В.</i> ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ ПОРТАТИВНИХ ТВЕРДОМІРІВ ШЛЯХОМ ІНТЕГРАЦІЇ СИСТЕМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ТА ВИКОРИСТАННЯ ЗНОСОСТІЙКИХ МАТЕРІАЛІВ ІНДЕНТОРІВ	118
<i>Тимофєєв С.С., Шипіло Р.Г., Пліщенко П.В.</i> УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ МЕТРОЛОГІЧНИХ РОБІТ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ	121
<i>Тихоненко В.В., Тихоненко Т.В.</i> СТАНДАРТИ ДЛЯ НАФТОГАЗОВОЇ СФЕРИ	123
<i>Трищ Р.М., Черняк О.М.</i> ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ КВАЛІМЕТРИЧНИМИ МЕТОДАМИ З ВИКОРИСТАННЯМ ФУНКЦІОНАЛЬНО ЗАЛЕЖНОЇ СТАТИСТИКИ	125
<i>Худзіцький П.Г.</i> ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВОЇ РЕНТГЕНОГРАФІЇ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ	127

ЯКІСТЬ, СТАНДАРТИЗАЦІЯ, КОНТРОЛЬ: ТЕОРІЯ ТА ПРАКТИКА

Матеріали 25-ї Міжнародної науково-практичної конференції

22–26 вересня 2025 р.

Комп'ютерна верстка: Копейкіна М.Ю.

Асоціація технологів-машинобудівників України
04074, м. Київ, вул. Автозаводська, 2

Тел. /Факс +38-044-430-85-00, www.atmu.net.ua
E-mail: atmu@ism.kiev.ua, atmu@meta.ua, atmu1@meta.ua

Підписано до друку 10.09.2025

Формат 60×84×1/16.

Ум. вид. арк. 8,25.



Віддруковано в ПП «Рута»
10014, Україна,
м. Житомир, вул. Мала Бердичівська, 17 а,
тел. 0679621687

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК №3671 від 14.01.2010
e-mail: ruta-bond@ukr.net