



Міністерство освіти і науки України  
Державна інспекція України з питань захисту  
прав споживачів

Всеукраїнська громадська організація Асоціація  
технологів-машинобудівників України  
Академія технологічних наук України

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 ім. Ігоря Сікорського»

Київський національний університет технологій та дизайну

Машинобудівний факультет Белградського університету, Сербія

## **ЯКІСТЬ, СТАНДАРТИЗАЦІЯ, КОНТРОЛЬ: ТЕОРІЯ ТА ПРАКТИКА**



*Матеріали 23-ї Міжнародної науково-практичної конференції*

**27–28 вересня 2023 р.**

Київ – 2023

**Якість, стандартизація, контроль: теорія та практика:** Матеріали 23-ї Міжнародної науково-практичної конференції, 27–28 вересня 2023 р. – Київ: АТМ України, 2023. – 114 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**

© ВГО АТМ України,  
2023 р.



проведення патентно-кон'юнктурних досліджень, оформлення заявок на реєстрацію в Україні об'єктів права промислової власності та авторського права, можливості міжнародної реєстрації, приведені методи створення об'єктів прав промислової власності та інше. Корисним є наведення авторами в посібнику прикладів, зокрема розділ 4 містить приклади складання формул на винаходи/корисні моделі.

Представлення матеріалу у вигляді таблиць дозволило спростити порівняння об'єктів інтелектуальної власності для роз'яснення різниці між різними підходами у набутті прав та доведенні їх до комерційного використання.

Автори висловлюють щирі вдячність рецензентам КЛИМЕНКО Сергію Анатолійовичу, заступнику директора з наукової роботи Інституту надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля Національної академії наук України, члену-кореспонденту НАН України, доктору технічних наук, професору та ДОРОЖКО Григорію Костянтиновичу, заступнику директора з адміністративної та організаційної роботи Науково-дослідного інституту інтелектуальної власності Національної академії правових наук України, судовому експерту, кандидату технічних наук, доценту за доброзичливі критичні зауваження, що сприяли поліпшенню змісту посібника.

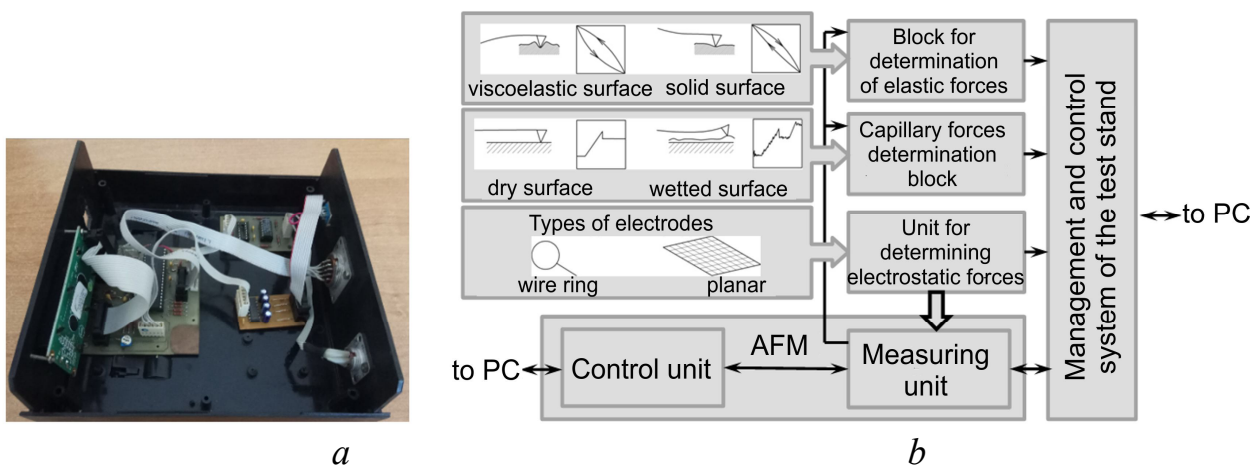
Автори сподіваються, що представлений посібник дозволить підвищити не тільки кількість створених об'єктів інтелектуальної власності в Україні але, що на сьогодні є найбільш важливим, буде сприяти їх подальшій комерціалізації.

Посібник рекомендовано для наукових співробітників, інженерно-технічних працівників наукових установ та промислових підприємств, викладачів університетів, аспірантів та студентів ЗВО, як джерело базових знань щодо набуття прав на результати наукових досліджень і подальшу їх комерціалізацію.

*Даниленко Ю.А.* Інститут сцинтиляційних матеріалів НАН України, Харків  
*Юрчишин О.Я.* КПІ імені Ігоря Сікорського»,  
Київ, Україна

## TEST BENCH FOR DETERMINING FORCE CHARACTERISTICS IN THE ZONE OF INTERACTION OF THE MEASURING PROBE WITH THE SURFACE TO BE INVESTIGATED

To increase the accuracy of measurements by the atomic force microscopy (AFM) method, it is necessary to take into account the influence of the force characteristics that occur in the area of the measuring probe with the investigated surface. Determination of such force characteristics in the zone of interaction of the AFM probe with the investigated surfaces is possible with the help of the test bench developed with the participation of the authors [1], the general appearance and functional scheme of which is shown in Fig. 1, and its measurement characteristics are in the table.1.



**Fig. 1 – Appearance (without protective cover) (a) and functional diagram (b) of the measuring stand**

**Table 1 – Measuring characteristics of the stand**

Measuring characteristics	Range of values	Relative measurement error, %
Electrostatic forces, $\times 10^{-12}, N$	6,0–88,0	$\pm 2,7–5,0$
Capillary forces, $\times 10^{-12}, N$	0,2–6500,0	$\pm 5,0–7,5$
Elastic forces, $\times 10^{-12}, N$	2,0–10800,0	$\pm 3,0–4,5$

The test bench makes it possible to test power characteristics in a wide range of their values.

The main element of the test bench is the developed management and control system, which includes three measuring units:

- a unit for the study of elastic forces, the determination of which occurs according to the curve "introduction-withdrawal" of the probe to the surface. Based on the nature of this curve, a conclusion is made about the value of the elasticity coefficient;
- the unit for studying capillary forces is designed to determine the forces arising between the probe and the wetted surface according to the "force-distance to the surface" dependence. The capillary force is determined by the curvature of this surface, as well as by the number of sharp drops in the force characteristic;
- the tribocharge removal block is designed to fix the electric charge that arises as a result of the friction of the probe on the dielectric surface. The receiver in this block is the electrodes, which can be superimposed on the dielectric surface in the form of a ring, or in the form of a planar – a metal grid applied by the thermovacuum deposition method to the tested dielectric.

The measured values are in a range of values that completely overlaps the range of their theoretical (calculated) values [2].

Approbation of the test stand was carried out during the study of such force characteristics of surfaces as elastic and capillary forces, as well as the force of electrostatic influence from the residual tribological charge on the surface of dielectric samples. The results of experimental studies carried out using the stand were verified by comparison with theoretical calculations. It was found that the influence of elastic forces from the action of the probe on the surface of the samples did not exceed the values of  $(7,46-10,76) \cdot 10^{-12} \text{ N}$ , while the values of capillary forces were in the range of  $(110-230) \cdot 10^{-12} \text{ N}$ . The value of the force of electrostatic influence from the tribological charge on the surface of dielectric materials after a full cycle of scanning the surface was  $(6,11-87,98) \cdot 10^{-12} \text{ N}$ . The obtained data are correlated with the data obtained as a result of the theoretical calculations in [2] (correlation coefficient  $r$  – not less than 0.88), which confirms the high accuracy and reliability of the work of the measuring stand.

The developed stand for determining the characteristics in the zone of interaction of the AFM probe with the investigated surfaces allows to determine with high accuracy such force characteristics on the probe from the side of the surfaces as: the action of elastic, capillary and electrostatic forces. At the same time, the error of determining the residual triboelectric charge did not exceed 5%, capillary forces – 7.5%, elastic forces – 4.5%.

Thus, prompt and qualitative determination of the strength physical characteristics of dielectric materials, such as: capillary forces that arise between the AFM probe and the investigated surface or a thin coating on it

(which, in turn, allows determining the adhesive strength of surface layers or thin coatings applied to the surface), elastic forces that allow determining the modulus of elasticity, coefficients of friction, etc., as well as the forces of electrostatic influence from the residual tribological charge on the surface of dielectric samples. Further research by the authors will be devoted to this issue.

### References

1. Andriienko, O. Automated system for controlling the characteristics of microsystem equipment devices / O. Andriienko, M. Bondarenko, V. Antonyuk // Quality, standardization, control: theory and practice: in XIX Internat. scien.-pract. conf., Odesa, 9–13 Sep., 2019. – Kyiv: ATM Ukraine. – 2019. – P. 26–28.

2. Andriienko, O. Features of creation of multiprobe system for nanometric measurements of geometrical and mechanical properties of surfaces of microsystem devices / O. Andriienko, S. Bilokin, M. Bondarenko // Machines. Technologies. Materials. – 2020. – XIV. – Vol.14., Issue 6. – P. 268–271.

*Андрусенко С.М., Бондарчук В.М., Ночвай В.М.,  
Полонський Л.Г., Яновський В.А. ДУ «Житомирська  
політехніка», Житомир, Україна*

## **ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МІСЬКОГО ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОДУГОВОЇ МЕТАЛІЗАЦІЇ**

Найчастіше деталі міського електротранспорту виходять з ладу внаслідок спрацювання робочих поверхонь. У процесі експлуатації часто виходять з ладу наступні деталі: маточина кріплення колеса, вал ротора електродвигуна, кришка електродвигуна, шкворень кріплення колеса, палець важеля, палець зчеплення, палець ресорний, палець задньої гальмівної колодки. Товщина спрацьованого шару робочих поверхонь знаходиться у межах 0,3–1,0 мм.

Задача відновлення спрацьованих деталей вирішена застосуванням методу електродугової металізації, який є найбільш економічно вигідним і ефективним у порівнянні з методами газопорошкового наплавлення, газополуменевого та плазмового напилення (висока вартість горючих газів, порошкових матеріалів, плазмової установки).

До захисних покриттів деталей висувається вимога: висока стійкість проти спрацювання. З аналізу досвіду використання газотермічних покриттів відомо, що отримати їх з такими властивостями можна шляхом введення вуглецю (більше 0,4%) та легуючих елементів (марганцю, хрому, нікелю).

Для нанесення покриттів з заданими властивостями вибрано дроти марок Нп-65Г діаметром 1,6 мм, Нп-40Х13 діаметром 1,8 мм, Нп-Г13А діаметром 2,0 мм, Нп-105Х діаметром 2,8 мм, Нп-Л76 діаметром 2,8 мм. Для допоміжного шару покриття з метою збільшення міцності зчеплення з основою найпридатнішим є дріт ФМІ-2 діаметром 1,8 мм.

З метою відновлення спрацьованих деталей електродуговим напиленням доцільно застосовувати металізатор ЕМ-12-67 з джерелом постійного струму моделі ВДУ-506.

Розроблений технологічний процес відновлення деталей методом електродугової металізації містить наступні операції: підготовка дроту; підготовка деталей; металізація поверхні деталей; механічна обробка деталей; контроль якості покриття.

Покриття, що наносяться на деталь, повинні мати відповідну умовах їх експлуатації адгезію. Для її забезпечення поверхню деталі піддають попередній підготовці – очищенню деталей від забруднення та залишків мастил; термічній обробці з метою відпуску загартованої поверхні; зняттю залишків нерівномірного спрацювання; знежирюванню поверхні; активації та формуванню ншорсткості поверхні.

Очищені деталі без тріщин та деформації поверхні піддають термічній обробці у термопечі для відпуску загартованої поверхні. Зняття залишків нерівномірного спрацювання виконують шліфуванням або токарною обробкою.

Масляні канали, що виходять на відновлювану поверхню, зенкують під кутом 45° на глибину 1,0–1,5 мм.

Характер забруднення поверхні деталей – це залишки змащувально-охолоджувальної рідини, що використовувалась при механічній обробці деталей. Оптимальним матеріалом для знежирювання поверхонь деталей рекомендується водний розчин кальцинованої соди (10–15 кг/м<sup>3</sup>) з додаванням 1–3 кг/м<sup>3</sup> синтанолу ДС-10. Знежирювання виконують протягом 1–5 хв при температурі розчину у ванні 60–80 °С.

Після знежирювання деталі промивають в чистій гарячій воді при температурі 80–85 °С і сушать до повного відходу вологи.

Перед дробоструменевою обробкою деталей масляні канали та шпонкові пази закривають пробками з термостійкої гуми або з твердого

дерева, яке не містить смоли. Пробка масляного каналу повинна знаходитися нижче поверхні на 1 мм, а пробка шпонкового пазу – виступати над поверхнею на товщину шару покриття.

Для захисту поверхонь, що не підлягають електродуговій металізації, застосовують сталеві розбірні кільця та екрани, технічну мідну або алюмінієву фольгу будь-якої товщини, силікатний клей.

З метою активації та формування шорсткості поверхні її піддають дробоструменевій обробці електрокорундом марок 12А, 13А, 14А, 15А з розміром зерна 0,5–1,5 мм або чавунним дробом ДЧК із розміром зерна 1,2–1,5 мм. Шорсткість обробленої поверхні повинна бути у межах  $Rz$  10–160.

Нанесення покриття виконують у камері установки, оснащеної системою витяжної вентиляції. Деталі закріплюють у трикулачковому патроні установки, а металізатор – на супорті, що переміщується вздовж осі обертання відновлюваної деталі.

З метою забезпечення міцності зчеплення основного покриття з поверхнею деталі наносять допоміжний шар покриття товщиною 0,15 мм. Рекомендуються наступні технологічні режими нанесення покриття методом електродугової металізації (табл. 1).

**Таблиця 1 – Технологічні режими нанесення покриття методом електродугової металізації**

Найменування показника	Значення
Швидкість переміщення металізатора, мм/об	8–10
Швидкість подачі дроту, м/хв	3,6
Робочий тиск повітря, МПа	0,6
Дистанція напилання, мм	180
Число обертів шпинделя за хвилину	60
Робочий струм дуги при розпилюванні дроту, А	320–450
Напруга дуги, В	35

Основними видами обробки металізаційних покриттів є точіння та шліфування. Для виконання токарної обробки в якості інструментального матеріалу рекомендуються тверді сплави (ВК2, ВК3, ВК3М) та полікристалічні надтверді матеріали (композит 01 – ельбор-Р, композит 10 – гексаніт-Р) (табл. 2).

Для збільшення стійкості різцям бажано надавати наступну геометрію: передній кут –  $7^\circ$ , задній кут –  $8\text{--}12^\circ$ , головний кут у плані –  $45\text{--}$

60°, допоміжний кут у плані – 10–12°, кут нахилу різальної кромки – 0°, радіус при вершині різця – 1,0–1,5 мм.

**Таблиця 2 – Оптимальні режими токарної обробки металізаційних покриттів**

Матеріал різального інструменту	Вид обробки	Параметри		
		$v$ , м/хв	$S$ , мм/об	$t$ , мм
Тверді сплави	Чорнова	20–25	0,3–0,4	0,3–0,4
	Чистова	30	0,2–0,3	0,15–0,20
Гексаніт	Чорнова	50–100	0,02–0,20	0,3–0,4
	Чистова	100–150	0,2–0,3	0,15–0,20
Ельбор-Р	Чистова	100–150	0,15–0,20	0,1–0,2

Для обробки покриттів деталей з невеликими припусками доцільно застосовувати шліфування без попередньої токарної обробки. Шліфування проводиться через 24–48 год після металізації. Цей відрізок часу необхідний для закінчення процесу усадки покриття.

З метою поліпшення якості обробки поверхні деталей придатні корундові круги на м'якій основі зернистістю 46–60 марки Е60СМ.

Режими шліфування: швидкість круга  $v_k = 25–30$  м/с; швидкість обертання деталі  $v_{дет} = 10–20$  м/хв; глибина різання  $t = 0,015–0,030$  мм; подача  $S = 5–10$  мм/об; охолоджувальна рідина – емульсія.

Таким чином, висока якість та технологічність нанесення стійкого проти спрацювання покриття на деталі машин, механізмів та технологічного обладнання міського електротранспорту досягається застосуванням методу електродугової металізації гарантовано.

Проведено дослідження фізико-механічних властивостей покриттів, отриманих розпиленням дротів марок ФМИ-2, Нп-65Г, Нп-105Х, Нп-Л76, Нп-40Х13, Нп-Г13А. Отримані покриття мають пористу структуру, тому їх твердість у межах  $HRC_e 20...44$ , але, незважаючи на це, вони характеризуються високою стійкістю проти спрацювання. Найбільшу зносостійкість мають покриття, отримані напиленням дротів Нп-105Х, Нп-40Х13, Нп-Л76, ФМИ-2. Невисоку стійкість проти спрацювання має покриття Нп-65Г.

Міцність зчіплення основного шару покриття з поверхнею деталі значно збільшується з нанесенням допоміжного шару покриття дротом ФМИ-2.

Ресурс відновлених деталей збільшується в  $1,5v_2$  рази у порівнянні з ресурсом деталей без покриття.

*Антіпін Є.В., Зяхор І.В., Руденко П.М., Дідковський О.В.,  
Кавуніченко О.В., Левчук А.М., Шило Ю.А.* Інститут  
електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України,  
*Кольцов В.В.* ТОВ «Ентерпрайз Текнолоджіз»,  
Київ, Україна

## **ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ З'ЄДНАНЬ ЗАЛІЗНИЧНИХ РЕЙОК ПРИ КОНТАКТНОМУ СТИКОВОМУ ЗВАРЮВАННІ ОПЛАВЛЕННЯМ**

Автоматичне керування якістю та статистичний аналіз роботи устаткування стали обов'язковими у багатьох галузях промисловості. У відділі «Стикове зварювання» Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України розроблені, впроваджені у виробництво і протягом багатьох років успішно використовуються комп'ютеризовані системи контролю якості зварних виробів при різних способах зварювання – контактному стиковому оплавленням і опором, тертям. Для контактного стикового зварювання оплавленням (КСЗО) залізничних рейок розроблена трирівнева система забезпечення якості зварних стиків, яка передбачає:

1 – розробку ефективної технології та затвердження режимів КСЗО для конкретних типів і марок залізничних рейок у відповідності до вимог чинних нормативних документів;

2 – виконання операційного контролю основних параметрів процесу КСЗО в реальних виробничих умовах, порівняння із встановленими допустимими межами їх відхилень, видача рапорту (протоколів) про відповідність зварних стиків встановленим вимогам;

3 – статистичний аналіз протоколів КСЗО залізничних рейок, які було виконано на всіх рейкозварювальних підприємствах (РЗП) і переданих до діагностичного центру АТ «Укрзалізниця».

Реалізація першого рівня системи забезпечення якості здійснюється на основі вимог до зварних з'єднань залізничних рейок, передбачених чинними вітчизняними і міжнародними нормативними документами [1–3]. Ці вимоги можна умовно розділити на декілька груп:

- показники механічних властивостей – стріла прогину і навантаження до руйнування при випробуваннях стиків на статичний поперечний згин;
- наявність дефектів – види недопустимих і максимальні розміри та кількість допустимих дефектів при руйнівному (у зламі з'єднань після їх випробувань на статичний згин) і неруйнівному методах контролю, та при аналізі макроструктури з'єднань;

- параметри зони термічного впливу (ЗТВ) – її допустимі максимальна і мінімальна ширина та нерівномірність по довжині та перерізу рейок при аналізі макроструктури зварних стиків;
- розподіл твердості у ЗТВ (мінімальне і максимальне значення, HV30);
- мікроструктура металу в зоні з'єднання і ЗТВ – допустима перлітна структура різної дисперсності (перліт, сорбіт, троостит), виключається наявність ділянок з мартенситною або бейнітною структурою;
- показники при випробуваннях стиків на циклічну міцність.

При розробці технології та режимів КСЗО для наявних типу і марки залізничних рейок, а також конкретного рейкозварювального комплексу (рівень 1), фахівці відділу «Стикове зварювання» використовують результати неруйнівного та руйнівного контролю, металографічних досліджень та механічних випробувань зварних стиків, які виконуються у випробувальній лабораторії Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона, акредитованій відповідно до вимог ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019.

З метою реалізації рівня 2 забезпечення якості, тобто для стабільного відтворення процесу зварювання рейок, контролю основних його параметрів, розроблена комп'ютеризована система контролю і керування процесом КСЗО, яка дозволяє в реальних виробничих умовах підтримувати оптимальний режим оплавлення в значній мірі незалежно від умов експлуатації. Система базується на використанні промислового комп'ютера, контролера та відповідних датчиків. При зварюванні кожного стику відбувається самонастроювання технологічних параметрів, що забезпечує оптимізацію програм їхньої зміни на всіх етапах оплавлення й у цілому за період зварювання. Комп'ютеризована система контролю реєструє всі параметри процесу КСЗО, визначає їх допустимі відхилення від заданих величин і відповідно до встановлених алгоритмів видає оцінку якості з'єднань відразу після виконання зварювання [4].

Статистичний аналіз протоколів зварювання залізничних рейок (рівень 3), забезпечує своєчасне виявлення систематичних відхилень основних параметрів КСЗО, оптимізацію процесу та можливість діагностики діючого рейкозварювального устаткування. Результати обчислень подаються у вигляді таблиць, діаграм та гістограм і наочно відтворюють хід зварювального процесу у галузі в цілому, а також його залежність від конкретного РЗП, рейкозварювальної машини, режимів КСЗО, марок рейок та виконавців робіт. Статистичний аналіз протоколів КСЗО залізничних рейок успішно реалізовано спільно з АТ «Укрзалізниця».

## Література

1. Дніпропетровське НКТБ КГ філії «НДКТІ» АТ «Укрзалізниця» (2016). Рейки нові зварені для залізниць Технічні умови ТУ У 24.1-40075815-002:2016.
2. EN 14587-1:2018 (E). Railway applications - Infrastructure - Flash butt welding of new rails - Part 1: R220, R260, R260Mn, R320Cr, R350HT, R350LHT, R370CrHT and R400HT grade rails in a fixed plant.
3. ДСТУ EN 14587-2:2015 (EN 14587-2:2009, IDT). Залізничний транспорт. Колія. Стикове зварювання рейок. Частина 2. Нові класи рейок R220, R260, R260Mn та R350HT із рухомим зварювальним механізмом порівняно зі стаціонарним механізмом.
4. Kuchuk-Yatsenko, S., Rudenko, P., Gavrish, V., Didkovsky A., Antipin Ye., Ziakhor, I., (2020). Operational Control as a Means of the Evaluation of Quality of Welded Connections for Flash-Butt Welding of Modern High-Strength Steels // Science and Innovation. (16), 72-78.

*Бутенко В.М., Головка О.В.* Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна

## **ОСОБЛИВОСТІ НОРМУВАННЯ МЕТОДИК РОЗРАХУНКУ НАДІЙНОСТІ КОМПОНЕНТІВ З ЕЛЕКТРОННИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ**

В роботі [1] наведено моделі аналізу компонентів залізничної автоматики в умовах обмежених статистичних даних. Саме ця робота висвітлює проблему різного термінологічного нормування, спроба проаналізувати останню вже була здійснена колективом авторів в роботі [2]. Всі дослідження розрахунків надійності електронних компонентів залізничної автоматики базуються на термінології навчального посібника [3].

Поставити питання різного нормування методик розрахунку надійності (Н) та функційної безпечності (ФБ) для розрахунку компонентів з електронними елементами для потреб різних галузей економіки, зокрема залізничного транспорту яку частково проаналізовано в [4].

Презентація матеріалу. В роботі [4], авторам вдалось висвітлити основні протиріччя та недоліки [5], і також доведено можливість розра-

хунку інтенсивності відмов виробів залізничного транспорту з електронними компонентами.

В роботі підняті питання про методологію нормування методик розрахунку надійності компонентів з електронними елементами для різних галузей економіки України/суспільства, та залізничного транспорту зокрема. Саме на конференціях міжнародного рівня слід піднімати питання які висвітлюють протиріччя в методиках розрахунків та приводити їх, ці методики, до єдиного, універсального алгоритму прийнятного в державі. Саме «норматив» як метакатегорія стандартизації та сертифікації визначає процедуру встановлення «норм» як аналітичних, розрахункових так і експериментальних. У публікаціях, які процитовані, автори демонструють різні підходи до розрахунків та висвітлюють аналіз різних алгоритмів доказу функційної безпечності та надійності. Фірми-виробники компонентів залізничної автоматики з електронними елементами воліють отримати одну, універсальну методику розрахунку ФБ та Н, за якою можливо було б розрахувати будь-який елемент і отримувати дозволи на використання у комплектуючих будь-якої галузі економіки України та інших держав світу для експортного застосування. Були надані практичні пропозиції, як узгодити цю методику з державними стандартами гармонізованими з європейськими [6–10].

**Висновок.** У процесі досліджень надійності та функційної безпечності було встановлено «старіння» методик за якими пропонується здійснювати розрахунки ФБ та Н для залізничної галузі України та деякі протиріччя нормативно-технічної бази. Пропонується ініціювати перегляд зазначених процедур з залученням наукових шкіл України й використанням досвіду світових здобутків в розробці методик розрахунку ФБ та Н.

## Література

1. Moiseenko, V. Determination model of the apparatus state for railway automatics with restrictive statistical data / V. Moiseenko, O. Kameniev, V. Butenko, V. Gaievskiy // Procedia Comput. Sci. «ICTE in Transportation and Logistics 2018» – 2019. – 149. – P. 185–194.

2. 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.

3. Мойсеєнко, В. І. Безпечність спеціалізованих комп'ютерних систем : навч. посіб. / В. І. Мойсеєнко, В. М. Бутенко. – Харків : УкрДУЗТ, 2021. – 112 с.

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

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

6. ДСТУ EN 61508-1:2019 Функційна безпечність електричних, електронних, програмованих електронних систем, пов'язаних із безпекою. Частина 1. Загальні вимоги (EN 61508-1:2010, IDT; IEC 61508-1:2010, IDT).

7. ДСТУ EN 61508-2:2019 Функційна безпечність електричних, електронних, програмованих електронних систем, пов'язаних із безпекою. Частина 2. Вимоги до електричних, електронних, програмованих електронних систем, пов'язаних із безпекою (EN 61508-2:2010, IDT; IEC 61508-2:2010, IDT).

8. ДСТУ EN 61508-3:2019 Функційна безпечність електричних, електронних, програмованих електронних систем, пов'язаних із безпекою. Частина 3. Вимоги до програмного забезпечення (EN 61508-3:2010, IDT; IEC 61508-3:2010, IDT).

9. ДСТУ EN 61508-4:2019 Функційна безпечність електричних, електронних, програмованих електронних систем, пов'язаних із безпекою. Частина 4. Визначення та скорочення (EN 61508-4:2010, IDT; IEC 61508-4:2010, IDT).

10. ДСТУ EN 61508-5:2019 Функційна безпечність електричних, електронних, програмованих електронних систем, пов'язаних із безпекою. Частина 5. Приклади методів для визначення рівнів повноти безпеки (EN 61508-5:2010, IDT; IEC 61508-5:2010, IDT).

## **ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ТА ЯКОСТІ ВИМІРІВ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ ПРЕЦИЗІЙНОГО КОМП'ЮТЕРНОГО ІНСТРУМЕНТУ**

Майбутнє метрології полягає в розвитку та вдосконаленні методів і засобів вимірювань з використанням інтелектуальних і мережевих технологій, оскільки цей розвиток є основною складовою в управлінні виробництвом [1]. З розвитком промисловості зростають вимоги до точності та якості виготовленої продукції. Високу точність вимірів та адаптацію результатів до вимог сучасного виробництва може забезпечувати прецизійний комп'ютерний інструмент, такий як штангенциркуль комп'ютерний ШЦЦТК.

Метою роботи є вивчення метрологічних характеристик та можливостей використання прецизійного комп'ютерного інструмента такого, як ШЦЦТК для підвищення точності і якості виготовленої продукції та оптимізації процесів виробництва. Враховуючи, що штангенциркуль комп'ютерний здебільшого знаходить своє застосування у різних галузях, включаючи виробництво мікроелектроніки, машинобудування, металургію, медицину та інші, де критично важливе вимірювання з високою точністю. Це дослідження також включає аналіз переваг та недоліків, які властиві комп'ютерному штангенциркулю [2].

Штангенциркуль комп'ютерний ШЦЦТК – це універсальний, інноваційний, прецизійний, штангенінструмент з багатим функціоналом, призначений для вимірювання з високою точністю зовнішніх і внутрішніх розмірів предметів, а також глибини отворів. Завдяки простій конструкції, високій точності вимірів, адаптації до індустрії 4.0 та зручності у використанні він є оптимальним для прецизійних вимірів на сучасному виробництві [3].

Комп'ютерний штангенциркуль відзначається не лише високою точністю та універсальністю, але є економічно вигідним для виробництва. Завдяки високій точності на рівні п'ять мікронів, цей інструмент може замінити набір з шести окремих мікрометрів, які також мають аналогічну точність вимірювань. Це сприяє зменшенню ризику помилок, спрощенню робочого процесу для операторів, що робить працю більш легкою та комфортною.

Проаналізувавши підвищення точності вимірів при застосуванні комп'ютерного штангенциркуля ШЦЦТК, можна зробити висновок, що використання прецизійного комп'ютерного інструмента відкривають нові можливості в області вимірювань і оптимізації виробництва. Так як цей інструмент має такі переваги: висока точність вимірювань; універсальність; адаптація до індустрії 4.0 [4]; скорочення часу на виміри; можливість корекції вимірювальних параметрів; простота використання та зменшення витрат на закупівлю інструменту.

Отже використання прецизійного комп'ютерного інструменту для підвищення точності вимірів є доцільним та актуальним, тому що це забезпечить виготовлення високоточної та якісної продукції.

### **Література**

1. Закон України № 1314-VII від 5 червня 2014 року «Про метрологію та метрологічну діяльність». –<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1314-18>
2. Клименко, Л. П. Метрологія, стандартизація та управління якістю / Штангенінструменти / Клименко Л. П. – Миколаїв : Вид-во ЧДУ імені Петра Могили, 2011
3. Штангенциркуль комп'ютерний US№10184772. – <https://patents.google.com/patent/US10184772B2/en?q=US№10184772>
4. Проект "Промисловість 4.0". Революція на промислових підприємствах [Електронний ресурс] // Кабельний світ. 2015. – Вип. 01. – Режим доступу: [http://content.lappgroup.com/fileadmin/DAM/Lapp\\_Ukraine/Kabelniy\\_myr/UA\\_Kabelwelt\\_01\\_/2015\\_small.pdf](http://content.lappgroup.com/fileadmin/DAM/Lapp_Ukraine/Kabelniy_myr/UA_Kabelwelt_01_/2015_small.pdf)

*Грінченко Г.С. Українська  
інженерно-педагогічна академія,  
Даниленко Ю.А. Інститут скінтіляційних  
матеріалів НАН України, Харків, Україна*

## **ДЕСЯТЬ ПРИЧИН, ЧОМУ ВАРТО ПРОЧИТАТИ НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК «НАУКОВО-ДОСЛІДНІ ОСНОВИ СТАНДАРІЗАЦІЇ»**

Посібник «Науково-дослідні основи стандартизації» є сучасним виданням, яке поєднує в собі теорію та практичні підходи у сфері стандартизації. Авторами розглянуто у посібнику:

Розвиток стандартизації через призму інформаційно-вимірjuвального забезпечення від зародження стандартизації до сучасного стану нормативного забезпечення інформаційних технологій та перспективи розвитку з урахуванням інноваційної діяльності, розвитку інформаційних технологій, штучного інтелекту та інше.



Міжнародна та європейська політика у сфері стандартизації. Детально розібрано форми участі та механізм прийняття рішень щодо впровадження нормативного забезпечення.

Прикладні питання роботи органів стандартизації на різних рівнях, розробки стандартів та процедури їх прийняття.

Майбутня роль стандартизації. Наприклад, як з виходом нових технологій, таких як Інтернет речей і обробка даних, стандартизація буде важливим інструментом для забезпечення захисту приватності і безпеки користувачів (стандарти для обробки особистих даних і кібербезпеки).

Національна стандартизація, яка будується на європейських та міжнародних принципах забезпечення сумісності та інтеграції продуктів і послуг на світовому ринку.

Консорціуми, що забезпечують розробку стандартів у сфері розвитку інформаційно-вимірjuвальних технологій (ІВТ), що об'єднують компанії, організації та фахівців для спільного розв'язання технічних питань та створення стандартів, які сприяють розвитку та впровадженню інформаційно-вимірjuвальних систем.

Параметрична стандартизація, як процес створення та встановлення стандартів на основі певних параметрів або характеристик продуктів, процесів або послуг для створення єдиної системи параметрів, яка визначає якість, безпеку, сумісність та інші аспекти забезпечення якості продуктів або послуг.

Взаємозв'язок інноваційної діяльності та стандартизації, як забезпечення якості та безпеки продуктів і послуг, сумісності та інтероперабельності, зменшення ризику та бар'єрів для входу на ринок тощо.

Штучний інтелект (ШІ) і стандартизація, які взаємодіють у сфері регулювання, розвитку, інтеграції та безпеки цієї важливої технології для забезпечення ефективності, безпеки і сумісності ШІ-рішень.

10. Систему класифікації та кодування інформації, яка використовується для організації та ідентифікації різних видів інформації, об'єктів або продукції за допомогою унікальних кодів або символів.

Посібник об'єднує досвід українських та закордонних науковців та дослідників, є консолідацією власних доробок авторів, аналізу міжнародних нормативних документів та курсів європейських освітніх програм. Будемо раді, якщо наш посібник допоможе у Вашій науковій та практичній діяльності!

*Грушко В.І, Лещук О.О., Міцкевич Є.І.,  
Лисаковський В.В.* Інститут надтвердих матеріалів  
ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ,  
*Бояринцев А.Ю.* Інститут сцинтиляційних  
матеріалів НАН України, Харків, Україна

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ ТА ЛЮМІНЕСЦЕНТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АЛМАЗІВ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ АЛМАЗОВМІСНИХ ПРИЛАДІВ**

За допомогою раніше розроблених методик [1, 2] проведено дослідження електрофізичних та люмінесцентних характеристик напівпровідних і непровідних алмазів, синтезованих методом спонтанного синтезу в кубічному шестикутанному пресі CS-VII з використанням сплавів-розчинників Fe-Ni-C, Fe-Co-Mg, Fe-Co-Ti, Fe-Co-Zr, Fe-Co-Ti-C-B та Fe-Al-C-B.

Досліджені спектри фотолюмінесценції (ФЛ), катодолюмінесценції (КЛ) та рентгенолюмінесценції (РЛ) алмазних порошоків. Встановлено, що домінуючим у ФЛ, КЛ та РЛ непровідних алмазних кристалів при кімнатній температурі є НЗ-центр, який складається з вакансії у поєднанні з азотом (N-V-N), із шириною зони випромінювання 480–650 нм. Час загасання люмінесценції НЗ-центру становить близько 16–17 нс в діапазоні температур 77–700 К. Встановлено, що центр НЗ утворюється в синтезованих алмазах типу Ia, Ib та IIa будь-яким радіаційним випромінюванням та подальшим відпалом при температурах вище 500 °С незалежно від ростової системи. Встановлено, що найбільша катодолюмінесценція та рентгенолюмінесценція притаманна алмазам, синтезованим в системі Fe-Ni-C.

Проведено дослідження радіаційної стійкості люмінесценції алмазних монокристалічних порошків. Встановлено кращу стійкість алмазних сцинтиляторів на основі монокристалічних порошків при опроміненні швидкими електронами, ніж стійкість стандартних сцинтиляторів YSO:Ce. Встановлено, що найкращу радіаційну стійкість мають алмазні композитні сцинтилятори, що включають алмазні порошки, синтезовані в системі Fe-Ni-C.

Апробовано прийоми відбору, сортування та режимів обробки порошків, які забезпечують максимальну радіаційну стійкість.

Проведені дослідження з виготовлення алмазних зондів для скануючої зондової мікроскопії (СЗМ) з напівпровідних монокристалів алмазу типу ІІв. Для виготовлення зондів були використані монокристали алмазу масою понад 8 каратів. Зонди виготовляли з секторів росту  $\{001\}$ ,  $\{111\}$  і  $\{113\}$ .

Як і передбачалось, характеристики виготовлених зондів досить суттєво відрізнялись і залежали від вибраних секторів росту і ростової системи, в якій були вирощені монокристали алмазу. Слід відзначити, що метод виготовлення зондів з однакових секторів росту дозволив досягти значно вищої їх стабільності і відтворюваності ВАХ-характеристик. Найбільшу стабільність ВАХ-характеристик показали піраміди, виготовлені із секторів росту  $\{111\}$ . При цьому найбільш якісними для використання в якості зондів скануючого тунельного мікроскопа були зонди, виготовлені з монокристалів алмазу, вирощених в системі Fe-Al-C-B.

Синтетичні алмази, вирощені методом температурного градієнта в ростовій системі Fe-Ni-C без додавання гетерів азоту, мають мінімальні струми витоку 1,3 pA при напрузі 400 В і є найбільш придатними для використання в новітніх квантових технологіях та детекторах.

Вперше продемонстровано використання UCVM (UV-induced current-voltage measurements) для визначення транспортних властивостей основних носіїв заряду в НРНТ алмазах з електронним типом провідності. Рухливість основних носіїв оцінювалася за експериментально вимірюваною ВАХ алмазного зразка. Оцінка часу життя основних носіїв виконувалася за вимірюваннями спектральної струмової чутливості зразків та рухливості носіїв зарядів залежно від напруги зміщення на контактних поверхнях плоскопаралельних алмазних пластин.

Встановлено, що для кубічного сектора росту  $\{001\}$  зазначених кристалів значення рухливості лежать у межах  $\mu_n = 0,2-0,3 \text{ м}^2 \times \text{В}^{-1} \times \text{с}^{-1}$ , а для октаедричного сектора росту  $\{111\}$   $\mu_n = 0,08-0,18 \text{ м}^2 \times \text{В}^{-1} \times \text{с}^{-1}$ . Час

життя носіїв заряду для кубічного сектора росту знаходиться в межах  $\tau_n \approx 1,8-2,1 \times 10^{-9}$  с, а для октаедричного сектора  $\tau_n \approx 0,4-0,6 \times 10^{-9}$  с. Таким чином, встановлено, що кращі значення рухливості та часу життя має кубічний сектор росту зазначених кристалів, у якого час життя та рухливість основних носіїв відповідно в 3–4 та 1,2–1,5 рази більше ніж в октаедричному секторі.

Дослідження показали придатність USVM для швидкого порівняльного аналізу основних властивостей носіїв заряду і можуть бути покладені в основу швидкого та ефективного відбору алмазних субстратів для використання в електронних приладах, а також у подальшому розвитку методів вирощування НРНТ алмазів із заданими фізичними властивостями.

В результаті дослідження зроблено висновок, що з урахуванням анізотропії електрофізичних властивостей алмазу для діелектричних детекторів іонізуючого випромінювання слід використовувати кубічні сектори росту, а для напівпровідникових алмазних СЗМ-зондів – октаедричні сектори.

### **Література**

1. Grushko, V. Preparation and characterization of conductive diamond for a scanning tunneling microscope tip / V. Grushko, I. Yamnenko, S. Ivakhnenko, A. Mamalis, V. Lysakovskiy, T. Kovalenko, N. Lukianov, E. Mitskevich, O. Lysenko // *Diam. Relat. Mater.* – 2022. – Vol. 130. – P. 12–20.
2. Lysenko, O. G. Luminescent and radiation characteristics of monocrystalline diamond powders / O.G. Lysenko, V.I. Grushko, E.I. Mitskevich, G.D. Ilnitska, A.Yu. Boyarintsev, Yu.D. Onufriev, V.F. Popov, L.G. Levchuk, N.M. Kazuchits, M.S. Rusetsky, V.V. Lysakovskiy, S.A. Ivakhnenko // *J. Superhard Mater.* – 2019. – Vol. 41, № 1. – P. 17–23.

*Девін Л.М., Пащенко Є.О., Стахнів М.Є.,  
Ричев С.В., Нечипоренко В.М.* Інститут надтвердих  
матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України, Київ, Україна

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕПОКСИДНО- ПОЛІСИЛОКСАНОВОГО ПОКРИТТЯ НА ТЕМПЕРАТУРУ РІЗАННЯ ПРИ ТОЧИННІ ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ РІЗЦЯМИ З НТМ**

Титанові сплави широко використовують у машинобудуванні під час виготовлення відповідальних вузлів механізмів і приладів, а також в медицині. Це пов'язано з цілою низкою переваг титанових сплавів проти інших конструкційних матеріалів, а саме – високою питомою міцністю, корозійною стійкістю в агресивних середовищах, високою температурою плавлення, низьким коефіцієнтом температурного розширення, біологічною інертністю [1].

Точіння титанових сплавів на етапі чистової обробки супроводжується низкою труднощів, пов'язаних з адгезією титану до матеріалу ріжучої частини інструменту. Але найбільша проблема – збільшення температури різання вище 600–700°. При цій температурі відбувається взаємодія титану з киснем та азотом, що призводить до утворення високотвердих оксидів та нітридів титану. Збільшується твердість поверхневого шару заготовки, сили різання та ймовірність руйнування різця [1].

При дослідженні процесу точіння різних матеріалів основними є знання закономірностей зміни температур від яких залежить характер фізико-хімічних явищ, що протікають на поверхнях, що взаємодіють, інструменту і оброблюваного матеріалу [2, 3]. Ці явища впливають на швидкість і характер зносу інструменту, а також мікропрофіль обробленої поверхні деталей. Проведені останнім часом дослідження процесу пластичного деформування титанових сплавів показали дуже ефективний вплив на процес деформування, попередньо нанесеного епоксидно-полісилоксанового покриття [4]. Як показали дослідження, у цьому випадку створюються сприятливі умови, які запобігають захопленню інструменту з титановим сплавом.

Слід припустити, що нанесення даного покриття на поверхню оброблюваного титанового сплаву може зменшити ефект захоплення і тим самим знизити величину температури різання при його точінні.

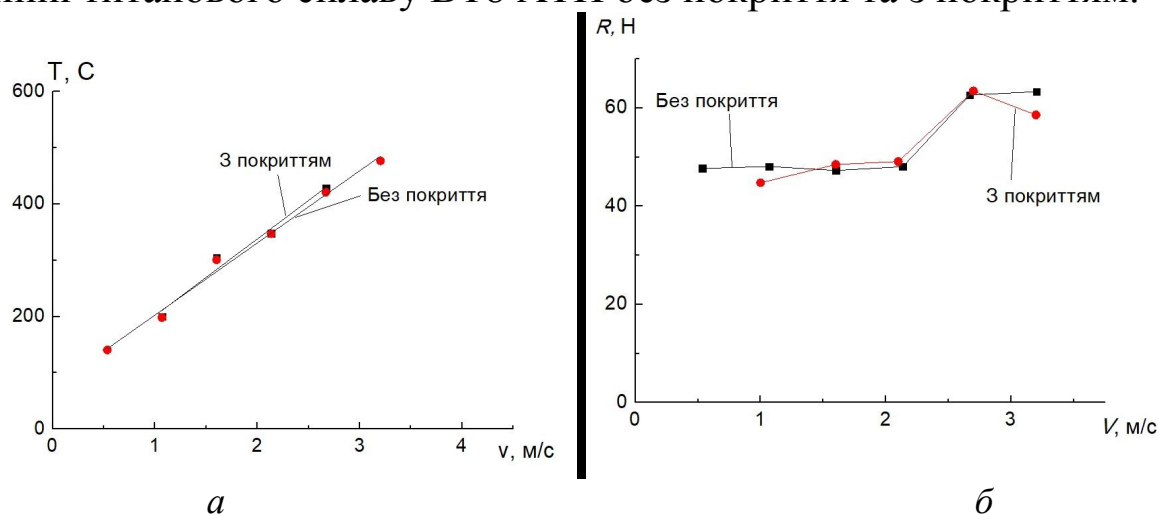
Для вимірювання температури в різець була вбудована хромель-алюмелева термопара, що контактує з ріжучою пластиною. Точка кон-

такту термопари віддалена від вершини різця на 3–5 мм. Тому для визначення температури в зоні різання за показаннями термопари було виконано градування термопари, яка встановлювалася в різцевій державці [5].

При точінні титанових сплавів ВТ8 використовували автоматизовану систему дослідження процесу точіння [2] на базі високоточного токарного верстата ТПК-125ВМ із регулюванням швидкості обертання шпинделя від 150 до 1800 об/хв. При цьому подача  $S = 0,1$  мм/об, а глибина різання  $t = 0,1$  мм. Як інструмент використали збірний прохідний різець, оснащений механічно закріпленою квадратною пластинкою з кібориту RNMN 120412 Т і АТП, виготовлені в Інституті надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України. Геометрія різця: з кібориту (передній кут  $10^\circ$ , задній –  $10^\circ$ ); з АТП (передній кут  $0^\circ$ , задній –  $10^\circ$ ).

Автоматизована система дослідження процесу точіння складалася з універсального динамометра УДМ-100 та розробленого тензопідсилювача "Топаз", а також АЦП ADA 1406 фірми "HOLIT DataSystems" та персонального комп'ютера [3]. Управління АЦП, реєстрацію та попередню обробку експериментальних даних виконували за допомогою програми PowerGraph [3]. Для збору інформації використовували АЦП ADA 1406 фірми HOLIT DataSystems, що працює з частотою опитування 1 кГц під керуванням персонального комп'ютера.

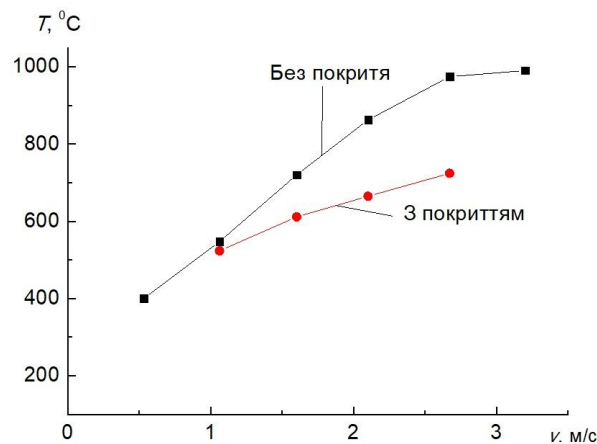
Було виконано дослідження впливу швидкості різання  $v$  на температуру різання  $T$  (рис. 1, а) та рівнодіючу сили різання  $R$  (рис. 1, б) при точінні титанового сплаву ВТ8 АТП без покриття та з покриттям.



**Рис. 1 – Графік зміни температури в зоні різання  $T$  (а) та рівнодіючої сили різання  $R$  (б) залежно від швидкості різання  $v$  при точінні титанового сплаву з покриттям та без покриття різцем з АТП**

Аналіз наведених графіків на рис. 1 показує, що нанесення покриття на оброблюваний титановий сплав при використанні АТП в межах похибки вимірювання і не впливає на величину температури та рівнодіючої сили різання.

На рис. 2 наведено залежності, що описують вплив швидкості різання на температуру різання  $T$  при точінні титанового сплаву кіборитом без покриття та з покриттям.



**Рис. 2 – Графік зміни температури в зоні різання  $T$  залежно від швидкості різання  $v$  при точінні титанового сплаву кіборитом з покриттям і без покриття**

З аналізу рис. 2 видно, що нанесення покриття на поверхню заготовки з сплаву титану обумовлює зниження температури в зоні різання. При швидкості різання 1,1 м/с це зниження 1,05 рази; за швидкості 1,6 м/с – 1,18; при швидкості 2,1 м/с – 1,30; при швидкості 2,7 м/с – 1,35.

Таким чином можна зробити висновок, що використання покриття на поверхні заготовки при точінні титанових сплавів різцями з кібориту внаслідок зниження температури різання дозволяє підвищити продуктивність обробки.

## Література

1. Кривоухов, В. А. Обработка резанием титановых сплавов / В. А. Кривоухов, В. Д. Чубаров – М. : Машиностроение, 1970. – 180 с.
2. Девин, Л. Н. Прогнозирование работоспособности металлорежущего инструмента / Л. Н. Девин – К. : Наук. думка, 1992. – 131 с.
3. Девин, Л. Н. Применение пакета Power Graph для исследования процесса резания / Л. Н. Девин, А. Г. Сулима // Промышленные измерения контроль, автоматизация диагностика (ПиКАД). – 2008. – №3. – С. 24–26.
4. Devin, L. N. The influence of cutting speed on cutting temperatures and forces in fine turning of VT1-0 titanium alloy by a PCD tool / L. N. Devin,

N. E. Stakhniv, A. S. Antoniuk, S. V. Rychev, V. N. Nechiporenko // J. of Superhard Mat. – 2019. – Vol. 41, № 2. – P. 119–125.

5. Розенберг, О. О. До питання розробки технологічних змащень для обробки деталей з титанових сплавів деформуючим протягуванням / О. О. Розенберг, А. Ю. Шило, В. С. Гаврилова, І. Ю. Ростоцький, С. Є. Шейкін // Вісник Житомирського інженерно-технологічного інституту. – 2009. – № 2. – С. 3–7.

*Клименко Г.П., Бородай Р.А., Григоренко Д.М.,  
Станкова М.В. Донбаська державна  
машинобудівна академія, Краматорськ, Україна*

## **ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ КОНСТРУКЦІЙ ЗБІРНИХ РІЗЦІВ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ПРОФІЛЮ КОЛІСНИХ ПАР**

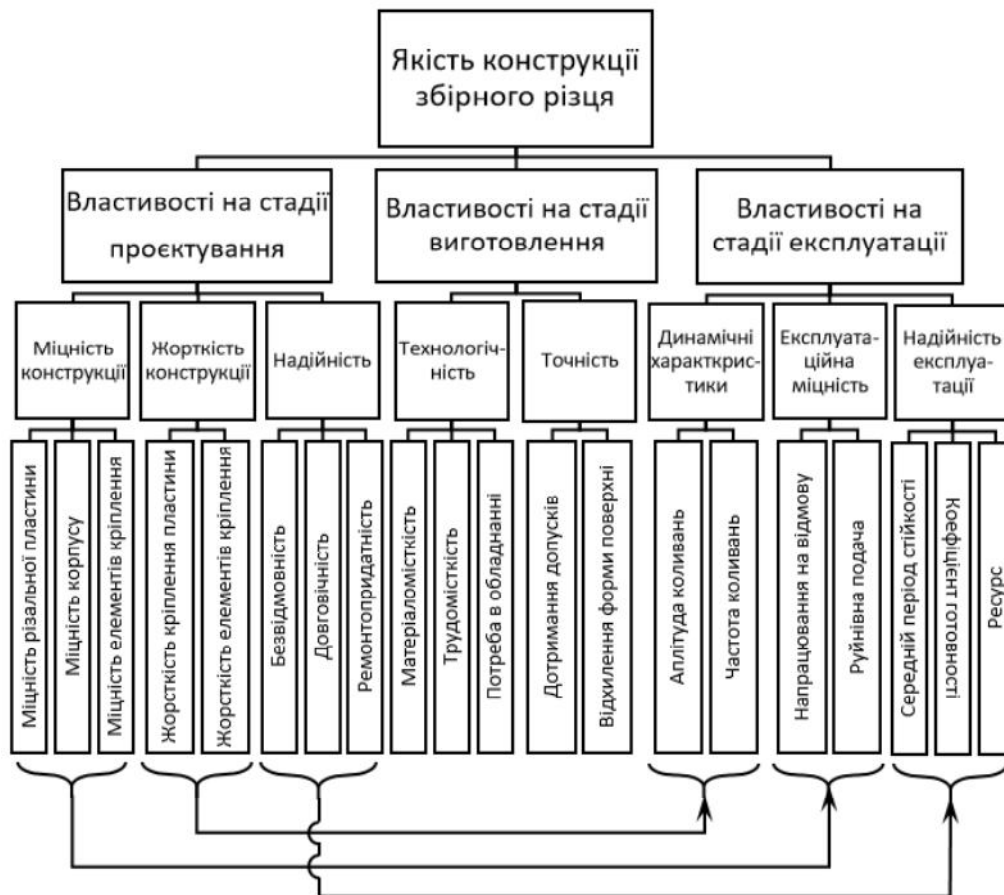
Кількісна оцінка якості конструкцій різального інструменту з використанням кваліметричного підходу проводилася [1] для різців збірної конструкції загального призначення. Подальшого розвитку кваліметрії набули дослідження [2] щодо процесу експлуатації різального інструменту. Однак, збірні різці для відновлення профілю колісних пар мають свої конструктивні особливості [3], які необхідно враховувати при визначенні ефективності конструкції та її якості.

Метою цієї роботи є розробка ієрархічної системи властивостей, що складають якість збірних різців для відновлення профілю колісних пар, для кількісної оцінки ефективності нових конструкцій.

Застосовуючи кваліметричний підхід до оцінювання якості конструкції збірних різців, було розроблено ієрархічну систему властивостей, що становлять якість інструменту для обробки колісних пар, яка представлена на рис. 1.

У зазначеній системі рівень якості збірного різального інструменту для оброблення колісних пар враховує такі властивості:

- властивості на стадії проектування;
- властивості на стадії виготовлення;
- властивості на стадії експлуатації.



**Рис. 1 – Ієрархічна система властивостей, що становлять якість збірного різального інструменту для обробки колісних пар**

Кожна з цих властивостей характеризується властивостями нижчого рівня. Так властивості на стадії проектування містять у собі:

- міцність конструкції, яка характеризується міцністю різучої пластини, міцністю корпусу, міцністю елементів кріплення;
- жорсткість конструкції, яка характеризується жорсткістю кріплення пластини, жорсткістю елементів кріплення;
- надійність конструкції, яка характеризується безвідмовністю, довговічністю, ремонтпридатністю.

Аналогічно властивості на стадії виготовлення містять у собі:

- технологічність, яка характеризується матеріаломісткістю, трудомісткістю, потребою в обладнанні;
- точність, яка характеризується дотриманням допусків, відхиленням форми поверхонь.

І, нарешті, властивості на стадії експлуатації включають у себе:

- динамічні характеристики, які характеризуються амплітудою і частотою коливань;

- експлуатаційну міцність, яка характеризується напрацюванням на відмову, руйнівною подачею;
- надійність експлуатації, яка характеризується середнім періодом стійкості, коефіцієнтом готовності, ресурсом.

Кваліметричний підхід до кількісної оцінки якості конструкцій збірних різців для оброблення колісних пар дав змогу визначити рівень якості  $Y_i$  конструкції на підставі експертних оцінок і результатів експериментальних досліджень.

### **Література**

1. Клименко, Г. П. Определение уровня качества эксплуатации режущего инструмента / Г. П. Клименко // Вісник НТУУ «КПІ». Серія: машинобудування : Зб. наук. праць. – К. : НТУУ «КПІ», 2001. – Вип. 40. – С. 337–346.

2. Клименко, Г. П. Основы рациональной эксплуатации режущего инструмента : уч. пособие / Г. П. Клименко. – Краматорск : ДГМА, 2006. – 200 с.

3. Kovalov, V. Research of the construction parameters in elements of fastening of tip on the durability of split cup-tip tool / V. Kovalov, V. Guzenko, I. Polupan // 9<sup>th</sup> Inter. Quality Conf.: Conf. manual. – Kraguevac, Serbia : Center for Quality, Faculty of Engineering, University of Kraguevac, 2015. – Scientific Focus 1. – P. 94–98.

*Клименко Г.П., Захаров Є.О., Богатов Д.Е.  
Донбаська державна машинобудівна  
академія, Краматорськ, Україна*

## **ОЦІНКА ВЛАСТИВОСТЕЙ ЯКОСТІ КОНСТРУКЦІЙ ЗБІРНИХ РІЗЦІВ ЛЯ ВАЖКОГО МАШИНОБУДУВАННЯ НА СТАДІЇ ПРОЄКТУВАННЯ**

Створена модель системи якості процесу експлуатації інструментів на важких верстатах. При побудові структури системи [1] експлуатація інструменту вперше розглядається як сукупність процесів: організаційного, керування ресурсами, обслуговування технологічної системи, підготовчо-інформаційного, процесу обробки деталей і забезпечення зворотнього зв'язку (оцінки, аналізу, удосконалення). для різців збірної

конструкції загального призначення. Обґрунтовані положення з вибору конструктивних параметрів збірної інструменту для заданих умов їх експлуатації. Розроблена методика використана для кількісної оцінки ефективності нових конструкцій різальних інструментів для важкого машинобудування.

Проведені експлуатаційні випробування збірних різців для важкого машинобудування базової та вдосконаленої конструкцій методом руйнівної подачі в лабораторних умовах на токарному верстаті 1А64. Результати експлуатаційних випробувань наведено в табл. 1.

**Таблиця 1 – Результати експлуатаційних випробувань**

Різець	Марка твердого сплаву	Оброблювальний матеріал	Режими випробування		Руйнівна подача, мм/об	Підвищення міцності	
			$t$ , мм	$v$ , м/мин			
1	базова конструкція	Т14К8	Сталь 3	3	20	4,5	–
						удосконалена конструкція	5,1
2	базова конструкція	МС221	Сталь 3	3	20	4,75	–
						удосконалена конструкція	5,7

Для оцінки властивостей на стадії проектування (міцність конструкції, жорсткість конструкції, надійність конструкції) використовували оцінки експертної групи, що складалася з 7 осіб, у якій були представники підприємств (ПрАТ "КЗВВ", локомотивне депо ст. Лиман і ДДМА).

Вагомість кожної властивості обчислювали за формулою (1) залежно від рангів  $R_i$ , визначених експертами:

$$B_i = \frac{R_i}{\sum_1^8 R_i} \quad (1)$$

Рівень якості конструкції визначали за формулою:

$$Y_i = \sum_{i=1}^n K_i^j \cdot B_i^j \quad (2)$$

де  $K_i^j$  – оцінка комплексної  $i$ -ї властивості на  $j$ -м рівні розгляду;  $B_i^j$  – вагомість  $i$ -ї властивості на  $j$ -му рівні розгляду. Результати оцінювання рангів і оцінювання вагомостей властивостей, що становлять якість збірних різців наведено в табл. 2.

**Таблиця 2 – Результати оцінки рангів і оцінки вагомостей властивостей, що становлять якість збірних різців**

Найменування властивостей	Ранг $R_i$	Вагомість $B_i$	Оцінка $K_i = P_i/p_i^{баз}$		Підстава
			Різець 1 (баз.)	Різець 2 (удоск.)	
Стадія проектування					
Міцність конструкції	10	0,14	1,2	1,2	Експертна оцінка
Жорсткість конструкції	10	0,14	1,2	1,6	
Надійність конструкції	9	0,13	1,1	1,1	
Стадія виготовлення					
Технологічність	7	0,10	0,8	0,8	Дослідні зразки
Точність	5	0,08	1,0	1,0	
Стадія експлуатації					
Динамічні характеристики	10	0,14	1,2	1,5	Лабораторні та експлуатаційні дослідження
Експлуатаційна міцність	10	0,14	1,4	1,6	
Надійність експлуатації	9	0,13	1,2	1,2	
$\sum R_i$	70				

Рівень якості базової конструкції збірного різця дорівнює:

$$y_{1чаш} = \sum_1^n K_i \cdot B_i = 1,2 \cdot 0,14 + 1,2 \cdot 0,14 + 1,1 \cdot 0,13 + 0,8 \cdot 0,1 + 0,08 \cdot 1 + 1,2 \cdot 0,14 + 1,4 \cdot 0,14 + 1,2 \cdot 0,13 = 1,159.$$

Рівень якості експлуатації вдосконаленої конструкції збірного різця:

$$y_{2чаш} = \sum_1^n K_i \cdot B_i = 1,2 \cdot 0,14 + 1,6 \cdot 0,14 + 1,1 \cdot 0,13 + 0,8 \cdot 0,1 + 0,08 \cdot 1 + 1,5 \cdot 0,14 + 1,6 \cdot 0,14 + 1,2 \cdot 0,13 = 1,285.$$

Таким чином, розрахунками підтверджено, що рівень якості вдосконалених конструкцій збірного різця вищий за рівень якості базових конструкцій у 1,2 раза.

### Література

1. Клименко, Г. П. Якість і надійність експлуатації збірних твердо-сплавних інструментів / Г. П. Клименко, Я. В. Васильченко, М. В. Шаповалов // Вісник Національного технічного університету ХПІ. Series: Techniques in a machine industry : зб. наук. пр. – Харків : НТУ «ХПІ», 2018. – № 34 (1310). – С. 34–39.

*Клименко С.А., Манохін А.С., Конєйкіна М.Ю.,  
Клименко С.Ан., Мельнійчук Ю.О.* Інститут надтвердих  
матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ, Україна  
*Xin Li, Fei Teng, Junjie Zhang, Tao Sun.* Center for Precision  
Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin, China

## **МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕРИВЧАСТОГО РІЗАННЯ ЗАГАРТОВАНОЇ СТАЛІ ІНСТРУМЕНТОМ З PcBN**

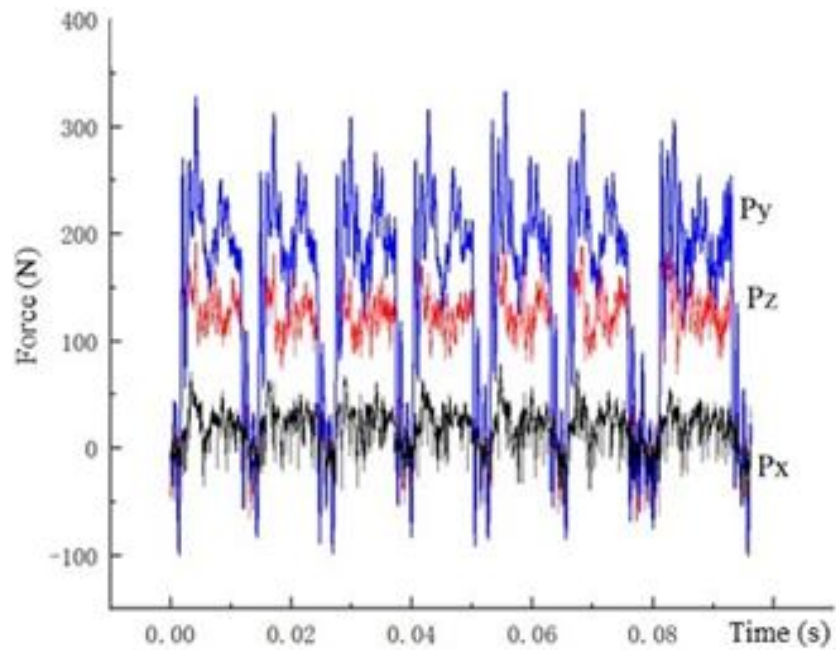
Полікристалічні композити на основі кубічного нітриду бору (PcBN) знайшли широке застосування в різальних інструментах при високопродуктивної якісної механічної обробці виробів з матеріалів високої твердості, зокрема, загартованих сталей, у тому числі при переривчастому різанні.

Для різальних інструментів із PcBN, що використовуються при переривчастому різанні з ударним навантаженням, розподіл напружень на структурних компонентах композиту є одним з ключових факторів, що впливають на їх працездатність. Дослідження напружено-деформованого стану інструменту у зоні різання можуть бути ефективно виконані з використанням моделювання методом скінченних елементів. При цьому, для наближення результатів дослідження до реального стану необхідно проводити моделювання з урахуванням наявності та розподілу частинок cBN в полікристалічній структурі PcBN.

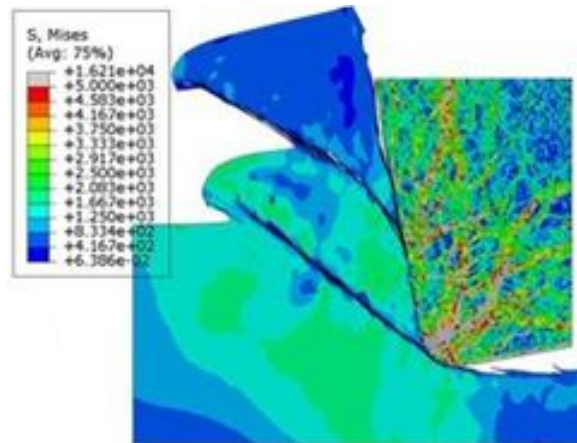
Оскільки PcBN є типовим полікристалічним матеріалом, для опису його кристалічної структури використовуємо діаграму Вороного [1]. При цьому, частинки cBN представлені нерегулярними багатокутниками з випадковими розмірами, а компонента, що зв'язує систему, розподілена між цими частинками.

На рис. 1, *а* представлено графік зміни складових сили різання  $P_Z$  з часом, який показує наявність коливання сили навколо постійного значення. Коливання сили різання тісно корелюють з процесами утворення стружки – зокрема, при утворенні кожного елемента стружки сила різання різко змінюється, значно зменшуючись після його формування (рис. 1, *б*). Там же показаний змодельований розподіл напружень в інструменті (рис. 1, *в*).

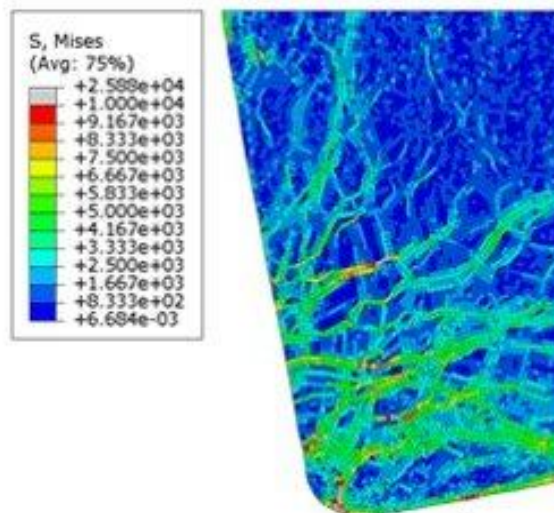
Наведені дані свідчать про концентрацію напружень на різальній кромці інструменту, а також поширення напружень через межу поділу між зернами cBN. Спостерігається значна концентрація напружень на передній поверхні різального інструменту, викликана ковзанням стружки, і окремі зерна PcBN виступають концентраторами напружень.



*a*



*б*



*в*

**Рис. 1 – Зміна тангенціальної сили різання (*a*), модельна форма стружки (*б*), напруження в різальному клині (*в*) при різанні сталі AISI 52100 інструментом з PсBN ВН**

Таким чином, модель інструменту з PcBN, яка враховує можливість деформування робочого елемента інструменту з урахуванням його полікристалічної структури перевірено шляхом порівняння розрахованої сили різання з експериментально отриманою, а також порівнянням морфології реальної стружки до стружки, яка формується в результаті моделювання. Результати експерименту та скінченно-елементного моделювання демонструють, що утворення суглобистої стружки є однією з причин коливання сили різання. Моделювання деформованого різального інструменту виявило наявність концентрації напружень на зернах cBN.

## Література

1. Li, H. Extended Voronoi cell finite element methods for fracture analysis of composites / H. Li, R. Guo // Theoretical and Applied Fracture Mechanics. – 2022. – 117. – P. 103165.

*Клименко С.А., Мельничук Ю.О., Копейкіна М.Ю.,  
Манохін А.С., Клименко С.Ан., Чумак А.О.*

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

## **ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРСПЕКТИВНИХ СКЛАДІВ PVD-ПОКРИТТІВ ДЛЯ ІНСТРУМЕНТІВ ІЗ ПКНБ ПРИ ОБРОБЦІ ВАЖКООБРОБЛЮВАНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Інженерна практика в багатьох областях вимагає застосування таких матеріалів, як жароміцні суперсплави на основі Ni/Co та загартовані високолеговані сталі з прогресивними властивостями, такими як міцність, твердість, жаростійкість. Обробка вказаних матеріалів у машинобудуванні вимагає застосування різальних інструментів з надзвичайно високими фізико-механічними властивостями, таких як, наприклад, тверді сплави та надтверді композити на основі полікристалічного кубічного нітриду бору (ПКНБ), які ефективні, але водночас дорогі.

Обробка важкооброблюваних матеріалів в умовах високих термосилових навантажень, що виникають у контактній зоні різання, інструментами із ПКНБ, як правило, відбувається на швидкостях різання від 60 до 150 м/хв, щоб забезпечити економічно вигідний період роботи інструменту. Підвищення швидкості різання вище 200 м/хв призводить до деградації та швидкого зносу різальних інструментів із ПКНБ. В

умовах високошвидкісної обробки важкооброблюваних сплавів різальні інструменти із ПКНБ повинні характеризуватися високою термостійкістю  $> 1100$  °С, високою стійкістю до абразивного зношування, а також чинити опір окислювальним процесам хімічної взаємодії з оброблюваним матеріалом.

Збільшити терміну служби інструментів із ПКНБ можна за допомогою захисних PVD-покриттів, нанесених вакуумно-дуговим методом. Сучасні захисні покриття для різальних інструментів із ПКНБ повинні володіти не тільки високою твердістю та зносостійкістю але й підвищеною стійкістю до крихкого руйнування, підвищеними температурами та пов'язаними з нею процесами дифузії та окислювання. У попередніх роботах було розроблено та досліджено широку гаму захисних покриттів для інструментів із ПКНБ серед яких найбільш перспективними для застосування на робочих поверхнях інструментів є наноструктурні покриття складу  $(\text{TiAlSiY})\text{N}$ ,  $\text{MoN/CrN}$ ,  $\text{TiN/CrN}$ ,  $\text{BN}$  в аморфному стані, які дозволили підвищити стійкість інструментів із ПКНБ більше ніж у два рази. При цьому використання інструментів із розробленими покриттями при високошвидкісній обробці  $> 200$  м/хв важкооброблюваних матеріалів не виявило суттєвого підвищення стійкості інструменту через низьку термічну, структурну стійкість та недостатню твердість розроблених покриттів, а в покриттях з підвищеним вмістом (Al) відмічається низька тріщиностійкість у високих температурах відмічено утворення фази  $h\text{-AlN}$ , яка суттєво знижує експлуатаційні властивості покриттів.

Розробка нових PVD покриттів для інструментів із ПКНБ та удосконалення існуючих можливе за рахунок збільшення кількості функціональних шарів із наночисловою структурою; удосконалення складу покриттів за рахунок введення до складу покриттів додаткових металів та неметалів, використання комбінації нітридних, карбонітридних та оксінітридних покриттів. Подальше підвищення властивостей розроблених покриттів можливе за рахунок додавання до складу вже розроблених покриттів додаткових елементів, серед яких гафній (Hf), молібден (Mo), цирконій (Zr).

Наявність Hf та Mo у складі покриття дозволяє підвищити твердість та жароміцність покриттів, а також трибологічні властивості, що пов'язано з тим, що при високих температурах, характерних для високошвидкісної обробки, на поверхні покриттів, які містять Hf та Mo утворюються оксидні плівки  $\text{MoO}_2$  та  $\text{HfO}_2$ , які захищають контактні поверхні інструментів від подальшого окислювання та виконують функцію твердого змащення. Наявність цирконію Zr підвищує стійкість до появи тріщин у покритті та крихкого руйнування.

Крім того перспективними PVD-покриттями є високоентропійні багат шарові покриття типу  $(\text{TiAlCrZrNb})\text{N}$ ,  $(\text{AlCrNbSiTiV})\text{N}$ ,  $(\text{TiVCrZrHf})\text{N}$ ,  $(\text{AlCrTaTiZr})\text{N}$ ,  $(\text{AlCrNbYZr})\text{N}$ . Наявність у складі покриття  $\text{TiN}$  та  $\text{ZrN}$ , в яких відбувається розчинення металів алюмінію, ніобію та хрому дозволить підвищити твердість покриття до 40 ГПа за рахунок твердорозчинного зміцнення та утворення міцних зв'язків «метал-азот» одночасно забезпечуючи високу тріщиностійкість.

Подальше підвищення твердості покриттів можливо отримати шляхом додавання до складу з'єднань бору (В). Покриття типу  $\text{HfB}_2$  можуть виступати в якості проміжного високотвердого шару (44 ГПа) у багат шаровому покритті, що дозволить підвищити загальні фізико-механічні характеристики покриття, а низька різниця КТР таких покриттів із основою із ПКНБ може зменшити відшарування покриттів при високих температурах різання. У покриттях на основі нітридів титану та алюмінію  $(\text{TiAl})\text{N}$  додавання хрому Cr дозволяє стабілізувати фазовий склад покриття при підвищених температурах. Високі трибологічні властивості покриттів при підвищених температурах пов'язані із формуванням у поверхневому шарі з'єднань  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ ,  $\text{HfO}_2$ . У багатокomпонентних покриттях гафній (Hf) забезпечує зниження дефектності покриття за рахунок температурної дифузії та уповільнення спинодального розпаду на межах шарів покриття та зерен.

Введення до складу покриттів, що містять нітриди алюмінію, титану та ітрію підвищує твердість та жароміцність покриттів за рахунок зменшення швидкості розкладання твердого розчину та сприяє утворенню в покритті фаз  $c\text{-TiN}$ ,  $c\text{-YN}$  та  $w\text{-AlN}$ , а також утворенню оксидних плівок  $\text{Al}_2\text{O}_3$  замість пористого оксиду  $\text{TiO}_2$ .

Враховуючи високі термосилові навантаження, що виникають при високошвидкісній обробці важкооброблюваних матеріалів для адгезійної міцності покриттів на основу інструментів із ПКНБ доцільно використовувати один із металів Zr, Hf, Cr товщиною 30–50 нм, що забезпечить високе зчеплення із основою, а також перехідний шар, який буде складатися із нітридів металів  $(\text{ZrHf})\text{N}$ ,  $(\text{ZrAl})$   $(\text{TiY})\text{N}$ ,  $(\text{TiAl})\text{N}$ ,  $(\text{TiCrAl})\text{N}$  товщиною 0,5–1,0 мкм, що забезпечує плавний перехід до зносостійкого шару покриття на основі багатокomпонентних нітридів металів товщиною 3,0–3,5 мкм.

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

*Ковальов В.Д., Васильченко Я.В., Корчма Д.О.,  
Властов П.А., Шаповалов М.К.* Донбаська державна  
машинобудівна академія, Краматорськ, Україна

## **ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕГРАЛЬНО-КВАДРАТИЧНОГО КРИТЕРІЮ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ РЕГУЛЯТОРІВ ШВИДКОСТІ МЕХАТРОННОГО МОДУЛЯ**

Для сучасного етапу розвитку приводів характерне значне ускладнення функцій, які вони виконують. Якщо в простих верстатах основною функцією приводу є стабілізація швидкості під час зміни навантаження, що накладає обмеження тільки на динамічні характеристики за збурювальною дією, то в автоматизованих верстатах, особливо в багатоопераційних верстатах, потрібна висока якість динамічних характеристик, як за керувальною, так і за збурювальними впливами. Особливого значення набуває аналіз динамічних характеристик електромеханізмів верстатів, у яких потрібно точне узгодження рухів механізмів головного руху і подачі. Комплексний підхід до аналізу перехідних процесів у приводі мехатронних вузлів верстатів з метою забезпечення оптимальної продуктивності робить завдання дослідження динаміки електроприводу вельми актуальним.

Під час аналізу систем приводів найбільш широкого поширення набули частотні методи, що оперують амплітудно-фазовими характеристиками системи. Синтез структур електроприводів механізмів верстатів зазвичай проводять у режимі безперервних струмів із використанням різних критеріїв якості. Приведення асимптотичної ЛАЧХ до виду, що забезпечує певне узгодження резонансних частот зрізу відповідно до різних критеріїв, дає досить грубу оцінку якості перехідних процесів і в низці випадків не відповідає вимогам, що пред'являються до точності аналізу динамічних характеристик приводу. Крім того, виникають значні труднощі у виборі структури під час аналізу перехідних процесів з урахуванням двох впливів, як керуючого, так і обурливого. Як показав аналіз різних критеріїв якості, найточніші й найпридатніші для практичного використання результати дають: амплітудно-частотний та інтегрально-квадратичний. Під час використання інтегрально-квадратичної оцінки накладається умова мінімуму інтеграла виду

$$\int_{x=0}^{\infty} \left[ x^2(t) + \tau_1^2 \left( \frac{dx(t)}{dt} \right)^2 + \tau_1^2 \left( \frac{d^2x(t)}{dt^2} \right)^2 + \dots + \tau_n^2 \left( \frac{d^n x(t)}{dt^n} \right)^2 \right] dt$$

З метою оцінки перехідного процесу за збурливим впливом використовується інтегральна оцінка виду:

$$\int_{\eta} = \int_0^{\infty} \eta^2(t) dt,$$

де  $\eta(e)$  – помилка, спричинена основним збурливим впливом. Інтеграл оцінює величину динамічного "провалу" швидкості і час її відновлення.

Якість перехідного процесу за керуючим впливом оцінювали на підставі такого інтеграла

$$\int_x = \int_0^{\infty} \left[ x^2(t) + \tau_1^2 \left( \frac{dx(t)}{dt} \right)^2 \right] dt,$$

де  $x(t)$ ,  $dx(t)/dt$  – помилка від керуючого впливу та його похідної. Оцінка накладає на перехідний процес за керуючим впливом обмеження щодо перерегулювання. Дослідження показали, що в реальних системах електроприводу верстатних модулів третього порядку помилку від похідних більш високого порядку можна не враховувати. Застосування інтегральної оцінки забезпечує адекватне судження про форми перехідного процесу. Мінімуму інтегральної оцінки відповідає перехідний процес  $x(t) \sum \exp \frac{t}{\tau_i}$ , отже,  $\int_{\min} = \tau_1$ .

Вибір бажаних динамічних процесів пропонується здійснювати з використанням сумарної інтегральноквадратичної оцінки:

$$\int_{\Sigma} = k_y \int_x + \int_{\eta} = k_y \int_0^{\infty} \left[ x^2(t) + \sum_{i=1}^n \tau_i^2 \left( \frac{d^{(i)}x(t)}{dt^{(i)}} \right)^2 \right] dt + \int_0^{\infty} \eta^2(t) dt$$

$k_y$  – ваговий коефіцієнт, що враховує вплив динамічних характеристик на продуктивність верстата;  $\tau_i$  – вагові коефіцієнти складових процесу.

Інтегрально-квадратичний критерій оцінки якості перехідних процесів дає змогу отримати безпосередній зв'язок основних параметрів регуляторів електроприводів із величинами максимальних відхилень процесу від оптимального.

Структури, оптимізовані за цим критерієм, матимуть передавальну функцію за керуванням, близьку до передавальної функції простої аперіодичної ланки.

Запропонована методика дослідження динамічних характеристик електроприводу методом інтегрально-квадратичної оцінки дає змогу оптимізувати перехідні процеси приводів мехатронних модулів, як за керувальним, так і за збурювальним впливом. Отримано аналітичні ви-

рази, що відображають зв'язок основних параметрів регуляторів із характеристиками перехідних процесів у приводах мехатронних модулів. Показано, що найкращі можливості, з точки зору оптимізації динамічних характеристик, має структура приводу, що містить регулятор швидкості та регулятор струму (підпорядковане регулювання).

*Комарова Г.Л., Сергєєв Д.М. Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна*

## **ВПРОВАДЖЕННЯ 3D МЕТРОЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЮ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ПРЕЦИЗІЙНИХ КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ**

Сучасне виробництво прецизійних корпусних деталей потребує доступного та достовірного 3D метрологічного контролю для повсякденного використання у механічних цехах, підрозділах контролю якості, збиральних дільницях, дільницях вхідного контролю продукції.

Для 3D вимірювань прецизійних корпусних деталей сьогодні найбільш доцільно обрати контактні 3D координатно-вимірювальних машин (далі – 3D КВМ) через найкраще співвідношення якість/ціна. Сьогодні безконтактний 3D вимірювач має похибку значно більшу ніж похибки рівноцінних контактних 3D КВМ, тому надається перевага контактним видам вимірювань.

Розглянемо алгоритм обрання 3D КВМ згідно 10-ти основних критеріїв. Також проаналізуємо переваги та недоліки при обранні 3D КВМ.

Критерій 1. Показники робочої зони при вимірюванні деталей.

До обов'язкових критеріїв оптимізації КВМ зараховують три показники переміщення:

- переміщення за координатою X;
- переміщення за координатою Y;
- переміщення за координатою Z.

Вимоги до бажаних робочих переміщень за координатами (X, Y, Z) залежать від вимірюваних розмірів та габаритів вимірюваної деталі з урахуванням довжини вимірювальних щупів та індексації положення вимірювальної голівки.

Бажано створити метрологічні резерви 3D вимірювань за трьома координатами для всіх конкурентних варіантів КВМ (X, Y, Z) на випа-

док наступних вимірювань більш габаритних деталей. Необґрунтоване збільшення об'єму робочої зони вимірювань ускладнює процес, посилює похибку та стрімко збільшує собівартість 3D вимірювань.

Критерій 2. Власні регламентовані переміщення.

За відсутності стандарту на рекомендовані розміри показників переміщень уздовж ортогональних осей різні виробники пропонують КВМ із власними регламентованими переміщеннями за трьома осями (X, Y, Z) для 3D вимірювань. Окрім забезпечення бажаної вимірювальної зони за осями X, Y, Z також доцільно враховувати бажану максимальну довжину вимірювань у вигляді просторової діагоналі L.

Довжина просторової діагоналі L є тим розміром, який необхідно враховувати під час обчислення найбільшої похибки вимірювань КВМ за паспортною формулою похибки.

Критерій 3. Обрання між ручними або автоматизованими КВМ.

Автоматизоване переміщення у вимірювальній зоні прискорює та спрощує 3D вимірювання та суттєво зменшує похибку вимірювань шляхом зменшення суб'єктивного впливу оператора. Ціна автоматизованих контактних 3D КВМ на 35–50% більша за ціну аналогічних ручних, проте це компенсується значно кращими функціональними та метрологічними показниками.

Критерій 4. Основна похибка КВМ.

Очікувану паспортну похибку КВМ доцільно призначати у 2,5–3,0 рази меншою ніж відповідні допуски вимірюваних деталей.

Похибки ручних контактних 3D КВМ зазвичай на 10–20% більші за похибки автоматичних контактних КВМ аналогічних діапазонів та дискретності.

Критерій 5. Дискретність відліку лінійних шкал

Дискретність відліку лінійних шкал (1,0 мкм/ 0,5 мкм/ 0,1 мкм) виробники фіксують у каталогах КВМ, але дискретність як значущий критерій оптимізації не враховується, бо цей показник вже враховано у загальній похибці КВМ.

Критерій 6. Навантаження на стіл

Цей показник є малозначним, оскільки виробники КВМ передбачають міцність та жорсткість стола у базовій комплектації відповідними до габаритів вимірюваної деталі.

Критерій 7. Обрання між інтуїтивним програмним забезпеченням (ІПЗ) та традиційним програмним забезпеченням (ТІЗ).

Цей вибір є принциповим, оскільки 3D вимірювання побудовані на складних багатофакторних математичних обчисленнях, які можуть сут-

тево ускладнювати використання 3D КВМ. Традиційні ПЗ для КВМ мають доволі складний, не завжди очевидний шлях використання, що передбачає підвищені вимоги до оператора.

#### Критерій 8. Ціна.

Замовник завжди має лімітну ціну у межах якої передбачено придбати необхідну КВМ. З метою порівняння усіх конкурентних цінових пропозицій для заповнення вибору КВМ використовують безрозмірні поділи:

- поділи мають знак «+» у випадку, коли лімітна ціна замовника вища ніж ціна конкурентної пропозиції;
- поділи мають знак «-» у випадку, коли лімітна ціна замовника менша ніж ціна конкурентної пропозиції.

#### Критерій 9. Витрати на поточне обслуговування 3D КВМ.

Щорічні консультації, сервіс, модернізація, планове та позапланове калібрування згідно з ISO 17025 протягом усього терміну використання КВМ (10–20 років) можуть наближатися до ціни «R» за КВМ. Доцільно встановити ліміти витрат на поточне обслуговування та бажано отримати від постачальників 3D КВМ конкурентні пропозиції стосовно вартості очікуваних витрат.

Критерій 10. Маса, габаритні розміри, вимоги до електромережі та стиснутого повітря тощо.

Замовник може врахувати їх або й інші показники відповідно до умов використання 3D КВМ.

Таким чином можливо зробити висновок, що метрологічний контроль є кінцевою виробничою операцією, тому якісні 3D вимірювання зменшують собівартість виробництва та підвищують конкурентоспроможність продукції, що особливо важливо в умовах військового стану та світової кризи.

### **Література**

1. Закон України № 1314-VII від 5 червня 2014 року «Про метрологію та метрологічну діяльність». – <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1314-18>
2. Каталог координатно-вимірювальних машин ABERLINC (Великобританія). – <https://www.aberlink.com/products/coordinate-measuring-machines>
3. Методика калібрування координатно-вимірювальних машин всіх типів ННЦ «Інститут метрології». – <http://www.metrology.kharkov.ua>
4. Методика калібрування координатно-вимірювальних машин ABERLINC (Великобританія). – [https://microtechua.com/index.php?id\\_product=9243&controller=product&id\\_lang](https://microtechua.com/index.php?id_product=9243&controller=product&id_lang)

*Лавріненко В.І., Полторацький В.Г., Смоквина В.В.,  
Петасюк Г.А. Інститут надтвердих матеріалів  
ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ,  
Солод В.Ю., Кашинський І.С., Гумаров О.В.  
Дніпровський державний технічний університет,  
Кам'янське, Україна*

## **СУЧАСНІ РОЗРОБКИ В НАНЕСЕННІ ТА ЗАСТОСУВАННІ ЗАХИСНИХ НІТРИДНИХ ПОКРИТТІВ НА АБРАЗИВНІ ТА ЛЕЗОВІ ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ**

Покриття зерен алмазів та лезових інструментів є одним з важливих факторів впливу на зміну його властивостей та підвищення стійкості. В даній роботі нами зупинена увага на сучасних розробках саме 2023 року в отриманні різних захисних покриттів, причому майже всі вони стосуються саме нітридних покриттів, тобто цей напрямок останнім часом є важливим і актуальним.

Алмаз має великий потенціал для ефективного розсіювання тепла завдяки його надвисокої теплопровідності. В роботі [1] був застосований метод нерівноважної молекулярної динаміки з урахуванням таких параметрів, як тип наностовпчиків, що чергувалися, їх розмір і висота, для вивчення їх впливу на тепловий граничний опір (TBR) на межах розділу AlN/алмаз. TBR оптимального інтерфейсу AlN/алмаз наностовпчатих структур може бути зменшений на 28% у порівнянні із плоским інтерфейсом. Для нас такі дослідження є цікавими з точки зору нанесення нітридних покриттів на дефектний пористий алмаз [2], адже саме тут можливо реалізувати розвинений контакт між покриттям і алмазом.

Низький ефективний тепловий граничний опір ( $TBR_{\text{eff}}$ ) на межі GaN/алмаз є дуже важливим і для розробки потужних, високотемпературних пристроїв GaN-на-алмазі. В роботі [3] багатошарові композити GaN/SiN<sub>x</sub>/алмаз виготовлювалися за технологією MPCVD при різних напругах зміщення (400–700 В). Багатошаровий композит GaN/SiN/алмаз, виготовлений при 600 В, мав товстий змішаний перехідний шар, що містив багатофазні структури і шорсткі межі розділу внаслідок ефективною під поверхневою іонною імплантації, що привело до високого TBR. GaN/SiN/алмаз, отриманий за умов зародження при зміщенні 700 В, мав найменшу ефективність TBR ( $26 \pm 10 \text{ м}^2 \cdot \text{К/ГВт}$ ), тоді як багатошаровий композит GaN/SiN<sub>x</sub>/алмаз при зміщенні 600 В мав найбільш високий  $TBR_{\text{eff}}$  ( $83 \pm 18 \text{ м}^2 \cdot \text{К/ГВт}$ ). Тобто, при 700 В більш то-

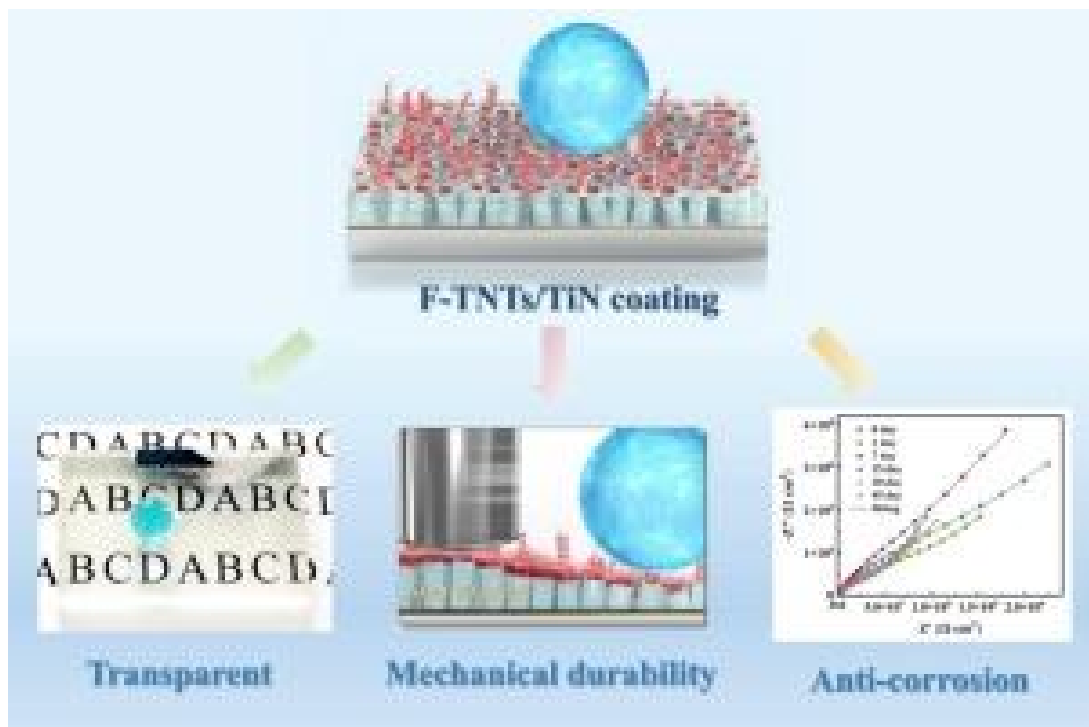
нка зона зародкоутворення та більш гладенька поверхня розділу приводять до найменшого значення  $TBR_{eff}$ .

В роботі [4] розглянута міжфазна взаємодія між алмазом і гексагональним нітридом бора (hBN). Слабка ван-дер-ваальсова (vdW) взаємодія між hBN і алмазом з водневими кінцевими групами (Н-алмаз) забезпечує основу для введення кута закручування як нової ступені свободи для модуляції властивостей гетероструктур. Результати засвідчили, що додаткові вільні орбіталі, які утворюються внаслідок спонтанної релаксації hBN при більшій деформації, викликаній скручуванням, можуть посилити vdW-зв'язок між hBN і Н-алмазом, що буде сприяти переносу заряду на межі розділу, тим самим послабляючи поверхневе розсіяння домішок і збільшуючи накопичення дірок на поверхні Н-алмаза.

В статті [5] було створене міцне і довговічне прозоре супергідрофобне покриття F-TNTs/TiN. Покриття TiN, нанесене методом багатодугового іонного осадження, було анодоване для отримання композитних структур з нанотрубками  $TiO_2$  з наступною обробкою 1Н, 1Н, 2Н, 2Н-перфтордецилтриетоксисиланом для створення покриття F-TNTs/TiN (рис. 1). Композитне покриття має шарувату структуру загальною товщиною біля 95 нм. Верхні дві третини шару складають пористі шари з впровадженням  $TiO_2$ , а нижній шар є щільним шаром TiN. Покриття має високу прозорість зі середнім світлопропусканням до 79,6 % і відмінною супергідрофобністю зі статичним контактним кутом (SCA) біля  $154^\circ$  і кутом ковзання менше  $2,4^\circ$ , демонструючи гарну здатність до самоочищення. Покриття також мало механічну стабільність покриттів методом фізичного осадження з парової фази (PVD) з твердістю 21 ГПа і демонструвало відмінну гідрофобність навіть після 20 циклів протирання наждачним папером [5].

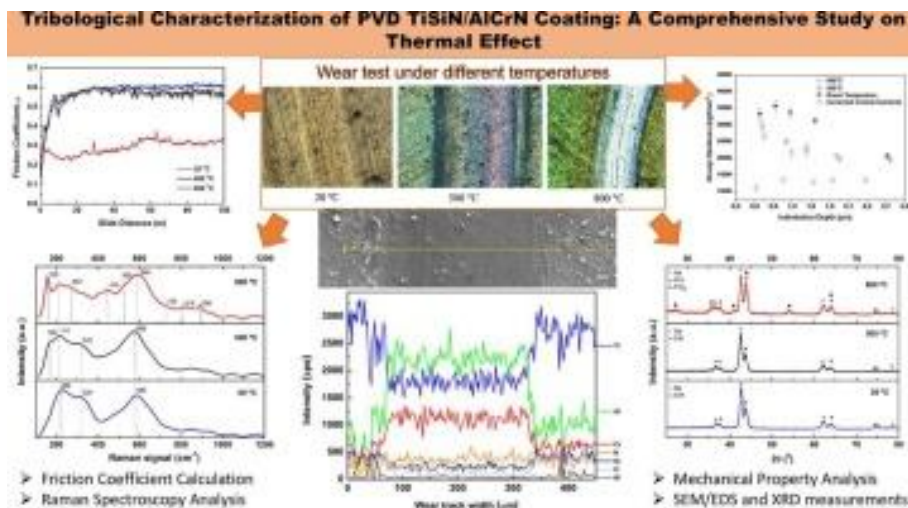
В статті [6] досліджені інструментальні вставки з покриттям  $Ti_{1-x}Al_xN$ , застосовуваних для токарної обробки нержавіючої сталі 316L, допомогою рентгенівської спектроскопії XANES, EXAFS і EDS. Для крупнозернистих покриттів  $Ti_{1-x}Al_xN$  з ГЦК-структурою при  $0 \leq x \leq 0,62$  спектр XANES змінюється в залежності від вмісту алюмінію. Лінійне сканування XANES-Ti по передній поверхні зношених зразків показує, що домени, збагачені TiN, утворювалися під час точіння у  $Ti_{0,47}Al_{0,53}N$  і  $Ti_{0,38}Al_{0,62}N$  зразків внаслідок спінодального розпаду. Спектри XANES показують місця на інструменті, в яких сформувалися домени з найбільшим вмістом TiN, а це вказує, яка частина області контакту інструмента зі стружкою піддавалася найбільшій температурі під час точіння.

Зміни предкрасєвих особливостей в спектрах XANES засвідчують, що структурні зміни відбуваються також і в фазі  $w\text{-TiAlN}$  в дрібнозернистому  $\text{Ti}_{0,38}\text{Al}_{0,62}\text{N}$  при токарній обробці. EDS показує, що Cr і Fe з сталі прилипають до передньої поверхні інструменту під час обробки. Спектри Cr і Fe XANES свідчать, що Cr окислюється в кінці довжини контакту, в той час як налипший Fe зберігає ту ж ГЦК-структуру, що і нержавіюча сталь 316L.



**Рис. 1 – Наукові принципи створення міцного і довговічного прозорого супергідрофобного покриття F-TNTs/TiN [5]**

В дослідженні [7] термічно стабільні покриття  $\text{SiAlN}$  товщиною 0,4 мкм, 0,8 мкм і 1,6 мкм з проміжними шарами Mo були нанесені на підкладки з титану, які слугують у якості захисного бар'єрного шару для застосування в авіаційних двигунах. Після 50 г (10 циклів) витримки при 800 °C в повітрі покриття  $\text{SiAlN}$  товщиною 0,4 мкм, 0,8 мкм витончувалися до десятків нанометрів і надалі утворювали оксидні луски, тоді як покриття  $\text{SiAlN}$  товщиною 1,6 мкм зберігало товщину 0,5 мкм. Залишковий шар  $\text{SiAlN}$  спостерігався без помітного окислення. Виснаження покриття  $\text{SiAlN}$  викликане чисто міжфазною дифузійною/реакціями з підкладкою, що знаходиться нижче. Після виснаження до товщини у декілька десятків нанометрів, тобто близького до повного витончення, покриття  $\text{SiAlN}$  починає окислюватися разом із зміною елементного складу залишкового  $\text{SiAlN}$ .



**Рис. 2 – Трибологічна характеристика PVD покриття TiSiN/AlCrN: комплексне дослідження теплового ефекту [8]**

Інструменти з PVD-покриттям застосовуються переважно в металорізальних операціях. В процесі обробки температура інструмента може сягати 1000 °С. Дослідження [8] спрямоване на оцінку впливу температури на трибологічну поведінку покриття TiSiN/AlCrN CAE/PVD на твердосплавних дисках з WC-Co, що піддавалися впливу високих температур. Дослідження на зношування провадилися методом ковзання кульки по диску. Зразки з покриттям випробували при 20, 500 та 800 °С. Результати засвідчили зміну механізму зношування при підвищенні температури до 800 °С. Випробування вказують на абразивне зношування при випробуваннях зразків при 20 °С і 500 °С. З іншого боку, зразки, випробувані при температурі 800 °С, показали окислювальний механізм зносу. Тобто, механізм зносу був ідентифікований як окислювальний, а не абразивний при високій температурі (рис. 2). Механізм окислювального зносу значно підвищив швидкість зносу у порівнянні з абразивним зносом при більш низьких температурах, незважаючи на зниження коефіцієнта тертя з-за утворення оксиду титана. Вимірювання комбінаційного розсіювання світла і XRD свідчать, що оксид титану діє як трибошар. Твердість шару грає незначну роль, коли покриття TiSiN/AlCrN випробується на знос при високій температурі.

## Література

1. Qi, Zijun. AlN/diamond interface nanoengineering for reducing thermal boundary resistance by molecular dynamics simulations / Zijun Qi, Wei Shen, Rui Li, Xiang Sun, Lijie Li, Qijun Wang, Gai Wu, Kang Liang // Applied Surf. Sci. – 2023. – Vol. 615. – P. 156419.

2. Смоквина, В. В. Дефектність зерен синтетичного алмазу невеликої міцності – недолік та позитив у разі їхнього використання в шліфувальному інструменті / В. В. Смоквина, В. І. Лавріненко, Г. Д. Ільницька // Надтв. мат. – 2023. – № 4. – С. 80–91.

3. Wang, Yiming. Effect of bias-enhanced nucleation on the microstructure and thermal boundary resistance of GaN/SiN<sub>x</sub>/diamond multilayer composites / Yiming Wang, Bing Zhou, Guoliang Ma, Jiaqi Zhi, Chao Yuan, Hui Sun, Yong Ma, Jie Gao, Yongsheng Wang, Shengwang Yu // *Mat. Characterization*. – 2023. – Vol. 201. – P. 112985.

4. Wang, Boyu. Twist angle modulated electronic properties and band alignments of hydrogen-terminated diamond (111)/hexagonal boron nitride heterostructures / Boyu Wang, Jing Ning, Jincheng Zhang, Chi Zhang, Dong Wang, Yue Hao // *Applied Surf. Sci.* 2023. – Vol. 614. – P. 156245.

5. Gao, Wenjing. Robust and durable transparent superhydrophobic F-TNTs/TiN coating fabricated by structure tuning on surface of TiN hard coating / Wenjing Gao, Fuliang Ma, Yanhong Yin, Jinlong Li // *Applied Surf. Sci.* – 2023. – Vol. 613. – P. 155967.

6. Rogström, L. Structural changes in Ti<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>N coatings during turning: A XANES and EXAFS study of worn tools / L. Rogström, M. Moreno, J.M. Andersson, M.P. Johansson-Jöesaar, M. Odén, K. Klementiev, L.-Å. Näslund, M. Magnuson // *Applied Surf. Sci.* 2023. – Vol. 612. – P. 155907

7. Gao, Zhaohe. Effects of interfacial depletion on the degradation of SiAlN coating / Zhaohe Gao, Justyna Kulczyk-Malecka, Peter Kelly, Ping Xiao // *Applied Surf. Sci.* – 2023. – Vol. 611, Part A. – P. 155576.

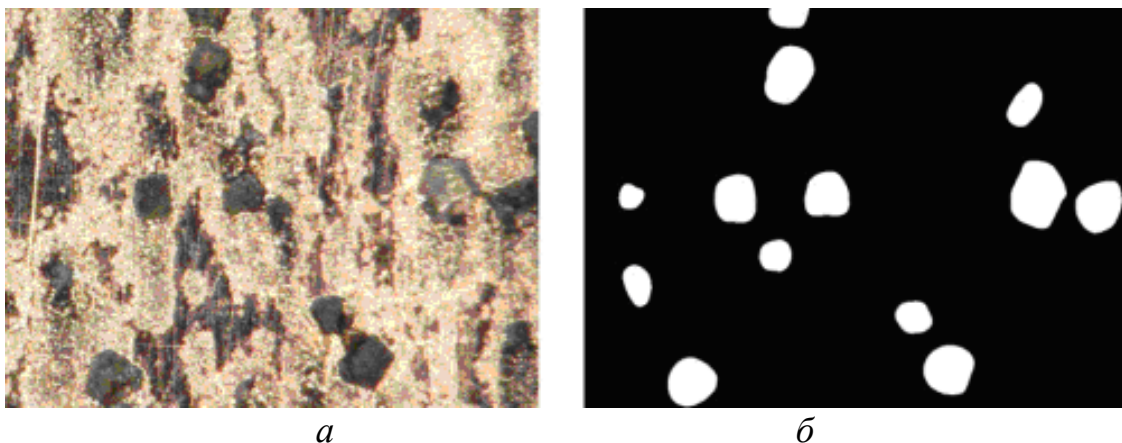
8. Carlos, B. G. Pereira. Tribological characterization of PVD TiSiN/AlCrN coating: A comprehensive study on thermal effect / B. G. Pereira Carlos, Qianxi He, Paulo Soares, Michelle S. Meruvia, Gelson Biscaia de Souza, Fred L. Amorim, Jose M. De Paiva, Stephen C. Veldhuis, Ricardo D. Torres // *Mat. Characterization*. 2023. – Vol. 203. – P. 113135.

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

## **СУЧАСНІ РОЗРОБКИ, ПОВ'ЯЗАНІ ІЗ ПРЕЦИЗІЙНОЮ ПРАВКОЮ АЛМАЗНИХ КРУГІВ**

Прецизійний алмазний правлячий інструмент є затребуваним у сучасному виробництві. Нами в даній роботі зупинена увага саме на сучасних (останні 5 років) напрацюваннях, пов'язаних технологіями прецизійного правлення.

В статті [1] модифікована нейронна мережа U-Net застосовувалася для оцінки якості лазерного заточування алмазних шліфувальних кругів. Запропоновано алгоритм тривимірного детектування поверхні алмазного круга, що відповідає двовимірному (2D) зображенню та тривимірній хмарі точок. Розпізнане двовимірне зернисте зображення фільтрується, щоб видалити краєві зерна та з'єднані зерна, виправити 3D-хмару точок шляхом усунення ефекту кривизни та зіставити зернисті пікселі (рис. 1). Експеримент із лазерним заточуванням алмазного круга на бронзовій зв'язці проводили методом ортогонального експерименту та проводили оцінку якості зображень лазерного заточування круга, отриманих у результаті експерименту. Оптимальними параметрами процесу правлення були: середня потужність 35 Вт, частота повторення 100 кГц, швидкість обертання 300 об/хв., швидкість сканування 3,6 мм/хв [1].



**Рис. 1 – Загальний вигляд різальної поверхні круга (а) та розпізнане 2D-зернисте зображення (б) [1]**

В статті [2] детально досліджені характеристики зносу алмазних правлячих кругів з гальванічним покриттям, які застосовуються для прецизійної правки дугоподібних пошарових (arc-shaped) алмазних кругів. Досліджувалася топографія зносу і висота виступання алмазних частинок. Також був вивчений механізм зношування металічної матриці. 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 алмазних частинок 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 мкм до 1,9 мкм.

Прецизійне шліфування ультратонкими дугоподібними алмазними (UAD) шліфувальними кругами забезпечує виготовлення високоякісних мікроструктур на карбіді вольфраму. Але ультратонкі шліфувальні круги важко перевірити через обмежений малий профіль шліфувального круга. У статті [3] запропоновано метод правки на верстаті для ультратонких дугоподібних алмазних шліфувальних кругів. По-перше, була розроблена модель тривісного зв'язку, що контролює вирівнювання для алмазного шліфувального круга. Потім було теоретично проаналізовано вплив похибок налаштування та вимірювання шліфувального круга на радіус профілю. Масив асферичної мікроструктури карбиду вольфраму був відшліфований алмазним шліфувальним кругом. Результати експерименту показали, що очікуваний радіус дуги шліфувального круга може бути досягнутий, а форма з карбиду вольфраму може бути відшліфована ефективно та точно. Похибка профілю шліфувального круга (діаметр 23 мм, товщина 0,38 мм) досягала 8,5. Поверхня масиву асферичної мікроструктури з карбиду вольфраму з точністю форми 15  $\mu\text{m}$  отримана алмазним шліфувальним кругом без додаткової компенсації.

В статті [4] для досягнення високопродуктивної і точної правки arc-shaped алмазних шліфувальних кругів застосовується комбінований метод із застосуванням лазерної чорнової правки і електророзрядної (ED) прецизійної правки (рис. 2). Лазерний метод чорнової правки застосовується для швидкого видалення зайвого абразивного шару для отримання дугоподібного профілю. Електроерозійна прецизійна правка не тільки підвищила точність дугоподібного контуру, але і реалізувала поновлення різальної здатності шліфувального круга.

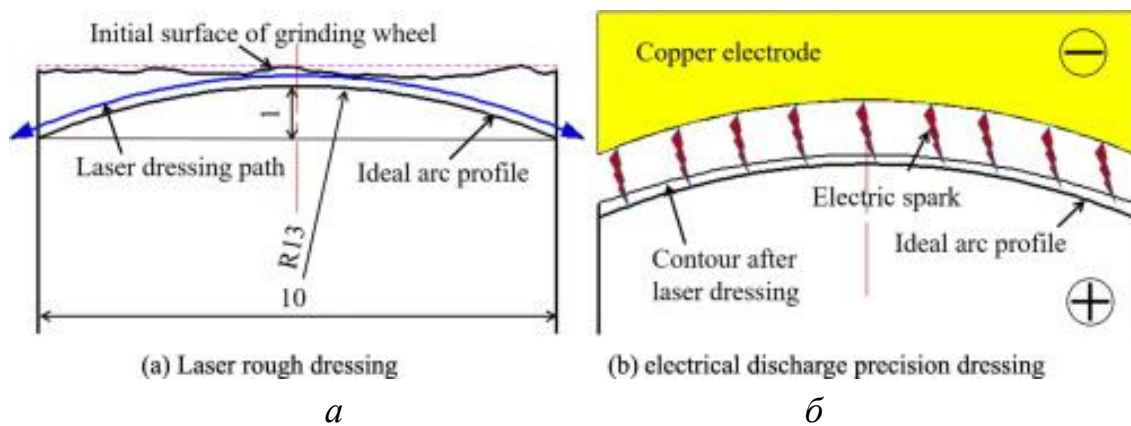


Рис. 2 – Схема правлення алмазних кругів лазерною черговою (а) та електророзрядною прецизійною [4]

Профіль arc-shaped кругів радіусом 13 мм отримували на алмазному крузі з зернистістю D120. Радіус остаточно обробленого дугоподібного профілю складав 13 007 мкм, а значення похибки профілю склало 10,67 мкм. Встановлено, що алмазні зерна на поверхні круга в певній мірі графітізовані. Степінь пошкодження алмазних зерен при лазерній правці була значно більшою, ніж при електророзрядній. Разом з тим, більша частина графітового шару на поверхні алмазних частинок подальше може бути видалена при шліфовці алюмооксидної кераміки [4].

В статті [5] показано, що хоча у літературі є багато робіт із застосування акустичної емісії (АЕ) для шліфування і правки шліфувальних кругів, але декілька фундаментальних взаємозв'язків ще АЕ не встановлені. Це: 1) зв'язок між енергією правки і вимірним сигналом АЕ; 2) як різні режими контакту алмаз/ зерно (руйнування, пластична деформація, тертя і т.п.) впливають на енергію АЕ; та 3) як це можливо застосувати для кількісної оцінки ефективності правки, гостроти зерен круга і, викликаних зносом, зміни форми алмаза.

В статті [5] описані дослідження вказаних вище фундаментальних взаємозв'язків і введений новий параметр – *питома енергія акустичної емісії правки*, який може бути застосований для кількісної оцінки ефективності правки і різальної здатності круга. Також, досліджено застосування інтенсивності АЕ для оцінки зносу алмазів,

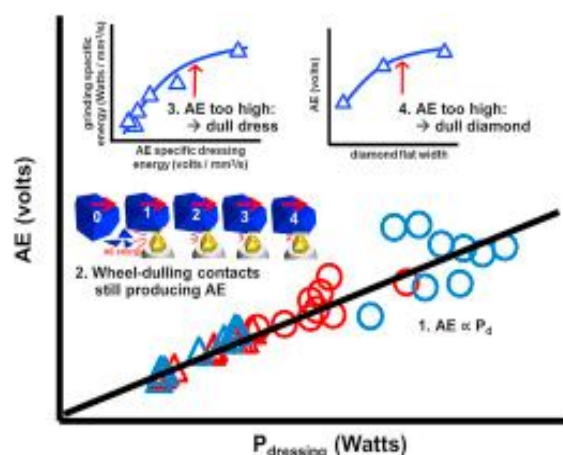


Рис. 3 – Наукові принципи, покладені у основу механізму АЕ при правці [5]

що дозволяє оператору оцінити розмір зношеної поверхні і коли необхідні зміни, щоби уникнути припалу обробної поверхні (рис. 3).

### **Література**

1. Zhou, Wei. Laser sharpening evaluation of diamond wheels based on 3D recognition / Wei Zhou, Genyu Chen, Mengyang Gao, Mingquan Li // *Diamond and Related Materials*. – 2022. – Vol. 129. – P. 109354.
2. 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. – P. 109372.
3. Yu, Shimeng On-machine precision truing of ultrathin arc-shaped diamond wheels for grinding aspherical microstructure arrays / Shimeng Yu, Peng Yao, Chuanzhen Huang, Dongkai Chu, Hongtao Zhu, Bin Zou, Hanlian Liu // *Precis. Eng.* – 2022. – Vol. 73. – P. 40–50
4. Dai, Longzhou. Efficient and precision dressing of arc-shaped diamond grinding wheel by laser dressing and electrical discharge dressing / Longzhou Dai, Genyu Chen, Mingquan Li, Shangyong Yuan // *Diamond and Related Mat.* – 2022. – Vol. 125. – P. 108978.
5. Badger, Jeffrey. Acoustic emission in dressing of grinding wheels: AE intensity, dressing energy, and quantification of dressing sharpness and increase in diamond wear-flat size / Jeffrey Badger, Stuart Murphy, Garret E. O'Donnell // *Inter. J. of Mach. Tools and Manuf.* – 2018. – Vol. 125. – P. 11–19.

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

## **РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ОЦІНКИ РОЗПІЗНАВАННЯ РИЗИКІВ У ЗВАРЮВАЛЬНОМУ ВИРОБНИЦТВІ. СТВОРЕННЯ РЕЄСТРУ І РАНЖУВАННЯ РИЗИКІВ В ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЯХ**

Успіх у справі оцінки та мінімізації ризиків гарантовано тим країнам, де поряд з хорошим законодавством має місце якісне інформаційне забезпечення, впровадження механізмів і поширення кращих практик з оцінювання ризиків.

Першочергово Європейський Союз – економічна асоціація, тому головне завдання цієї організації – інтегрування бізнесу європейських

країн в одну спільноту. Слід зазначити, що важливою складовою інтеграції є питання охорони праці та збереження здоров'я працівників. Це один із тих ключових моментів економічної інтеграції, що важливий для всіх зацікавлених сторін, задіяних у процесі створення матеріальних цінностей, і передусім – для працівників.

Аналіз показав, що розвиваючись у рамках ринкової економіки, уряди країн спільноти повинні бути впевнені, що і ринок, і економіка будуть розвиватися відповідним чином – без нанесення шкоди здоров'ю людей, а також без травматизму і нещасних випадків на виробництві. Має бути прозора гарантія: якщо щось і сталося, то потерпілі будуть надійно захищені у рамках системи соціального захисту.

Звичайно, оцінювання ризиків дуже важливе і для бізнесу – якщо роботодавці дбають про безпечні умови праці, вони гарантовано отримують постійний розвиток — як виробництва, так і бізнесу загалом.

Україна, як і будь-яка інша держава, зможе досягати довготермінових системних поліпшень тільки тоді, коли вона почне розвиватися, переважно, як суспільство творення, а не споживання і накопичення. Щоб всі наші потуги у глобальній конкурентній боротьбі економік стануть успішними, лише коли ми засвоїмо, що головними «багнетами» і в творенні, і на ринковому полі бою є безпосередньо підприємства (компанії, організації). Держава має створювати сприятливі умови для їх розвитку. Тільки підприємства формують додаткову вартість і здатні вирішити основні загальнодержавні проблеми, такі як конкурентоспроможність, ресурсозбереження, наповнення бюджету, створення робочих місць, боротьба з бідністю та багато інших. І Україна тільки тоді зможе стати процвітаючою країною, коли стане процвітаючою переважна більшість її підприємств.

Аналіз показав, що ризик присутній в будь-якій діяльності людини. Він може стосуватися здоров'я і безпеки (враховуючи, наприклад, як негайні, так і довгострокові наслідки для здоров'я від впливу токсичних хімічних продуктів). Ризик може бути економічним, наприклад, що призводить до знищення обладнання та продукції внаслідок пожеж, вибухів або інших аварій. Він може враховувати несприятливі впливи на навколишнє середовище. Завданням управління ризиками є контроль, запобігання або скорочення загибелі людей, зниження захворюваності, зниження шкоди, шкоди майну і логічно витікаючих втрат, а також запобігання несприятливого впливу на навколишнє середовище.

Дослідження встановили, що для підвищення ефективності управління ризиками необхідно проводити попередній аналіз ризику, що включає:

1. Ідентифікацію ризику і визначення підходів до вирішення пов'язаних з ним проблем.
2. Використання об'єктивної інформації при прийнятті рішень в зварювальному виробництві.
3. Задоволення регламентованих вимог до ризику.

Результати аналізу ризику можуть використовуватися фахівцем, який приймає рішення при оцінці допустимості ризику, а також при виборі між потенційними заходами щодо зниження або усунення ризику. З точки зору фахівця, що приймає рішення, до основних переваг аналізу ризику відносяться:

1. Систематична ідентифікація потенційних небезпек конструкції;
2. Систематична ідентифікація можливих видів відмов при експлуатації.
3. Кількісні оцінки або ранжування ризиків.
4. Оцінка надійності можливих модифікацій системи для зниження ризику і досягнення бажаних рівнів її надійності.
5. Виявлення факторів, що обумовлюють ризик, і слабких ланок в системі виробництва.
6. Більш глибоке розуміння пристрою і функціонування системи.
7. Зіставлення ризику досліджуваної системи з ризиками альтернативних систем або технологій на підприємстві.
8. Ідентифікація і зіставлення ризиків і невизначеностей.
9. Допомогу у встановленні пріоритетів при вдосконаленні санітарних вимог і норм.
10. Формування бази для раціональної організації профілактичного обслуговування, ремонту і контролю зварної конструкції.
11. Забезпечення можливості поставарійного розслідування і заходів щодо попередження аварій на виробництві.
12. Можливість вибору заходів і прийомів щодо забезпечення зниження ризику.

Всі ці фактори відіграють важливу роль в ефективному управлінні ризиками незалежно від того, які завдання розглядаються — охорона здоров'я, безпека, запобігання економічних втрат, забезпечення виконання вимог постанов уряду і т.п.

Людвіченко О.П., Лещук О.О., Гордєєв С.О.,  
Петруша І.А. Інститут надтвердих матеріалів  
ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ, Україна

## МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВОГО СТАНУ МОДЕРНІЗОВАНОЇ КОМІРКИ АПАРАТА ВИСОКОГО ТИСКУ ПРИ ВИРОЩУВАННІ КРИСТАЛІВ НІТРИДУ ГАЛІЮ

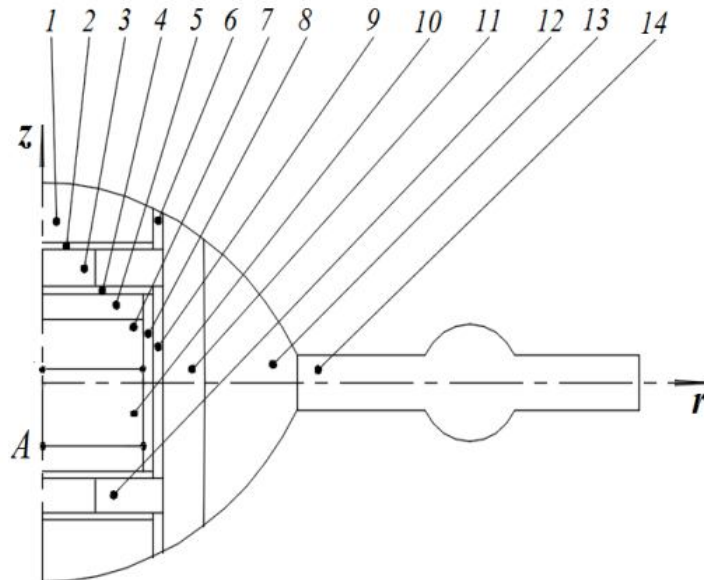
Нітрид галію (GaN) – широкозонний (3,4 eV) напівпровідниковий матеріал з високою концентрацією і рухливістю носіїв, завдяки чому здатен забезпечити електронні і оптоелектронні прилади унікальними властивостями. На основі GaN створюють екстремальну електроніку, здатну працювати за високих рівнів іонізуючого опромінення і температури. На сьогодні традиційними методами отримання GaN-напівпровідників є рідкофазна і газофазна епітаксії, яким властиві недоліки, пов'язані з використанням чужорідних підкладок, тривалістю процесу і якістю нарощеного шару нітриду галію. Створення технології отримання монокристалів GaN для використання в оптоелектроніці або в якості підкладок для епітаксії є актуальним питанням.

Перспективним є термобаричний (НРНТ) метод отримання високоякісних монокристалів GaN. Досліди, проведені в ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України, засвідчили можливість отримання кристалів нітриду галію в системі Fe–Ga–N в умовах високих тисків і температур. Застосування методу  $T$ -градієнта для вирощування кристалів GaN із розрахунковими показниками осьового і радіального градієнтів температури у ростовому об'ємі, що становлять відповідно 6,69 і 0,23 °C/мм [1], призвів до утворення полікристалічного прошарку GaN. Передбачається, що зменшення градієнта температури дозволить повністю перевести розплав заліза з розчиненим GaN в область стійкого метастабільного розчину, що приведе до епітаксійного росту нітриду галію на вже існуючому зародку (затравці GaN). Зменшення  $gradT$  до певних мінімальних значень можна реалізувати зміною конструкції нагрівачів.

Мета роботи – комп'ютерне моделювання поля температури в апараті високого тиску (АВТ) «тороїд-40» для модернізованої комірки, що забезпечує мінімальний градієнт температури у ростовому об'ємі.

Для вирішення задачі скористались наближеними методами. Розроблена методика на основі методу скінченних елементів дозволяє моделювати електрорезистивне нагрівання АВТ із врахуванням граничних умов і залежності коефіцієнтів електро- і теплопровідності від темпера-

тури. Зв'язану задачу електро-, теплопровідності вирішували в стаціонарній осесиметричній постановці. На рис. 1 наведено розрахункову схему комірки високого тиску (КВТ) у вигляді 1/2 частини її осьового перерізу. При розрахунках змінювали радіус торцевого нагрівача 3 (див. рис. 1) від 4 до 6 мм. Покроковий приріст радіуса складає 0,2 мм з відповідним зменшенням внутрішнього радіуса теплоізоляційного кільця 12 (розрахункову схему зміни розмірів елементів наведено на рис. 2). На рис. 3 наведено отримані при напрузі на підкладних плитах АВТ у 3,63 В і за радіусів нижнього торцевого нагрівача у 5,0 мм, а верхнього – у 5,2 мм поля температури і градієнта температури у ростовому об'ємі, причому температура у контрольній точці *A* (див. рис. 1) становить 1600 °С.



**Рис. 1 – КВТ для проведення експериментів з вирощування кристалів нітриду галію:** 1 – теплоізоляційний диск (хлорид цезію+графіт); 2, 4 – струмопровідні диски (терморозширений графіт); 3 – торцевий нагрівач (графіт); 5, 8 – елементи ізоляції (пірофіліт); 6 – струмопідвід (графіт); 7 – джерело нітриду галію; 9 – трубчастий нагрівач (графіт); 10 – ростовий об'єм (залізо+нітрид галію); 11 – зовнішній теплоізоляційний елемент (хлорид цезію+графіт); 12 – теплоізоляційне кільце (хлорид цезію+графіт); 13 – контейнер (літографський камінь); 14 – заусенець (пресований кальцит); *A* – контрольна точка

Таким чином, згідно з розрахунками, використання торцевих нагрівачів з радіусами нижнього у 5,0 мм і верхнього у 5,2 мм забезпечує утворення поля градієнта температури для більшої частини ростового об'єму зі значеннями від 0,02 до 3,32 °С/мм.

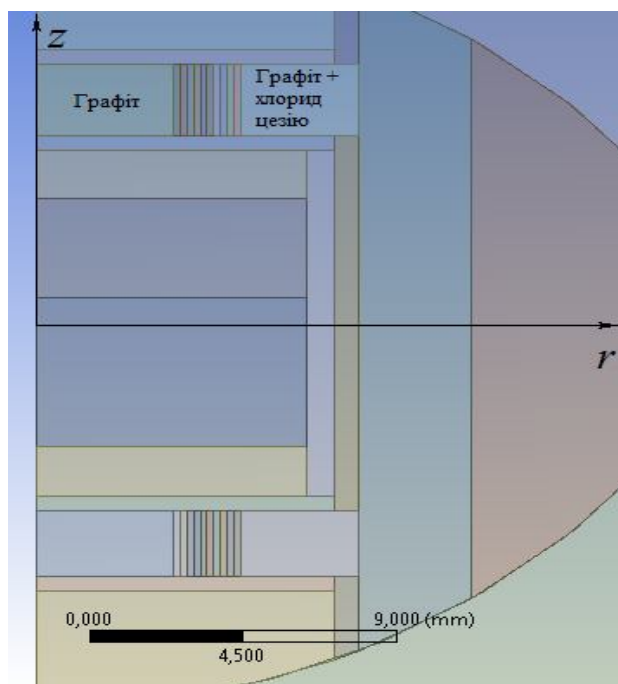


Рис. 2 – Схема зміни розміру верхнього і нижнього торцевих нагрівачів і теплоізоляційних кілець

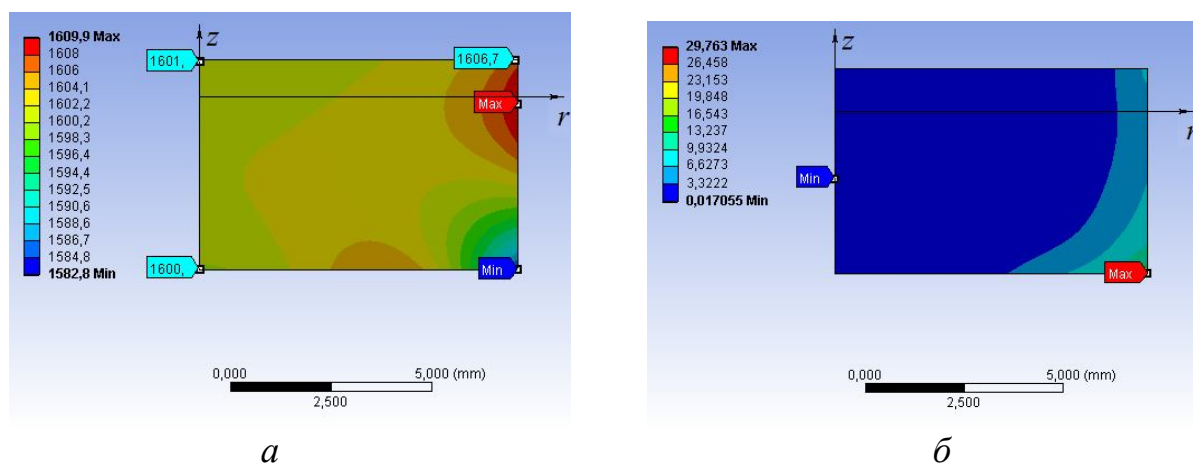


Рис. 3 – Поля температури (а) і градієнта температури (б) у ростовому об'ємі КВТ за значень радіусів торцевих нагрівачів: нижній – 5,0 мм; верхній – 5,2 мм

## Література

1. Людвіченко, О. П. Моделювання теплового стану комірки апарата високого тиску при вирощуванні кристалів нітриду галію / О. П. Людвіченко, О. О. Лещук, С. О. Гордєєв // Технічна інженерія. – 2023. – № 1. – С. 57–66.

*Роботу виконано за підтримки Національного фонду досліджень України в рамках проєкту «Монокристали нітриду галію GaN: отримання під високим тиском, структура, властивості» (реєстраційний номер 2020.02/0078)*

*Манохін А. С., Клименко С. А., Клименко С. Ан.,  
Конєйкіна М. Ю.* Інститут надтвердих матеріалів  
ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ, Україна

## **МОДЕЛЮВАННЯ СТРУКТУРИ КОМПОЗИТУ ІЗ ПОРОШКІВ З ПОКРИТТЯМ**

Одним з підходів, що дозволяють досягти рівномірного розподілу складових компонентів в структурі матеріалів, а також регулювати товщину прошарків зв'язок є попереднє нанесення на порошки покриттів, товщина яких може варіюватися в широкому діапазоні – від десятків нанометрів до 1–2 мікрометрів. Для утворення металічних або керамічних покриттів доцільно використовувати вакуум-дугове або магнетронне напилення. В залежності від способу та режимів перемішування зерен під час напилення, плівкові покриття можуть утворюватися по всій поверхні або тільки на окремих ділянках граней зерен.

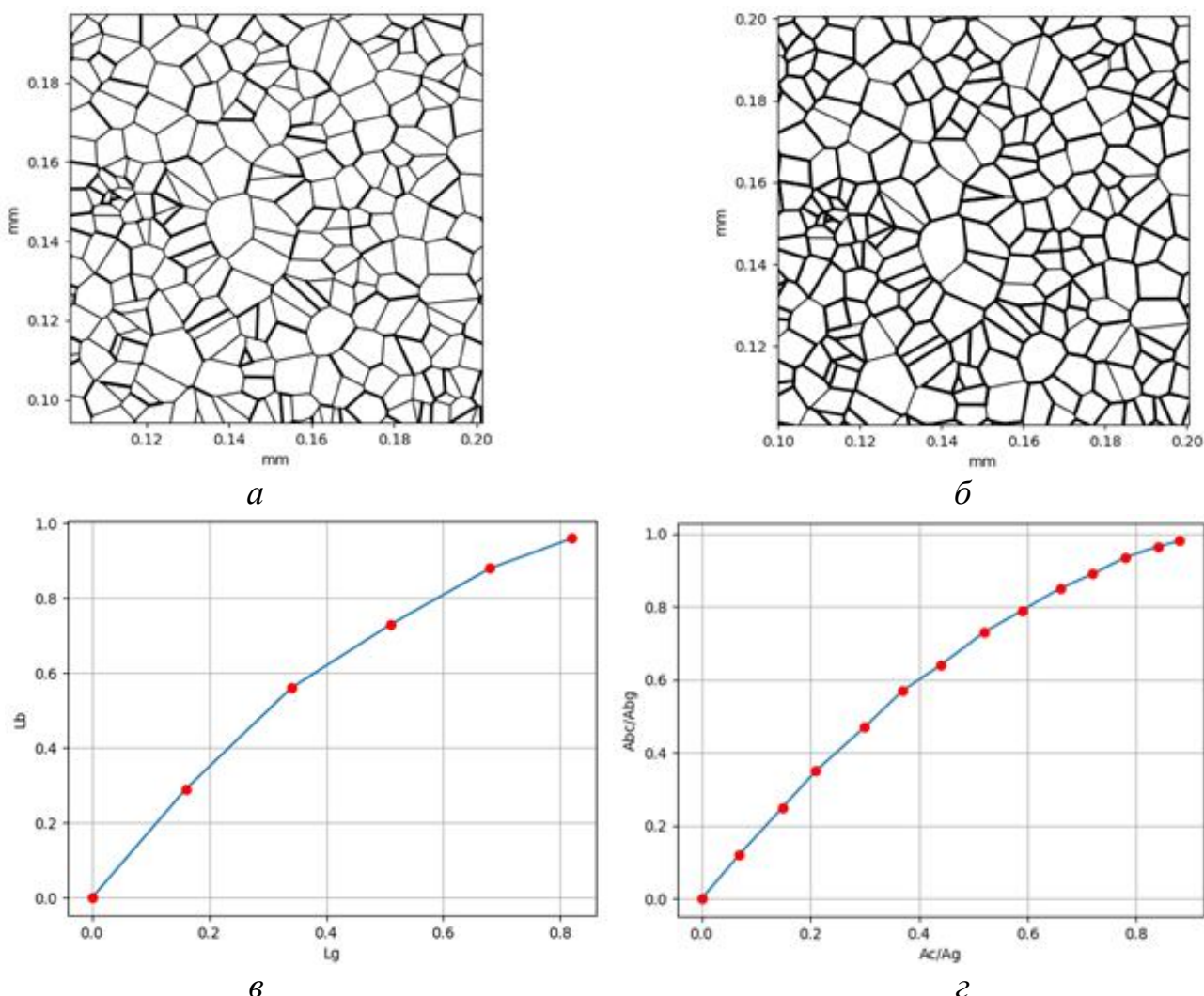
Така особливість технологічного процесу нанесення покриттів може бути використана з метою керування експлуатаційними характеристиками композитів. Звичайно, неможливо забезпечити матеріалу найбільш бажаний набір фізико-механічних властивостей, тому що деякі показники змінюються протилежно (наприклад, вища твердість – менша пластичність). Наприклад, для композитів регулювання інтенсивності впливу цих двох факторів на процес зношування здійснюється шляхом комбінування складу матеріалів із введенням до їх структури крім основної фази до 60% матеріалу покриття. Вказані складові обумовлюють здатність композиційного виробу протистояти абразивно-механічному зношуванню, значним ударним навантаженням та термодрибоактивованій хімічній взаємодії с контактуючим середовищем в процесі експлуатації. Тому створення структури з міцними міжзеренними зв'язками та певною кількістю тонких прошарків з нанесеного покриття, що розподілене на частині поверхонь зерен сприяє підвищенню загальної ефективності виробу зі створеного композиту.

З метою оцінки характеру розподілу в структурі композитного матеріалу зв'язки, утвореної покриттям на окремих зернах вихідного порошку, проведено відповідне моделювання. Для імітації геометричних параметрів полікристалічної структури використано 2-D і 3-D діаграм Вороного [1, 2], кожна комірка яких відповідає окремому зерну в композиті.

Параметри діаграм для 2-D і 3-D випадків:  $L_g (A_g)$  – відношенням сумарної довжини покритих ділянок всіх комірок (площі) до довжини

сумарного периметру всіх комірок (загальної площі комірок);  $L_b (A_b)$  – відношення сумарної довжини всіх границь (площі комірок) на діаграмі на яких присутнє покриття до сумарної довжини всіх границь (загальної площі комірок) діаграми.

Необхідний розмір зерен завдавався кількістю центрів генерації комірок. Наявність покриття задавалось випадковим вибором одного чи декількох ребер на окремих комірках діаграми, які умовно виділялись на рис. (рис. 1, *a*, *б*) потовщеними лініями. Очевидно, що в залежності від кількості вибраних ребер певна частина «мізжеренних» границь буде характеризуватися наявністю покриття, або його відсутністю на границях між комірками. При цьому залежність відносної площі покриття в структурі композиту від відносної площі покриття на зернах не буде лінійною.



**Рис. 1 – Фрагменти діаграм Вороного для структур з покриттям на ребрах кожної з комірок (*a* – одно ребро  $L_g = 17\%$ ; *б* – чотири ребра  $L_g = 89\%$ ), залежності параметру  $L_b$  від  $L_g$  (*в*), залежності параметру  $A_b$  від  $A_g$  (*г*)**

Приклади фрагментів діаграм Вороного для модельованих структур полікристалічних композитів з «покриттям» на випадково вибраних ребрах кожної з комірок, і залежність параметрів діаграм наведено на рис. 1, в, з).

Результати розрахунків 2-D моделі для статистичних параметрів структури композиту наведено на рис. 1, в, для розрахунків 3-D моделі (діаграма з  $N = 1000$ , середня довжина сторони комірки 10 мкм) – на рис. 1, з.

Як видно з аналізу діаграми для випадку 2-D моделі, можна очікувати, що третина всіх границь в структурі композиту характеризується наявністю покриття при умові, що покриття присутнє всього на 17% периметру проекції зерна на площину. Для умови наявності покриття на 50% границь, ця величина становить 30%.

Розрахунки дають такі ж цифри і при аналізі 3-D структури. Наприклад при використанні режимів, які забезпечують напилення шару плівки в середньому на 30% площі поверхні кожного з зерен, 50% сумарної площі міжзеренних границь буде містити проміжну фазу – покриття.

Таким чином пропонований підхід надає змогу оцінити розподіл покриття в структурі полікристалічного композиту в залежності від його кількості на вихідних порошках, які використовуються при виготовленні інструменту.

## Література

1. [https://neerc.ifmo.ru/wiki/index.php?title=Диаграмма\\_Вороного](https://neerc.ifmo.ru/wiki/index.php?title=Диаграмма_Вороного)  
<https://math.lbl.gov/voro++/>

*Мельник Т.В., Ругаленко С.І. НТУ «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна*

## СТАНДАРТИЗАЦІЯ МОВ ПРОГРАМУВАННЯ

Жодне суспільство не може існувати без законодавства та нормативних документів, які регламентують правила, процеси, методи виготовлення та контролю якості товарів, робіт і послуг. Діяльністю, що полягає у встановленні положень для загального та багаторазового застосування до наявних чи можливих завдань оптимального ступеня впорядкованості у певній сфері, займається стандартизація. Нормативні

документи стандартизації призначені акумулювати новітні наукові досягнення, сприяти їх швидкому впровадженню у практику. Вони допомагають визначити найбільш перспективні напрямки розвитку з урахуванням досягнень науково-технічного прогресу. Стандартизація завжди відповідає змінам, які відбуваються в різних сферах життя суспільства.

Сучасне суспільство зіткнулося з тим, що широке впровадження інформаційних технологій в різні сфери людської життєдіяльності і наявність великої кількості розробників програмного забезпечення зумовило проблему стандартизації цієї діяльності. Розуміння того, що стандарти корисні для розвитку співробітництва і розробки спільних підходів сприяло усвідомленню провідними спеціалістами в галузі теоретичного програмування розробки системного підходу до впровадження відповідних стандартів. Основна функція стандартизації мов програмування – усунення технічних бар'єрів та сприяння міжнародному співробітництву. Щоб продукт праці програмістів могли використовувати інші, необхідно чітко визначати функції та правила застосування конкретного продукту, тоді можливі колективна розробка програм і компонування їх з готових модулів, а також забезпечення розподіленого оброблення у середовищі відкритих систем.

Бурхливий розвиток мов програмування в Україні і всьому світі почався у 1950-ті рр. з появою комп'ютерів на електронних лампах. На початку 1960-х рр. всі існуючі мови програмування високого рівня можна було перерахувати по пальцях, проте на початку 1970-х рр. їх число досягло тисячі і гостро постала проблема їх стандартизації для вирішення питання мобільності. Це було пов'язано з розвитком обчислювальної техніки, коли мови програмування орієнтувались розробниками на різні класи задач, прив'язувались до конкретної архітектури ЕОМ, реалізовувались особисті смаки і ідеї. В Україні першою почала вирішувати цю проблему д.ф-м.н., член-кор. НАН України К. Л. Ющенко. Вона розробила концепцію формальної мови Адресного програмування (1954 р.) – мову програмування високого рівня, у 1977 р. нею і її учнями з Інституту кібернетики НАН України було створено ГОСТ мови КОБОЛ, розроблені стандарти СРСР мов ФОРТРАН-2, АЛГАМС, АЛГОЛ-68, Ада, ФОРТРАН-77, Паскаль, ПЛ/1, Си.

За часи свого розвитку кількість мов програмування постійно зростає. Це обумовлено тим, що зі зміною технологій мова програмування має відповідати новим потребам апаратних і програмних можливостей. Переважна частина мов не отримує скільки-небудь широкого поширення, в практичній діяльності використовується не більше двох десят-

ків. Крім того, деякі мови зникають, а деякі постійно осучаснюються і живуть по декілька поколінь.

ISO (International Organization for Standardization (Міжнародна організація зі стандартизації)) з 1947 року розробляє стандарти практично для всіх напрямів бізнесу, промисловості, технологій тощо. Вона була створена з метою сприяння успішному розвитку стандартизації у всьому світі. У сфері розробки стандартів мов програмування важливою є співпраця ISO з міжнародними організаціями і комітетами, зокрема, з Міжнародною електротехнічною комісією International Electrotechnical Commission (IEC), яка є лідером з розробки міжнародних стандартів для різного роду електричних, електронних, електротехнічних засобів. Підрозділом ISO та Міжнародної електротехнічної комісії є об'єднаний технічний комітет №1 (ОТК № 1), який займається питаннями розробки, підтримкою і сприянням розповсюдженню стандартів в сфері інформаційних технологій, для узгодження вимог виробників і споживачів за такими параметрами, як розробка і розвиток систем ІТ та засобів їх розробки, результативності і якості продуктів і систем ІТ, безпеки систем інформації, портативності прикладного програмного забезпечення, уніфікації інструментів і засобів розробки, тощо. Участь в ОТК № 1 доступна для будь-якої країни. Значна частина роботи ОТК № 1 розподіляється за підкомітетах, кожен з яких працює над певними проблемами.

Проголошення України суверенною, незалежною, правовою державою поставило низку завдань та виявило проблеми, які виникли під час впровадження національних стандартів. З 1993 р. Україна стала членом ISO. При цьому, фактично до 2001 р., в Україні існувала система стандартизації, яка залишилась їй у спадок. Україна активно бере участь в роботі різних комітетів і підкомітетів ISO, зокрема, JTC 1/SC 22 «Мови програмування, їх середовища та системні інтерфейси програмного забезпечення (Programming languages, their environments and system software interfaces)», JTC 1/SC 35 «Інтерфейси користувачів (User interfaces)», JTC 1/SC 34 «Опис документа та мови програмування (Document description and processing languages)».

На базі київської школи теоретичного програмування, яку започаткувала К.Л. Ющенко, при Інституті кібернетики НАН України працює підкомітет ISO/IEC JTC 1/SC 22 «Мови програмування, їх середовища та системні інтерфейси програмного забезпечення». Ним розроблено систему, яка складається з 47 термінологічних національних стандартів України (ДСТУ). Роботу підкомітету синхронізовано з Об'єднаним технічним комітетом по стандартизації JTC-1 ISO/IEC. Для багатьох ши-

роко поширених мов програмування створено міжнародні стандарти. В рамках комітету ведеться розробка та модернізація мов програмування та вирішуються питання щодо розширення або підтримки вже існуючих та нових мовних конструкцій.

Таким чином, стандартизація мов програмування створює передумови для підвищення мобільності програмного забезпечення. Висока мобільність полегшує адаптацію програми для роботи в різних оточеннях, що дозволяє використовувати раніше створені прикладні програми і полегшує перенесення програми з однієї платформи на іншу. Міжнародні стандарти ISO є найбільш розповсюдженими в світі і Україна має приймати їх в якості національних для подальшої інтеграції нашої держави у світовий інформаційний простір

*Олійник Н.О., Ільницька Г.Д., Петасюк Г.А.,  
Базалій Г.А. Інститут надтвердих матеріалів  
ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ, Україна*

## **СОРТУВАННЯ ПОРОШКІВ СИНТЕТИЧНОГО АЛМАЗУ ІЗ ЗАЛУЧЕННЯМ ФЛОТАЦІЙНОГО РОЗДІЛЕННЯ – ПЕРСПЕКТИВНИЙ СПОСІБ ПОКРАЩЕННЯ ЇХ ЯКОСТІ**

Виготовлення сучасного абразивного інструменту потребує високоякісних, однорідних за характеристиками порошоків синтетичного алмазу (ПСА). Властивості ПСА формуються при статичному синтезі алмазів, хімічному та фізичному обробленні в процесі вилучення алмазної сировини та її сортуванні різними методами для отримання ПСА, зокрема і методом флотаційного розділення порошоків. Процес флотаційного розділення відбувається в рідині і ґрунтується на вибіркового закріпленні тонких частинок до поверхні порошку на границі двох фаз, а тому значною мірою залежить від властивостей поверхні частинок алмазу та їх зміни. Гідрофобні частинки прилипають до бульбашок повітря, яке подають у пульпу, спливають і утворюють піну. Гідрофільні частинки – осідають. Для успішного проведення розділення застосовують флотореагенти, які збільшують контрастність властивостей поверхні частинок. Однак, невизначеність кінцевого результату зберігається через постійну зміну всіх параметрів під час проведення процесу. Тому для остаточного прийняття рішення, який застосувати метод і парамет-

ри підготовки та флотаційного розділення для отримання порошку підвищеної якості, необхідно отримання статистичної інформації вхідних дій і вихідних показників.

Мета роботи – дослідження зміни фізико-механічних властивостей порошку алмазу під впливом виду підготовки і флотаційного розділення для вибора та розроблення перспективного способу покращення якості порошку алмазу.

Досліджували це у два етапи зразки вихідного порошку алмазу марки АС20 зернистістю 100/80, який синтезовано в системі Ni-Mn-C, продукти його оброблення та флотаційного розділення (пінний та камерний).

На першому етапі ПСА піддавали імпульсному обробленню оброблення високовольтними електричними розрядами (ВЕР) в дистильованій воді з забезпеченням в каналі розряду тиску 800 МПа та сумарної енергії оброблення 1000 кДж. На другому етапі ПСА піддавали спеціальному хімічному очищенню. Після хімічного очищення продуктів, ВЕР оброблення проводили однаково підготовку порошку до флотації, здійснювали флотаційне розділення порошку з застосуванням флотореагентів на імпульсній флотомашині. Продукти флотаційного розділення порошку порізно хімічно очищали від флотореагентів.

При дослідженні використовували методи: хімічний, магнітний, гравіметричний; ситовий аналіз. Характеристики якості порошоків встановлювали за методиками ДСТУ 3292-95. Міцність зерен при статичному стисканні визначали із застосуванням приладу ДА-2. Морфометричні характеристики (мінімальний ( $F_{\min}$ , мкм) та максимальний ( $F_{\max}$ , мкм) діаметри Фере, висота зерна ( $H$ ), шорсткість проекції зерна ( $Rg$ ), ферет-подовження  $F_{el}$ , середній діаметр зерна ( $d_m$ ) форм-фактор опуклого зображення  $C_r$ , визначали за допомогою приладу DiaInspect.OSM відомими опосередковано-аналітичними методами. Результати дослідження порівнювали з даними дослідження ПСА, отриманого за традиційною технологією.

На підставі отриманих результатів встановлено, що розмірні характеристики пінного та камерного продуктів флотації більші, ніж у вихідного порошку. В камерному продукті виявили більш крупні зерна. У вихідному порошку частка зерен основної фракції становила 58,7% за масою. У пінному і камерному продуктах частка зерен основної фракції збільшилась до 65,5% та 64,3% відповідно. Частка зерен для додаткової до основної фракції фракції є такими: 31,2% для вихідного порошку та 19,2% і 17,6% для пінного і камерного продуктів відповідно.

Статична міцність зерен пінного продукту флотації порошка також виявилася більшою на 28% від статичної міцності зерен камерного продукту (табл. 1).

**Таблиця 1 – Основні фізико-механічні характеристики вихідного порошку марки АС20 зернистістю 100/80 і виготовлених із нього двома способами підготовки (із застосуванням ВЕР оброблення та із застосуванням спеціального хімічного очищення) та порошку пінного продукту його флотаційного розділення**

Характеристики	Порошок марки АС20 зернистістю 100/80 (пінний продукт)		
	Традиційна технологія	Застосування ВЕР оброблення	Застосування спеціального хімічного оброблення
Частка домішок (н.з.), мас. %	0,98	0,80	0,75
Питома магнітна сприйнятливність, $\times 10^{-8}$ , м <sup>3</sup> /кг	0,63	0,29	0,20
Питомий електроопір, Ом м	$1,5 \cdot 10^9$	$1,0 \cdot 10^{10}$	$1,0 \cdot 10^{10}$
Міцність при статичному стисканні, Н	17,9	13,5	13,6
Коефіцієнт форми, $K_{\phi}$	1,18	1,09	1,09
Зерновий склад шліфпорошку. Основна фракція в кількості, %, не менше від загальної маси зерен	58,7	65,5	64,5

Таким чином, з отриманих результатів випливає, що сортування із залученням флотаційного розділення є перспективним способом покращення якості за фізико-механічними, морфометричними характеристиками і технологічними властивостями шліфпорошків синтетичного алмазу.

*Павлова Г.О., к.т.н., доц.*  
Державне підприємство «Харківський  
машинобудівний завод «ФЕД», Харків, Україна

## **СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ПІДТВЕРДЖЕННЯ ВІДПОВІДНОСТІ (СЕРТИФІКАЦІЇ) В МАШИНОБУДІВНОМУ ВИРОБНИЦТВІ**

Сьогодення диктує жорсткі умови для існування виробничої компанії, її конкурентоспроможності на ринку. Основним постулатом є привабливість фірми для замовника. Замало критеріїв якості, ціни, гнучкості, швидкості та в цілому здатності задовольняти очікування. Клі-

ент хоче бути впевнений, що отримає продукт з тими характеристиками, які були закладені в контракті, і у визначений термін.

Є різні сторони шляху досягнення цієї впевненості. Формальна, шляхом перевірки наявності в фірмі сертифікатів відповідності, наприклад, серії стандартів ISO 9000 чи інших. Тобто підтвердження третьою уповноваженою стороною відповідності процесів функціонування заявленим вимогам. Наочна, шляхом проведення аудиту фірми, як постачальника самим замовником або його представником. Робоча, шляхом виконання обмеженого (пробного) замовлення. Більш розповсюджена, комбінована (документи, аудит, пробна партія).

Але в реальності не завжди є час на виконання пробних партій і робіт, крім того накладає свої обмеження ще й економічна складова. Тому все більше великих компаній віддають перевагу четвертому варіанту комбінованому, коли спеціалізована у визначеній сфері організація перевіряє відповідність постачальника вимогам (замовника, законодавства і норм в цій сфері та інше). Перевіряються документи, здійснюється аудит, оцінюються процеси виробництва, якість кінцевого продукту тощо. Це безумовно складний і не швидкий процес, але достатньо пройти його і тільки підтримувати (доводити) свою відповідність на достатньому рівні. Впевненість замовника при цьому значно вища, тобто зростає довіра до постачальника (виконавця). Особливо це важливе в певних сферах, наприклад, машинобудуванні (виробництво, ремонт, обслуговування суден і кораблів, нафто- і газодобувних платформ, літальних апаратів та інше), де діють спеціальні вимоги та правила. Тут недостатньо відповідності вимогам наприклад ISO 9001. Зазвичай, такі організації перевіряють і експлуатацію таких машин, що може стати в нагоді не тільки замовнику, а й виконавцю.

*Панчук О.В., Гарбуз О.С. Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна*

## **УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ПОСЛУГ**

Послуги як специфічний вид продукції стає частиною нашого життя і швидко розвивається. Незважаючи на спад виробництва у всьому світі економічно розвинуті країни збільшують обсяг послуг, оскільки виробники продукції все менше і менше задовольняються лише прода-

жем своїх товарів, щоб існувала компанія вони надають послуги, в яких продукція є тільки компонентом.

Послуги в приватному і суспільному секторі становлять від половини до 2/3 всього виробництва у промислово розвинутих країнах і 50% у країнах, що розвиваються. За оцінкою на сьогоднішній день послуги займають близько 65% світового національного продукту, а лідерами ринку протягом довгого часу є торговельні та фінансові послуги за ними йдуть транспортні комунікаційні та послуги загального економічного інтересу, які всім відомі як комунальні (газ, електроенергія, вода тощо), а також інші послуги (навчання, розваги, доставка, продукції).

Найвищий відсоток кількості робіт у сфері послуг у США 72,5%, Нідерланди, Данія, Швейцарія, Велика Британія, Франція, Італія, Японія, Німеччина та Іспанія. В країнах що розвиваються ситуація дуже різноманітна так у Таїланді лише 21% населення працює у сфері послуг, а в Колумбії 73%.

Для управління якістю послуг цілком можливо використовувати міжнародні стандарти ISO 9000. Вони містять в собі опис понять, принципів та процесів, що застосовуються до всіх видів пропозицій щодо послуг. Україна, як і інші країни, приділяє значну увагу сектору надання послуг використовуючи такі заходи: створення технічних комітетів зі стандартизації та ідентифікації послуг; розробка стандартів для окремих послуг; розподілення і впровадження обов'язкової та добровільної сертифікації поштових, банківських і медичних послуг, а також послуг у галузях громадського харчування, транспортного обслуговування, наприклад, на залізничному транспорті, річковому та повітряному транспорті.

Різнманітність існуючих характеристик якості потребує чіткої ідентифікації параметрів забезпечення якості послуг у відповідності з сьогоднішніми потребами споживачів, тому стандарт із надання послуг має включати такі положення:

- рекомендації стосовно інформації від споживачів,
- заходи, які необхідні для досягнення задоволення потреб кожного;
- законодавчі та контрактні гарантії застосування міжнародних стандартів ISO.

Таким чином споживач перебуває в центрі таких ключових аспектів системи якості послуг: відповідальність керівника, взаємодія із споживачем, структура системи якості, персонал і матеріальні ресурси

Керівництво несе відповідальність за вироблення політики в сфері якості послуг. Її реалізація залежить від того наскільки успішно керів-

ництво забезпечує розроблення ефективного функціонування системи якості. Керівнику слід розробити документально оформити політику у сфері якості з урахуванням: Класу послуги що надається; Іміджу організації її репутації завдання у сфері якості послуг методи виконання завдань ролі персоналу організації.

Реалізація політики у сфері якості вимагає того, щоб була включена основна мета. Вона включає такі елементи: задоволення споживача, постійне поліпшення якості послуг, врахування умов суспільства, реалій навколишнього середовища, ефективність надання послуг.

Виходячи з основної мети, керівництво має сформулювати завдання і заходи у сфері якості: чітке визначення потреб споживача і необхідних заходів щоб їх задовольнити; попереджувальні і контрольні заходи; оптимізація витрат; постійний аналіз вимог до якості; попередження негативних впливів на суспільство і навколишнє середовище.

Слід чітко встановити загальну і персональну відповідальність усіх працівників від діяльності яких залежить якість послуг.

Персонал, який надає послуги, особливо працівники, що безпосередньо контактують зі споживачами, мають знати правила ділового спілкування і мати відповідні навички.

*Полотняк С.Б., Лещук О.О.* Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля  
НАН України, м. Київ, Україна

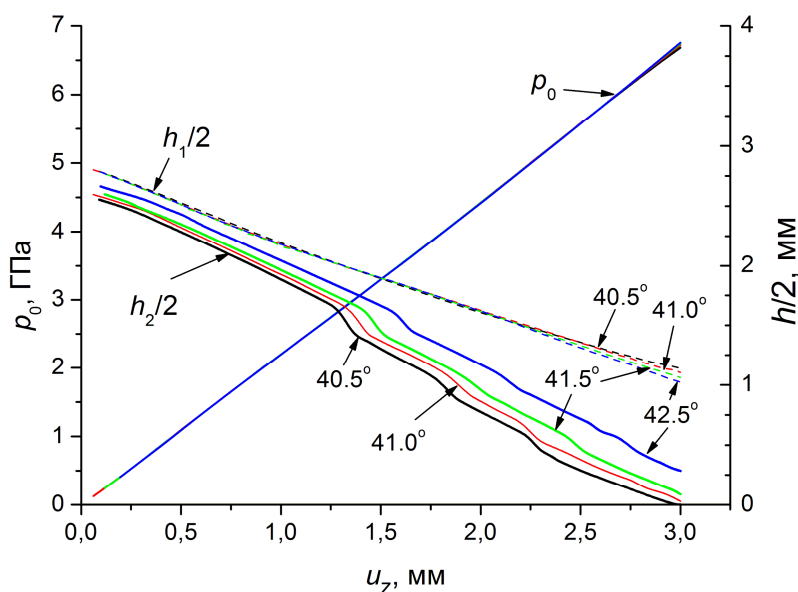
## **ЧИСЕЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯМ ВПЛИВУ КУТА НАХИЛУ СКОШЕНОЇ БІЧНОЇ ПОВЕРХНІ ПУАНСОНА ШЕСТИПУАНСОННОГО АВТ НА РІВЕНЬ ДОСЯЖНОГО ТИСКУ ТА ГРАНИЧНИЙ СТАН ПУАНСОНІВ**

За допомогою раніше розробленої методики [1] проведено чисельне (методом скінченних елементів) моделювання процесу стискання пірофілітового контейнера в шестипуансонному АВТ з діаметром плунжера 560 мм з пуансонами з твердого сплаву KF308 зі сталими розмірами при варіюванні кута нахилу скошеної бічної поверхні пуансона  $\alpha$  від 40,5 до 42,5° (при довжині цієї поверхні  $l = 13$  мм). Для оцінки граничного стану пуансонів використано критерії найбільших дотичних напружень (еквівалентне напруження за цим критерієм –  $\sigma_e^{III}$ ), питомої

потенціальної енергії формозміни ( $\sigma_e^{IV}$ ), Мора ( $\sigma_e^{Mor}$ ) та Писаренка-Лебедева ( $\sigma_e^{PL}$ ).

Встановлено, що зміна вказаних параметрів пуансона у досліджуваному діапазоні практично не впливає на розподіл гідростатичного тиску в контейнері та величину тиску в центрі контейнера ( $p_0$ ) при стисканні в АВТ (за сталого тиску на опорну поверхню пуансона) – різниця у величині  $p_0$  не перевищує 1%.

В той же час зменшення кута нахилу скошеної бічної поверхні пуансона призводить до значного зменшення товщини деформуючої пірофілітової прокладки і, відповідно, більш швидкого досягнення її критичної величини (0,5 мм), після чого створюються умови руйнування пуансонів внаслідок локального підвищення напружень на бічній поверхні пуансона поблизу лінії зміни кута її нахилу. При цьому (за фіксованої товщини прокладки в 0,5 мм) в центрі контейнера генеруються максимально досяжні тиски в 5,0, 5,4, 5,6, 6,15 ГПа за кутів нахилу скошеної бічної поверхні пуансона в 40,5, 41,0, 41,5 та 42,5° відповідно (рис. 1).



**Рис. 1 – Зміна товщини деформуючої прокладки на початку  $h_1/2$  та в кінці  $h_2/2$  зони контакту з бічною поверхнею пуансона та гідростатичного тиску в центрі кубічного контейнера  $p_0$  в процесі навантаження АВТ з пуансонами із кутами нахилу скошеної бічної поверхні в 40,5, 41,0, 41,5 та 42,5°**

Оцінювання міцності пуансонів АВТ показало наявність трьох областей їх можливого руйнування – на осі симетрії над плоскою ділянкою робочої поверхні (*I*), на ребрах робочої поверхні (*II*), на бічній поверхні поблизу лінії зміни кута її нахилу (*III*). Встановлено, що в області *I* зміна кута  $\alpha$  практично не впливають на величину еквівалентних

напружень, і запас міцності, що мають пуансони при досягненні тиску величини в 5,5 ГПа в центрі кубічного контейнера, складає 21–24% та 20–22% за напруженнями  $\sigma_e^{III}$  і  $\sigma_e^{IV}$  та  $\sigma_e^{Mor}$  і  $\sigma_e^{PL}$  відповідно.

В області II можливого руйнування пунсона найбільших значень еквівалентні напруження набувають на етапі формування деформуючої прокладки і початку герметизації ростової комірки. В подальшому напружений стан в цій області поступово наближається до всебічного стискування, і рівень еквівалентних напружень суттєво зменшується.

Збільшення кута  $\alpha$  зумовлює зростання величини максимальних еквівалентних напружень і, відповідно, зменшення запасу міцності пуансонів. Так, без урахування впливу гідростатичного тиску на характеристики міцності твердого сплаву, запас міцності для кутів  $\alpha$  в 40,5, 41,0, 41,5 та 42,5° становить відповідно 20, 17, 14 та 11% (за напруженнями  $\sigma_e^{IV}$ ), 10, 7, 5 та 0% (за напруженнями  $\sigma_e^{III}$ ), 13, 10, 5 та 2% (за напруженнями  $\sigma_e^{PL}$ ), 8, 5, 2 та 0% (за напруженнями  $\sigma_e^{Mor}$ ).

В області III можливого руйнування пунсона величина еквівалентних напружень при тиску 5,5 ГПа в центрі контейнера досягає значень  $\sim 2,3$  і  $1,8$  ГПа ( $\sigma_e^{III}$  і  $\sigma_e^{IV}$  відповідно) та  $\sim 0,3$ – $0,4$  ГПа ( $\sigma_e^{Mor}$  і  $\sigma_e^{PL}$ ), що суттєво нижче характеристик міцності матеріалу пуансонів. Але у випадках використання малих кутів  $\alpha$  (40,5–41,0°) подальше стиснення призводить до швидкого досягнення критичної товщини прокладки – пуансони починають тиснути один на одного через дуже тонкий прошарок пірофіліту, що зумовлює різке збільшення еквівалентних напружень і в підсумку може призвести до руйнування пуансонів.

## Література

1. Bovsunovskyi, O. V. Computer-aided simulation of the stress-strain and limit states of the pyrophyllite cell and punches of a six-punch high-pressure apparatus / O. V. Bovsunovskyi, S. B. Polotnyak, V. V. Lusakovskyi, O. O. Lyeshchuk, S. O. Ivakhnenko // J. Superhard Mater. – 2020. – Vol. 42, №. 2. – P. 58–67.

## **ПЕРЕДУМОВИ СТАНОВЛЕННЯ НАУКОВО-ВИРОБНИЧОГО НАПРЯМКУ "ІНЖЕНЕРІЯ ДИСКРЕТНИХ ПОВЕРХОНЬ"**

У сучасному машинобудуванні в останнє десятиліття склався пріоритетний напрямок – поверхневе зміцнення і нанесення захисних покриттів, який отримав загальну назву "інженерія поверхні" (surface engineering). Починаючи з 90-х років минулого століття, Північна Америка, Японія і Західна Європа вкладають в цей напрямок щорічно до 150 млрд. дол. США. Застосування поверхневих зміцнювальних технологій дозволяє підвищити довговічність деталей машин до 2–100 разів. При цьому зменшуються витрати енергоносіїв і забезпечується можливість інтенсифікації багатьох процесів у основному та реноваційному (ремонтному) виробництві.

В Україні засновниками інженерії поверхні є Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона і Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, деякі вищі навчальні заклади, а також виробничі організації і об'єднання. Асоціацією технологів-машинобудівників, починаючи з 2000 року, щорічно проводиться міжнародна науково-технічна конференція "Інженерія поверхні і реновація виробів", в матеріалах якої публікуються праці вчених і виробничників з різних країн у даному напрямку.

На сьогодні існують біля 200 технологій інженерії поверхні. Згідно уявленням авторів роботи, яка підсумовує дослідження останніх десятиліть, методи обробки або створення поверхневих шарів деталей підрозділяються за способом виконання на механічні, термомеханічні, термічні, хіміко-термічні, електрохімічні і хімічні, фізичні. В межах цієї класифікації основними методами, що знайшли у теперішній час широке використання, є: газотермічне напилення, вакуумне осадження, наплавка, модифікування поверхні концентрованими потоками енергії, електроіскрове легування, деформаційне зміцнення, гальванічні процеси, хімічне осадження і дифузійне насичення.

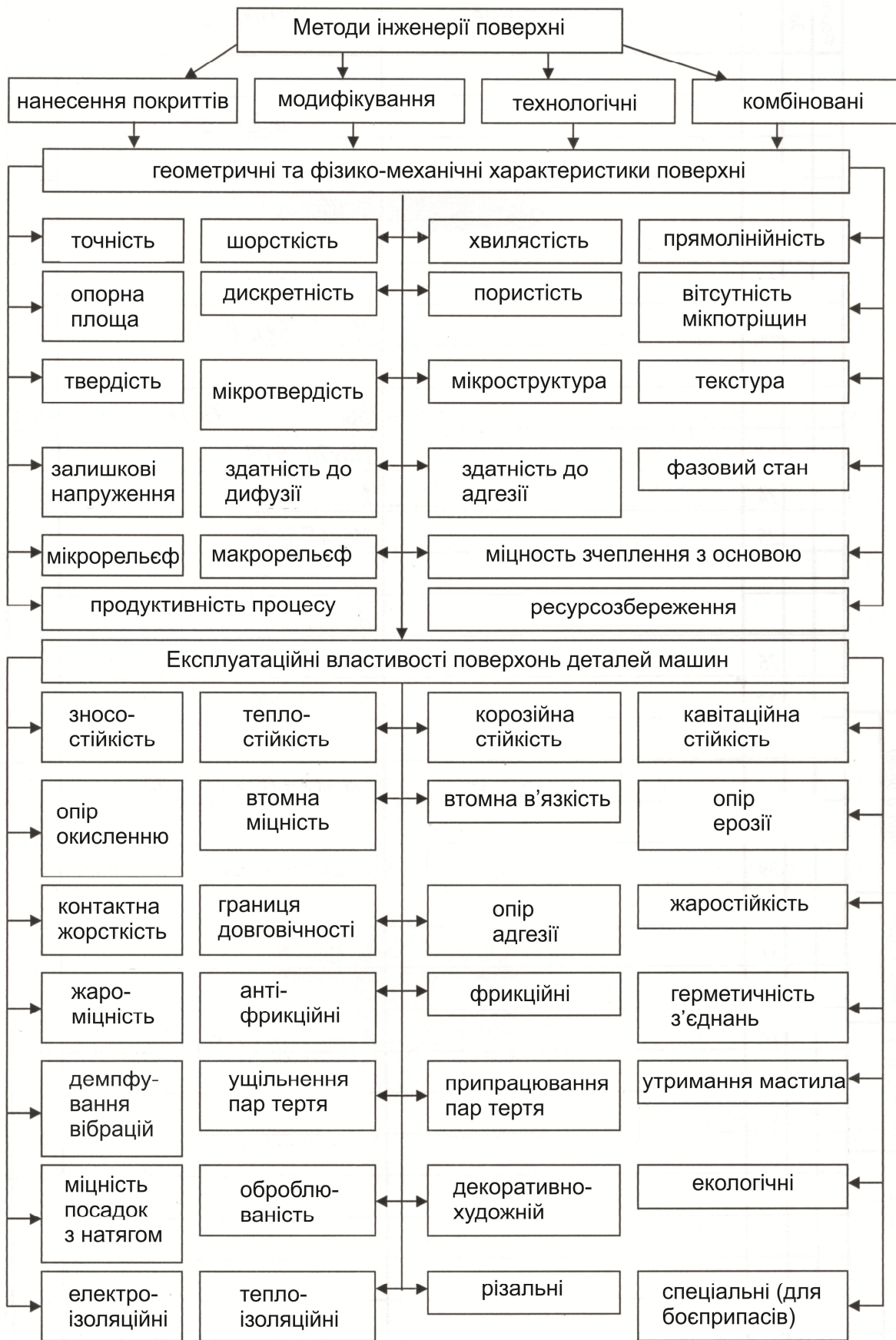
На наш погляд, відомі тепер сотні методів інженерії поверхні деталей машин доцільно розділити на чотири класи: *нанесення покриттів, модифікування поверхневого шару, технологічне забезпечення фізико-*

*механічних властивостей і топографії поверхні, а також комбіновані ("гібридні") методи.*

Нашими дослідженнями встановлено, що набуття необхідних службових характеристик поверхнею деталі (зносостійкості, теплостійкості, корозійної стійкості, ударної в'язкості, кавітаційної стійкості, опору окисленню, втомної міцності, опору ерозії, контактної жорсткості, межі довговічності, опору адгезії, задиристості, антифрикційних або фриктийних властивостей, герметичності з'єднання, демпфування вібрацій, ущільнення пар тертя, припрацювання, утримання мастила, оброблюваності за різними технологіями, а також декоративно художніх, екологічних, електроізоляційних, теплоізоляційних, різальних та ін. експлуатаційних властивостей) відбувається через комплекс геометричних і фізико-механічних характеристик поверхні і поверхневого шару. До останніх, зокрема, належить точність, шорсткість, хвилястість, твердість, мікротвердість, опорна площа і дискретність, пористість, відсутність мікротріщин, залишкові напруження, мікроструктура і оптимізований фазовий стан, мікро- і макрорельєф, схильність до дифузії, адгезії і когезії, текстура, міцність зчеплення з основою та ін., а також висока продуктивність процесу і ресурсозбереження.

На рис. 1 показана розроблена нами структурна схема впливу інженерії поверхні на властивості деталей машин.

Методи інженерії поверхні, які основані на модифікуванні поверхневого шару деталей машин, на відміну від нанесення покриттів, майже у всіх випадках, за виключенням процесів глибокого (наскрізного або об'ємного) пластичного деформування, не передбачають зміни розмірів виробу за рахунок додаткового матеріалу, який вводиться у зону обробки (електродного, присадкового, порошкового та т. ін.) Модифікування виконується за допомогою поверхневого впливу на матеріал деталі (термообробка, цементация, нітроцементация, азотування, технології з використанням ТВЧ, лазерів і електронно-променевих методів, а також холодного пластичного деформування). При цьому високотемпературні технології супроводжуються виникненням, в деталях потужного поля залишкових напружень і сітки мікротріщин, короблення, окислення та інших негативних явищ. Таким чином, для досягнення позитивного ефекту від термічного модифікування поверхонь деталей цей процес, як правило, необхідно поєднувати з наступним низькотемпературним отпуском, чистовою обробкою різанням, зокрема, шліфуванням або поліруванням, іншими фінішними методами.



**Рис. 1 – Структурна схема впливу інженерії поверхні на властивості деталей машин**

В той же час, значної частин модифікування поверхонь за допомогою процесів, що оснований на впливі на матеріал потужних джерел тепла, можна уникнути, якщо застосувати для зміни властивостей деталей "холодні" технологічні методи. Таким методами є всі процеси поверхневого і об'ємного холодного пластичного деформування (деформаційного зміцнення): вібраційні, вібродинамічні, вібронакочувальні, вигладжувальні твердосплавним і алмазним інструментом, обкочування і розкочування, ультразвукове і дробеструменеве зміцнення, а також поверхневе і наскрізне деформаційне протягування (дорнування).

Всі ці і споріднені процеси холодного пластичного деформування (ХПД) придатні для модифікування поверхневого шару широкої номенклатури деталей машин, які виготовляються з пластичних металів і сплавів при значеннях відносного видовження більше 3% (феритно-перлітні і аустенітні доевтектоїдні сталі, латуні, бронзи, алюмінієві, титанові і магнієві сплави, що деформуються та ін.). При цьому ефективними є як поверхневі, так і об'ємні процеси, що здійснюються за кінематикою ковзання і кочення при обробці зовнішніх і внутрішніх замкнених і вільних поверхонь, виключаючи фасонні. Наші дослідження фізико-механічних і геометричних властивостей поверхонь і поверхневих шарів деталей після модифікування за допомогою ХПД показали наявність в них корисних стискаючих залишкових напружень, величина яких сягає межі текучості оброблюваного матеріалу, підвищення мікротвердості, а отже, і зносостійкості останнього, а також виникнення текстури необхідної глибини і інтенсивності. Межа міцності оброблюваного матеріалу при цьому залишається практично незмінною, а структурні перетворення не відбуваються. Результати досліджень дозволяють зробити висновок про те, що експлуатаційні показники деталей після обробки методами ХПД суттєво покращуються безпосередньо у процесі виготовлення і їх цілеспрямовано рекомендувати для широкої номенклатури деталей машин при їх виготовленні і відновленні.

На рис. 2 наводиться класифікація вказаних процесів, які виконуються за схемою ковзання. Ця схема більш ефективна, ніж схеми кочення (обкочування і розкочування роликками або кульками), динамічні (вібраційні і дробеструменеві), малоамплітудні (обробка з накладанням ультразвукових коливань) і поверхневе вигладжування алмазними і твердосплавними інструментами, оскільки за рахунок більш інтенсивних процесів тертя і глибоких пластичних деформацій можна отримати більш високі показники твердості, корисних залишкових напружень, текстурованості, глибини зміцненого шару деталі і т.ін.



**Рис. 2 – Класифікація за кінематикою найбільш ефективних методів модифікування поверхневого шару ДМ холодною пластичною деформацією за схемою ковзання**

Слід відзначити, що об'ємне деформуюче протягування (ДП), тобто протягування з кінцевою товщиною стінки, коли деформація дозволяє вийти на зовнішню або внутрішню поверхні деталей машин (ДМ), є, на відміну від більшості споріднених процесів, ще і формоутворювальною операцією. Це говорить про те, що ДП дозволяє змінити розміри деталі, що виготовляється або ремонтується.

Робочим елементом інструменту (протяжки, волоки і т.п.) є, як правило, твердосплавне конічне або фасонне кільце, яке і виконує операцію холодного пластичного деформування. При ДП стосовно коротких отворів може застосовуватись найбільш проста схема стискання, а при обробці глибоких отворів і особливо довгих деталей, наприклад, труб і заготовок для карданних валів – відповідно схема розтягування і схема плоскої деформації (без укорочення).

Аналізуючи наші дані, що наведені на рис. 2, доходимо до висновку, що ДП може використовуватись при збиранні вузлів, наприклад, коромисел клапанів ДВЗ, гільз з фланцями, корпусів з втулками. При цьому одна з суміжних деталей повинна сприймати пластичні деформації, а інша, корпусна – повинна бути жорсткою. ДП застосовується також при відновлення деталей машин роздаванням (зношені хрестовини карданних валів). Деформуюче протягування "по чорній" поверхні трубних заготовок використовується також як чорнова операція в поєднанні з обробкою різанням для видалення дефектного збідненого на вуглець шару металургійного походження. В цьому випадку заключною операцією може бути або поверхневе пластичне деформування (ППД) (втулки підшипників ковзання), або поверхнева термообробка (деталі ходової частини гусеничних машин). Комбінований інструмент може також мати при необхідності рельєфоутворюючі секції, що працюють за схемою різання або ХПД. Таке поєднання трьох процесів в одному інструменті доцільно при необхідності отримати систему масилоутримуючих канавок (гільзи циліндрів ДВЗ, гільзи гідроциліндрів і т.п.)

Нами розроблявся і широко використовувався особливий метода ХПД – редукування. З використанням циліндричної оправки цей процес придатний, в першу чергу, для виготовлення поршневих пальців виробів, де металоощадження перевищує 10%. Редукування на фасонній оправці дозволяє отримати отвори в деталях машин будь-якого профілю (зубці внутрішнього зубчастого зачеплення, отвори за шліцями, шпоночними канавками і пазами, а також внутрішні полігонні поверхні). Найбільш ефективно редукування при відновлення поверхонь гладких отворів осадженням.

Відомі приклади використання координатного прогягування з прецизійним чистовим розкочуванням. Нами цей процес був впроваджений при виготовленні поршнів ДВЗ і деяких корпусних деталей.

*Технологічні* методи інженерії поверхні засновані, в основному, на обробці матеріалів різанням, оскільки відомо, що легко керовані режими цього процесу дозволяють створити в поверхневому шарі і на поверхнях деталей машин необхідний комплекс фізико-механічних і геометричних характеристик. Як позитивні властивості можна відмітити можливості обробки різанням стосовно набуття поверхнею деталі необхідного макро- і мікрорельєфу.

*Комбіновані* методи інженерії поверхні передбачають будь-яке поєднання методів із любого класу з певною метою. Наприклад, викорис-

тання "теплого" деформування дозволяє знизити пористість порошкового покриття і підвищити міцність його з'єднання з основою. Лазерна обробка покриття зміцнює і підвищує зносостійкість останнього. Приклади поєднання ХПД з обробкою різанням в будь-яких комбінаціях наведені вище.

*Рукавішников П.В., Федосеєнко В.Ю. Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна*

## **РЕІНЖИНІРИНГ ЯК ІНСТРУМЕНТ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ**

За останні роки для успішної діяльності будь-якого підприємства необхідно впроваджувати нові методи методології управління. Так з'явилася поняття реінжиніринг бізнес-процесів – це такий підхід до управління, який дозволяє зробити «прорив», дає різне підвищення продуктивності та ефективності діяльності підприємства, на відміну від постійного щоденного поліпшення.

Сутність реінжинірингу виявляється в реалізації таких положень:

- перебудова бізнес-процесів здійснюється без урахування всього попереднього досвіду тобто з нуля;
- передбачає не поступове поліпшення бізнес-процесів, а їх кардинальну зміну;
- потребує активізації творчого підходу;
- активно використовувати інформаційні технології.

Проведення реінжинірингу складається з таких етапів: моделювання та аналізу існуючих бізнес-процесів, переосмислення і розробка принципово нових бізнес-процесів, впровадження нових бізнес-процесів.

Для реалізації цього проекту створюється спеціальна група. Кожен із учасників наділяється конкретними функціями і йому відводиться певна роль.

Лідер проекту – член вищого керівництва підприємства який очолює організацію і впроваджує реінжиніринг.

Власник проекту – керівник вищої ланки він сам не виконує, а в його завдання належить залучення і створення кваліфікованої команди фахівців та забезпечити їх нормальне функціонування.

Керівний комітет – орган утворений із представників підприємства. Мета визначення загальної стратегії контролю за виконанням робіт.

Помічник лідера – фахівець підприємства відповідальний за розробку методик та інструментаріїв.

Команда по реінжинірингу група фахівців до яких входять співробітники підприємства.

Основні принципи реінжинірингу полягають у наступному: об'єднання декількох робіт в одну з метою економії часу; самостійність у прийнятті рішень; виконання роботи там де це доцільно; використання різних варіантів виконання процесів; зниження питомої ваги робіт з контролю.

Впровадження проекту реінжинірингу дозволяє одержати такі конкурентні переваги: робота виконавця стає багатоплановою; у персоналу підвищується почуття відповідальності; вимоги до освіти змінюються замість епізодичного навчання з'являється необхідність одержання широкої безперервної освіти співробітників; змінюється критерії оплати праці; змінюються критерії просування по службі. Замість ефективності виконання роботи визначається здатність виконувати роботу; змінюються функції менеджерів. Виникає необхідність не контролювати роботу підлеглих скільки навчати їх використовувати і контролювати самостійно.

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

## **ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ШЛІФУВАЛЬНИХ КРУГІВ ІЗ ХРОМИСТОГО КОРУНДУ ПРИ ОБРОБЦІ НАПЛАВОК З НІКЕЛЕВИХ СПЛАВІВ**

Обробка поверхонь наплавлених нікелевими сплавами дуже важлива проблема в галузі виробництва та ремонту деталей машин. Також суттєвою є проблема дослідження працездатності шліфувальних кругів, які використовуються при обробці наплавлених матеріалів. Нами було проведено дослідження працездатності шліфувальних кругів із хромистого корунду при обробці наплавлених матеріалів із жароміцних нікелевих сплавів типу ЖС-6К.

Для опробування працездатності шліфувальних кругів при обробці наплавленого металу нами використовувався чашковий абразивний круг із хромистого корунду (рубін-корунду) діаметром 125 мм (типу Т6 125×63×32 А89 60 І/К 9V). Обробка наплавленого матеріалу проведена в умовах торцевого шліфування на заточувально-шліфувальному верстаті 3Б642 (рис. 1).



**Рис. 1 – Шліфування наплавленого матеріалу абразивним кругом із хромистого корунду**

Режими шліфування:

- швидкість абразивного круга  $v_{кр.} - 20$  м/с;
- подовжена подача  $S_{пр.} - 1$  м/хв.;
- поперечна подача  $S_{поп.} - 0,02$  мм/подв.хід

Випробування проходили при шліфуванні зразків наплавлених матеріалів із жароміцних нікелевих сплавів типу ЖС-6К, які нанесені на торцеву поверхню пластини із нікелевого сплаву розміром 120×50×7 мм. Твердість наплавленого металу в діапазоні 35–41 НРС. Висота наплавленого валика від лінії сплавлення з попереднім шаром складала орієнтовно 5 мм, а загальна ширина зони проміжної механічної обробки на її заключній стадії орієнтовно 10–15 мм.

При дослідженні працездатності шліфувальних кругів контролювалися такі параметри:

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

Результати дослідження працездатності шліфувальних кругів показали, що обробка наплавлених матеріалів із жароміцних нікелевих сплавів дуже ефективна кругами із хромистого корунду. Абразивні круги із хромистого корунду шліфують наплавлені матеріали рівномірно, без напруження та не «припікають» поверхню обробленого матеріалу. Вага наплавленого зразка до дослідження складала 150,1 гр. Після шліфування складала 101,1 гр. Зняття обробленого матеріалу за період шліфування складає 49 гр. Вага абразивного круга до дослідження складала 670,9 гр. Після шліфування складала 667,8 гр. Знос абразивного круга за період шліфування складає 3,1 гр. Відносний знос круга на 1 грам знятого матеріалу розраховувався відносно зносу абразивного круга до кількості зняття обробленого матеріалу за період шліфування і складає 0,063. Це дуже добрий показник відносного зносу шліфувального круга.

Потужність шліфування  $N_{\text{еф}}$  визначалась різницею загальної потужності  $N_{\text{заг}}$  та потужності холостого ходу  $N_{\text{хх}}$ . За весь період шліфування потужність  $N_{\text{еф}}$  складала 100–150 Ват.

Шорсткість обробленої поверхні зразка замірялась на пристрої РТ 10 (профілограф) вдовж торцевої поверхні наплавленого зразка. Шорсткість обробленої поверхні зразка складала  $Ra$  0,8.

**Висновки.** Використовування абразивних кругів із хромистого корунду (рубін-корунд) продемонструвало хорошу здатність до механічної обробки наплавленого металу нікелевих жароміцних сплавів типу ЖС6.

Дослідженнями працездатності шліфувальних кругів встановлено, що відносний знос круга складає дуже малий розмір 0,063, який є хорошим показником відносного зносу шліфувального круга.

Абразивні круги із хромистого корунду шліфують наплавлені матеріали рівномірно, без напруження та не «припікають» поверхню обробленого матеріалу, при цьому потужність шліфування складає 100–150 Ват, а шорсткість обробленої поверхні складає  $Ra$  0,8.

*Salenko A.* National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv  
*Habusian H.* Professional college of Kremenchuk Mikhailo Ostrogradskyi National University, Kremenchuk, Ukraine

## **DISTRIBUTION OF HARMFUL EMISSIONS DURING THE PERFORMANCE OF HYDRO ABRASIVE CUTTING IN LABORATORY AND WORKSHOP CONDITIONS**

Technologies based on the processing of materials with powerful and compact fluid flows, including those saturated with abrasive particles, are a modern and quite productive method for contour cutting of sheet blanks. The potential energy of the compressed fluid is converted into the kinematic energy of particle motion, which is subsequently spent on the work of elastic-plastic deformation, microcutting and fatigue fracture of surface fragments that perceive the incoming flow. In this case, finely dispersed sludge is formed, which is mainly captured by the pool in which the flow is subsequently extinguished. Abrasive particles in the jet stream also get there.

As a rule, the depth of the pool is 0.3–0.5 m, which is sufficient to dampen the energy of the flow flowing from the nozzle nozzle  $\varnothing$  0.25–0.4 mm with a calibrating tube  $\varnothing$  0.9–1.2 mm under pressure 250–300 MPa, which corresponds to the most common operating conditions of hydraulic cutting equipment.

Many materials can be hydrocutted: various plastics, metals, hard alloys and superhard materials [1], as well as composite materials, in particular, based on carbon and glass fibers [2].

The latter, due to their inhomogeneous structure, as well as some porosity, are prone to the formation of defects, and the efforts of many scientists are aimed at combating them [3]. However, another equally **important issue** remains the provision of safe working conditions and the prevention of cutting emissions.

It is known that the maximum emissions during the processing of composites are observed during mechanical cutting (for example, using a diamond tool), and safe working conditions are ensured by using personal protective equipment (a respirator and a protective suit) and a special coolant that enters the cutting zone.

For waterjet cutting equipment, manufacturers consider that the jet of liquid carries away the formed cuttings satisfactorily, and the only harmful factor is emissions during the initial piercing of holes in the workpiece or

during a sharp change in cutting conditions, for example, when the jet flows on the support of the machine table.

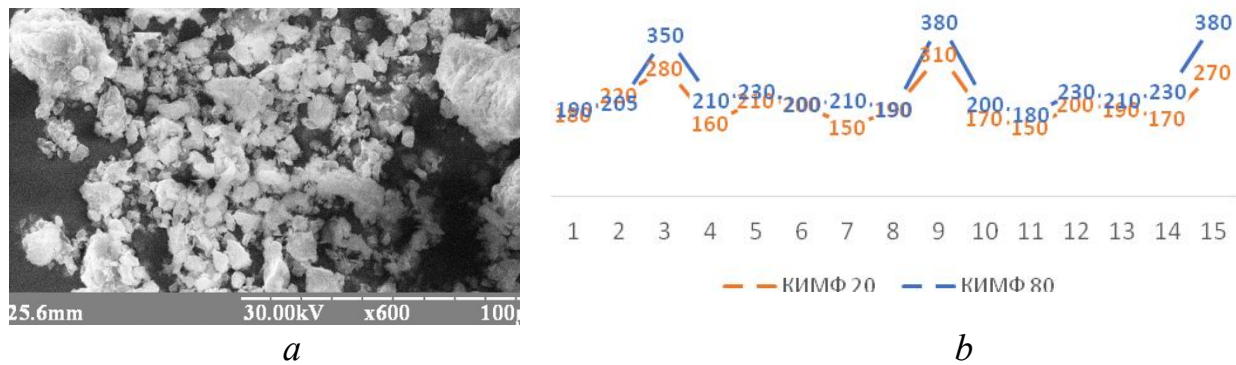
We have carried out studies of the activity of formation of aerosols based on water droplets and products of destruction of the processed material during the operation of hydraulic cutting equipment in laboratory conditions.

*The studies were* carried out on a hydrocutting machine GAR-400-5, during the process of contour cutting of workpieces with a thickness of 20–100 mm from carbon-carbon material of the KIMF type. For processing, industrial water was used with cleaning from mechanical impurities of particles up to 5 microns; river sand and quartz sand with a fractional composition of 100/200  $\mu\text{m}$  were used as an abrasive; cutting conditions: abrasive consumption 0.3 kg/min, working fluid outflow pressure 200 MPa, contour feed rate 0.6 m/min.

To determine the emission of water aerosols with microscopic particles of the destruction products of the processed material, the use of a unique chemographic method is justified, which makes it possible to register heterogeneous oxidative reactions occurring as a result of moisture deposition on control surfaces. The elemental composition was determined by energy-dispersive microanalysis using an EDAR block using samples obtained from a desiccator on juvenile “clean surfaces”, the sludge particles were analyzed using a REM-106-I scanning electron microscope.

The points of installation of control plates and air intake were located along radial axes oriented at an angle of  $\pi/6$  relative to each other and spaced in the radial direction at a distance of 0.2 m. The measurement results were duplicated 20 times, which made it possible to use  $\omega$ -criterion (significance criterion for small samples), which confirms the reliability of the results obtained.

The research results were as follows. On average, the release of sludge in the aerosol did not exceed 350..400 mg / min and was recorded near the cutting zone (at a distance of 0.1 m from the cutting point (Fig. 1). When removing the mass of the solid phase deposited from the aerosol, it sharply decreased, which corresponds to a drop the concentration of cuttings particles at a distance from the cutting zone. The distribution of cuttings along the directions (controlled axes) is approximately the same, except for the moment of a sharp change in the cutting direction (then in the cut plane and on the opposite side of the feed vector) there is a short-term surge, accumulating in itself up to 85–90% of the total emission, while maintaining the compactness of the emission, which can reach up to 1.5–1.8 m. As can be seen from the figure, both carbon particles (material – carbon-carbon composition) and abrasive particles are observed in the sludge.



**Fig. 1 – Microelectronic image of sludge particles (a) and its release in the cutting zone (b)**

Thus, the long-term operation of hydrocutting machines can significantly affect the microclimatic conditions in the laboratory or in the workshop. Obviously, the dynamics of changes in the microclimate is determined by the volume of the room, the presence of supply and exhaust ventilation. In the event of emissions, a short-term significant deterioration of the atmosphere in local volumes (2–3 m<sup>3</sup>) is possible, which should be considered by the operator in the process of work. Such outliers can be reduced by appropriate control algorithm, workpiece orientation (preventing ejection towards the operator), or by using special table supports.

Some design solutions for hydraulic cutting equipment make it possible to almost eliminate periodic emissions completely.

Recommendations for using the waterjet cutting method:

Despite the fact that the emission of volatile compounds is quite small, long-term operation of the installation when processing specific composite materials can negatively affect the level of air pollution and deterioration of the microclimate in the workplace.

To prevent these phenomena, it is recommended to use rooms with active aspiration, and control the work from an isolated room. If this is not possible, a distance of more than 3 m from the meta-cut is sufficient.

### Reference

1. Salenko, A. F. Improving accuracy of profile hydro-abrasive cutting of plates of hardmetals and superhard materials / A. F. Salenko, V. T. Shchetinin, A. N. Fedotyev // J. Superhard Mat. – 2014, Vol. 36, P. 199–207.
2. Dudyuk, V. About effects of stream-beam influence on a surface of firm bodies / V. Dudyuk, O. Mana // Unitex-09 : Inter. Sci. conf., 2009

3. Salenko, A. Effect of slime and dust emission on micro cutting when processing carbon-carbon composites / A. Salenko et. all. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Vol. 3. – P. 38-45.

*Саленко О.Ф., Орел В.М., Шлик С., Габузян Г.В.,  
Костенко А.О, Цуркан Д.О. КПП імені Ігоря Сікорського,  
Київ, Україна*

## **ОБУМОВЛЕНІСТЬ ЯКОСТІ ТА МІЦНОСТІ FDM-ВИРОБІВ ТЕМПЕРАТУРАМИ ЕКСТРУДУВАННЯ ПЛАСТИКУ**

Наразі технології адитивного виробництва активно розвиваються. У більш передових принтерах використовуються матеріал може формуватися як попередньо, з суміші порошків або ниткового матеріалу, [1], так і вже міксованим складом філаменту [2].

Використання армувальників різного виду та фракцій дозволяє збільшити міцність на 20-40%, однак одночасно підвищує і анізотропію властивостей, зокрема різницю між  $E_x$ ,  $E_y$ ,  $E_z$ ;  $\sigma_x$   $\sigma_y$   $\sigma_z$ , [2]. Іншим чинником підвищення міцності є зміна топології викладання філаменту, або умов формування мікро об'ємів друкованої заготовки [3]. Наразі активно розвивається робота щодо створення полімерних принтерів із кількома додатковими осями, [4].

В роботі [5] нами сформульовані основні положення механіки руйнування виробів, отриманих FDM. Показано, що руйнування адитивних конструкцій розпочинається із розвитку дефектів, які формуються у процесі створення виробу і які умовно можна поділити на: дефекти структури, сформовані у процесі викладки філаменту і які передбачаються самим процесом; дефекти процесу, які носять випадковий характер та пов'язані із дією зовнішніх чинників та умов формування; дефекти матеріалу, які проявляються в наявності в матеріалів певних включень, забруднень, а також наявності водяної пари, що відіграє роль активного збурювача плавлення та застигання пластику.

Підсумкові значення параметрів визначатимуться проявом усіх трьох груп дефектів.

На інтенсивність зародження та розвитку дефектів впливає велика кількість діючих факторів. Одним із найбільш важливих, відповідно до [6], є температура пластику після екструдера, яка обумовлює явища у

зоні вичавлювання філаменту та його застиганні на робочому столі, внаслідок чого утворюються площинки адгезійного зчеплення. Опосередковано ця температура визначається температурою нагрівача екструдера, однак внаслідок дії інших чинників може змінюватися у досить широких межах.

Формування смуг (площинок) адгезії, які після повного застигання забезпечують міцність з'єднання, відбувається внаслідок прояву тепло-та масообмінних процесів, динаміка яких визначається температурою розплаву полімеру в трубці екструдера. Цей чинник також обумовлює щільність готового виробу, а також шорсткість бічних поверхонь, утворених як огинаюччв кінцевих площинок шару.

Температура в нитці визначається умовами теплового балансу, який може бути уявлений у вигляді  $T=f(Q,x,y,z,\tau)$ ,  $Q=\pm Q_s \pm Q_r - Q_0$ . Тут взято до уваги, що знак « $\pm$ » означає зміну напрямку теплового потоку від моменту контакту до моменту повного охолодження нитки на верхньому шарі (рис. 1). Інші позначення наступні:  $Q_s$  – теплообмін між робочим столом та шаром філаменту;  $Q_0$  – передача теплоти у навколишнє середовище;  $Q_r$  – теплообмін між витками філаменту.

Реологічне рівняння для розплаву філаменту (полімерної нитки)

встановлювали за [7] так:  $\tau = K_1 e^{-\beta \frac{T-T_1}{T_1-273}} \gamma^n$ , де  $\beta$  - температурний коефіцієнт,  $K$  – коефіцієнт консистенцій (ефективної в'язкості),  $\tau$  - дотичні напруження. Крива плинності для розплаву полімеру  $\tau = K \gamma^n$ ,  $n$  – показник степеня, який характеризує ступінь неньютонівської поведінки розплаву і є індексом течії. Коефіцієнт  $K$  є функцією температури,  $K \cdot e^{-\beta}$ , тож

$\beta = -\frac{T_1}{(T_2 - T_1)} \ln\left(\frac{K_2}{K_1}\right)$ . Реологічні параметри  $K$  та  $n$  визначені методом найменших квадратів за експериментальними даними. Так, вихідна постановка задачі в інваріантній формі включає кінематичні співвідношення, рівняння теплопровідності:  $c_v \theta = \text{div}(k \text{grad} \theta) + Q$ , квазістатичної рівноваги:  $\text{div} \sigma = 0$ , та граничних та початкових умов:  $\theta = \theta_0$  при  $t=0$ ;  $-kn \cdot \text{grad} \theta = -q + \gamma(\theta - \theta_c)$ ;  $\sigma n = 0$ . Тут  $\theta$  – температура;  $\sigma$  – тензор напружень;  $Q$  – потужність об'ємного джерела тепла;  $q$  – заданий потік тепла;  $c_v$  та  $k$  – коефіцієнти теплоємності та теплопровідності;  $\gamma$  – коефіцієнт тепловіддачі;  $\theta_c$  – температура навколишнього середовища;  $\theta_0$  – початкова температура;  $n$  – зовнішня нормаль до поверхні тіла;  $\sigma = (\sigma_{ij})$ .  $i, j = x, y, z$ . Плоский напружений стан в площині ОХУ визначатиметься так:  $\sigma_{zz} = \sigma_{zx} = \sigma_{zy} = 0$ ,  $u_i = u_i(x, y)$ ,  $\varepsilon_{ij} = \varepsilon_{ij}(x, y)$ ,  $\sigma_{ij} = \sigma_{ij}(x, y)$ ,  $\theta = \theta(x, y)$ . Термоме-

ханічна поведінка матеріалу описується співвідношеннями:  $\varepsilon = \varepsilon^e + \varepsilon^\theta$ ;  $\varepsilon^\theta = \alpha(\theta - \theta_0)I$ ;  $s = 2Ge$ ,  $tr\sigma = 3K_v tr(\varepsilon - \varepsilon^\theta)$ , де  $\varepsilon^e$  та  $\varepsilon^\theta$  – пружна і теплова складові деформації,  $s$  та  $e$  – девіатори тензорів напружень і деформацій;  $G$  і  $K_v$  – модуль зсуву та об'ємний модуль;  $tr$  – слід тензора;  $I$  – одиничний тензор. Це дозволило для розплаву філаменту (полімерної нитки) оцінити дотичні напруження встановлені за [7] так:

$\tau = K_1 e^{-\beta \frac{T-T_1}{T_1-273}} \dot{\gamma}^n$  де  $\beta$  – температурний коефіцієнт,  $K$  – коефіцієнт консистенцій (ефективної в'язкості),  $\tau$  – дотичні напруження. Крива плинності для розплаву полімеру  $\tau = K \dot{\gamma}^n$ , де  $n$  – показник степеня, який характеризує ступінь неньютонівської поведінки розплаву і є індексом течії.

Коефіцієнт  $K$  є функцією температури,  $K \cdot e^{-\beta}$ , тож  $\beta = -\frac{T_1}{(T_2 - T_1)} \ln\left(\frac{K_2}{K_1}\right)$ .

Модельні експерименти дозволили встановити умови розподілу температур як на робочому столі, так і в  $i$ -тому шарі філаменту. Атким філаметром обирали PLA пластик (у тому числі, армований рубленою вуглецевою ниткою (PLA\_C). При цьому модельований розподіл температур порівнювали із картинами теплових поїв, отриманих за допомогою тепловізійних вимірів, рис. 1.

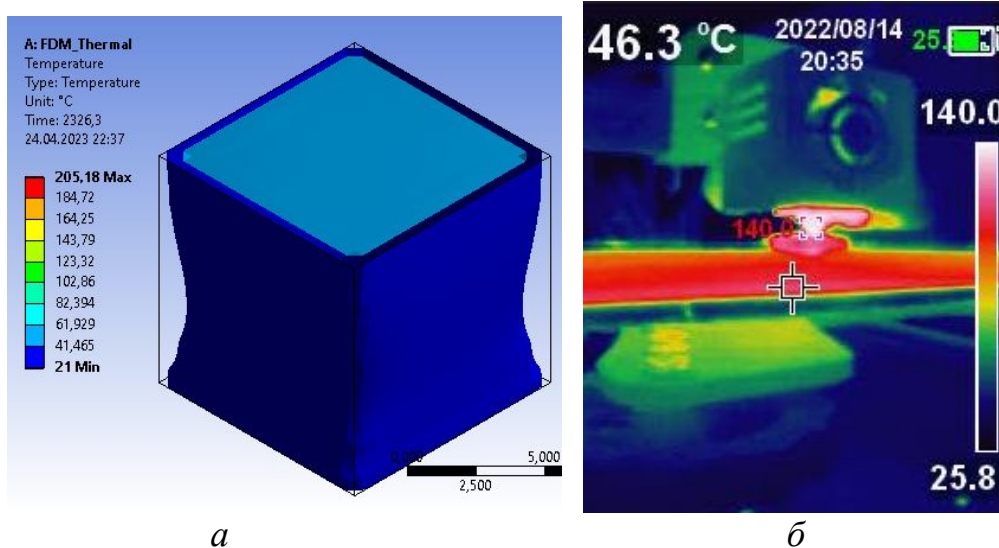
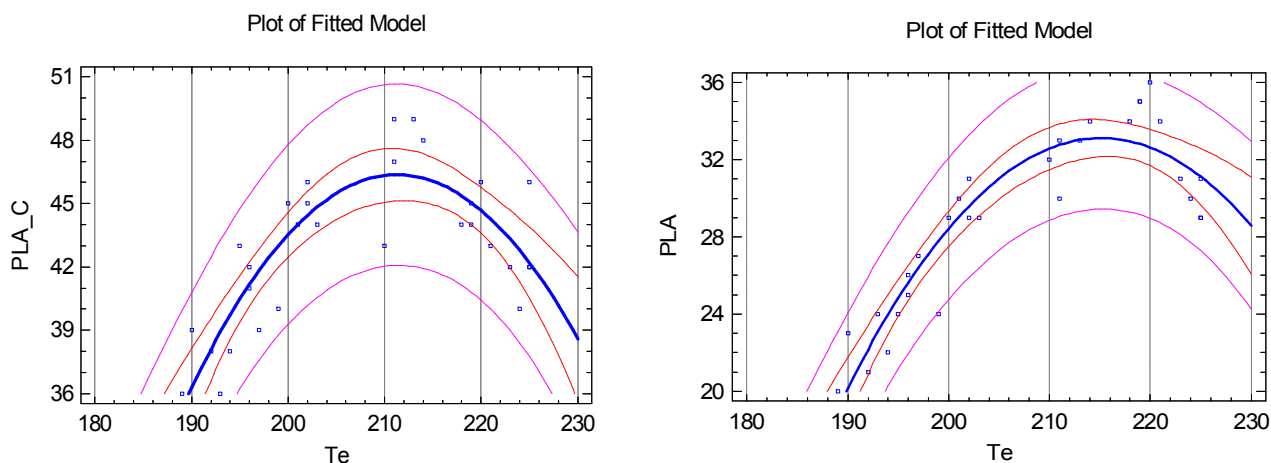


Рис. 1 – Модельована форма поверхні при застиганні після 15 хв друку; розміри тестового виробу 20×20×20 мм (а) та температурні поля робочої зони під час роботи принтера (б) (модель відтворена на 15%)

Статистична обробка результатів експерименту (рис. 2) показала, що межа міцності для матеріалу PLA\_C та для PLA задовільно може бути описана поліноміальними рівняннями другого порядку, із чітко вираженим екстремумом у точці максимальної міцності (для PLA\_C  $[\sigma]^{PLA\_C} = 47,3$  МПа, для PLA  $[\sigma]^{PLA} = 35,1$  МПа).



**Рис. 2 – Зміна межі обчисленої міцності  $[\sigma]$ , МПа, виробів із PLA\_C та PLA у функції температури екструдера  $T_e$**

Оскільки поле розсіювання значень для PLA\_C є більшим (результати випробувань мають дисперсію до 1,54 МПа), точність регресійної моделі становить 71%, що можна пояснити дією випадкових чинників, обумовлених наявністю у структурі філаменту рубленого вуглецевого волокна:

$$[\sigma]^{PLA\_C} = -944,076 + 9,37475 \cdot T_e - 0,0221835 \cdot T_e^2 \quad (1)$$

Для пластику PLA за умови адекватності моделі 86% та дисперсії 0,61 МПа відповідне регресійне рівняння набуде вигляду

$$[\sigma]^{PLA} = -915,472 + 8,81884 \cdot T_e - 0,0204967 \cdot T_e^2 \quad (2)$$

Отримані залежності дозволили уточнити характеристики матеріалу в розрахункових моделях, а також врахувати прояв дефектів усіх трьох груп. Уточнення температур  $T_0$  на основі  $T_e$  дозволило більш точно визначити умови застигання пластиків та формування площинок адгезійного зчеплення. Для робочого діапазону температур  $T_e \in [195-230]$  °C така залежність задовільно описується лінійним виразом.

Таким чином, можна вважати, що одним із механізмів пошкодження матеріалу є розкриття порожнин під дією зовнішніх факторів (наприклад, термобаричного навантаження та ін.), а температура екструзії  $T_e$  вносить суттєвий вплив у формування початкових дефектів, які згодом призводять до втрати фізико-механічних характеристик виробу.

Саме тривалий опір руйнуванню є одним із проблемних чинників, що перешкоджають інженерному застосуванню адитивних процесів.

Саме температура філаменту  $T_0$  у момент викладки на робочому столі визначає майбутні характеристики виробу, і саме ця температура є недостатньо регульованою при 3-D друці. Відповідний висновок був зроблений на основі мікроскопічного дослідження зон активного розвитку дефектів. Останній довів, що при дії робочого навантаження відбувається активне руйнування зразка, з утворенням зон наскрізного розкриття початкового дефекту, найменш стійкого до дії розтяжних напружень.

Нерівномірність нагріву та охолодження шарів при викладанні призвело до просторових деформацій зразка. Так, встановлено, що в процесі формування шарів, що слідує один за одним, та після закінчення друку, бічна поверхня буде достатньо деформованою і являтиме собою поверхню утворює собою поверхню другого порядку. Для розміру тестового зразка 20,0 мм таке деформування становитиме 0,35–0,42 мм.

Було встановлено, що швидкість зростання робочого навантаження безпосередньо визначає кількість ймовірних місць пошкоджень. Так, при повільному зростанні напружень, відбувається порушення адгезійного контакту, і кількість виникаючих тріщин є більшою, ніж за умови, коли робоче навантаження зростало різко.

Висновки. Проведена робота дозволила встановити обумовленість міцності тонкої пластини при прикладанні розтяжного навантаження умовами екструзії, зокрема, температурами в екструдері  $T_e$  та температурою викладання  $T_0$ . Показано, що кількість початкових дефектів, які в подальшому впливатимуть на міцність, щільність та надійність роботи виробу, залежить від температури в момент формування адгезійних шарів. Доведена деформівність виробу після застигання, що має враховуватися при забезпечення вимог із точності форми об'єкта, що відтворюється.

## Література

1. Momoda, L. The future of engineering materials : Multifunction for performance-tailored structures / L. Momoda // Bridge. – 2004. – Vol. 34. – P. 18–21.
2. Puig, L. A review on large deployable structures for astrophysics missions / L. Puig, A. Barton, N. Rando // Acta Astronautica. – 2010. – Vol. 67, № 1-2. – P. 12–26.
3. He, Meifeng. A study on composite honeycomb sandwich panel structure / Meifeng He, Wenbin Hu // Mat. and Design. – 2008. – 29. – P. 709–713.

4. Queheillalt, D. T. A Multifunctional Heat Pipe Sandwich Panel Structure / D. T. Queheillalt, G. Carbajal, G. P. Peterson, H. N. Wadley // Inter. J. of Heat and Mass Transfer. – 2008. – Vol. 51. – P. 312–326.

5. Derevianko, I. Experimental and numerical analysis of mechanical characteristics of fused deposition processed honeycomb fabricated from PLA or ULTEM 9085 / I. Derevianko, B. Uspensky, K. Avramov, A. Salenko, K. Maksymenko-Sheiko // J. of Sandwich Structures & Materials. – 25 (2). – P. 264–283

6. Salenko, O. Using a functional approach in solving problems improve performance waterjet equipment / O. Salenko, M. Khorolska, V. Lopata, E. Solovuch, V. Kulyzhskiy // Problems of Tribology. – 27 (2/104). – P. 94–103

7. Salenko, O. Using the functional approach in the development of hybrid processes in engineering: theoretical base / O. Salenko, S.A. Klimenko, V. M. Orel, V. Y. Kholodny, N. V. Gavrushkevich // Mech. Adv. Technol. – 6 (1). – P. 41–55.

*Сахнюк І.О., Тітова Г.М., Федосєєва І.К.,  
Рудак Н.П. Технічний центр НАН України, Київ, Україна*

## **РОЛЬ СТАНДАРТІВ У ВПРОВАДЖЕННІ ПРИНЦИПІВ СТАЛОГО РОЗВИТКУ**

Національний орган стандартизації ДП «УкрНДНЦ» та Організація Об'єднаних Націй з промислового розвитку (ЮНІДО) провели онлайн-вебінар: «Зелена реконструкція України: Роль державних закупівель». Основна мета — дослідити ключову роль, яку відіграють стандарти у впровадженні принципів сталого розвитку в політику та практику державних закупівель в Україні (<http://uas.gov.ua/kontakty/dlia-biznesu/>).

Зосередимо увагу на розгляді основних положень міжнародного стандарту «ISO 20400:2017 Sustainable Procurement – Guidance» (ISO 20400:2017 Сталі закупівлі – Настанови) та ролі державних закупівель для «зеленої» реконструкції України. Цей стандарт, до розроблення якого були залучені 52 країни, є таким керівним нормативним документом, який звертається до питання теми закупівель як функції і конкретно допомагає стійкості, сталості державних закупівель. Цей стандарт містить достатньо гнучкі рамки. Він дозволяє зрозуміти, що ж насправді є сталими закупівлями, описує різні рівні закупівель в органі-

заціях і також говорить про політику і стратегію, організацію, процес тощо. Також він містить певні керівні настанови щодо того, яким чином застосовувати сталі закупівлі.

В Україні з 2021 року діє національний стандарт ДСТУ ISO 20400:2019 Стійкі закупівлі. Настанови (ISO 20400:2017, IDT). Цей стандарт надає організаціям, незалежно від їхньої діяльності чи розміру, рекомендації з інтегрування принципів стабільності в рамках закупівель. Його призначено для зацікавлених сторін, які беруть участь у процесах, на які впливають прийняті рішення щодо закупівель, та процеси закупівель.

Що ми розуміємо від сталими закупівлями? Це ті закупівлі, які мають позитивний економічний вплив, а також вплив на навколишнє середовище, зважаючи на загальний життєвий цикл продукції та послуг, які надають організації, тобто це не лише про мету, а й про продукцію, про товар, і це взагалі про ланцюг постачання, використання і того, що відбувається після використання продукції. Отже, це розуміння є дійсно дуже важливим для того, щоб відбувалися ці сталі закупівлі.

Що робить закупівлі більш сталими? Три речі. Перше – це те, що ви купуєте, тобто товар або продукція. Друге – це від кого ви купуєте, тобто постачальник. Третє – це як ви робите закупівлі, тобто як ви купуєте. На всіх рівнях або у всіх цих сферах може бути вплив на сталість, тобто йдеться не лише про те, щоб купити продукцію. Отже, це є трьома важливими речами, які викладені у стандарті: що ви купуєте, у кого купуєте, як ви купуєте.

У стандарті ISO 20400 є чотири основні розділи, де йдеться про принципи сталих закупівель, певні критичні питання, такі, які стосуються управління ризиками сталості, і можливі впливи на закупівлі, використання закупівель. Тут треба зробити дослідження ланцюга постачання, щоб зрозуміти, де можуть знаходитися потенційні негативні впливи, наскільки вони є критичними за становлення пріоритетів і це є дійсно важливим. Потім підкреслюється важливість сталих закупівель, їхньої сумісності та інтегрованості в організаційні цілі, що в багатьох організаціях вже є сталі цілі. Тому дуже важливо, щоб саме закупівлі якимось чином співпадали, були сумісні з цими цілями. Далі підкреслюється важливість того, що називають функцією закупівель, тобто елементи всередині організації, які стосуються закупівель, тому що тут питання полягає не лише в тому, щоб зробити закупівлі. Саме тут потрібні люди, які повинні знати нагальні потреби. Тобто є декілька еле-

ментів, які можна резюмувати як механізми управління для вдосконалення процесу.

Одним із ключових елементів є, окрім заінтересованих сторін, саме ланцюг постачання, тобто усі постачальники. Ця частина стандарту стосується того, як проводять управління процесом для того, щоб упевнитися в тому, що відбувається дійсно сталий процес закупівель. Процес закупівель є загальним, спільним, під час якого звичайно відслідковують потреби, встановлюють вимоги, обирають постачальників, проводять тендери (тендерну процедуру).

Отже, тут повинні бути дві схеми. Одна частина в них виглядає як управління, люди, моніторинг, вдосконалення роботи, пріоритизація, залучення заінтересованих сторін. З іншого боку, необхідно подивитися на процес закупівель, який починається з планування, потім – визначення критеріїв до продукції та послуг або послуг, що є одним з основних елементів, для якого потрібні стандарти і регламенти, для яких вони є критичними. Далі дивимося на аспекти сталості, тобто обрання постачальників до моменту укладання контракту, після чого настає етап управління контрактом, на якому необхідно впевнитися в тому, що все, що повинні закупити і використовувати, є необхідним. Контракт дійсно все це містить і впроваджує, тобто потрібно зрештою переглянути весь процес.

Отже, процес закупівель є одним із ключових елементів для вимог зі сталості, і, звичайно, говориться про ризики, про політику організації, про загальне управління організацією, аналіз ринку, але враховуючи, що є дійсно важливим в розумінні того, що визначення критеріїв стосується в першу чергу технічної специфікації об'єкта. Тут йдеться про контракти і тендерну документацію, вимоги до постачальників та про процес кваліфікації, технічної компетентності, відповідності вимогам, тобто посилення для встановлення процесу сталих закупівель. Ці регламенти та стандарти зараз є актуальними у сфері сертифікації, екологічного декларування продукції тощо.

Отже, якщо подивитися на внесок, який роблять закупівлі у розвинутих державах, то для «зеленої» відбудови України стандарт ISO 20400 дійсно може забезпечити кращу, більш сталу інфраструктуру та рішення. Цей стандарт допоможе визначити пріоритети, такі як транспорт, енергетика, будівництво житла. Але найважливіше те, що закупівлі мають бути спрямовані на інтегрований підхід, проектування, процесів та матеріалів і бути на підтримці інновацій.

*Смоквина В.В., Ільницька Г.Д., Лавріненко В.І.,  
Логінова О.Б., Зайцева І.М., Тимошенко В.В.,  
Котинська Л.Й.* Інститут надтвердих матеріалів  
ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ, Україна

## **АЛМАЗНІ ШЛІФПОРОШКИ СИНТЕТИЧНОГО АЛМАЗУ ДЛЯ ШЛІФУВАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

Для розвитку машинобудівної галузі важливим напрямком є застосування ефективних абразивних інструментів на основі порошків синтетичного алмазу. При алмазно-абразивній обробці поверхні деталей на зносостійкість та ефективність роботи шліфувального інструменту впливають характеристики алмазних порошків, які формуються в процесі синтезу алмазу, сортування та класифікації. У промисловості при обробці виробів із твердого сплаву, кераміки, скла та інших крихких матеріалів широко застосовуються шліфувальні інструменти з використанням порошків синтетичного алмазу марок АС6-АС32 від 160/125 до 80/63 згідно ДСТУ 3292.

Як правило, такі шліфпорошки алмазу створюються під час синтезу при великих швидкостях зростання кристалів алмазу. У процесі росту кристалів алмазу, при їх зростанні відбувається захоплення всі побічних фаз, присутні в реакційній камері. При цьому включення та домішки стають об'ємними дефектами кристалів алмазу, які мають різні розміри, починаючи від атома і до макроскопічних розмірів і впливають на властивості міцності порошків алмазу.

Вихідним матеріалом для отримання шліфпорошків спеціального призначення з різним вмістом внутрішньокристалічних домішок та включень, що різняться між собою за величиною питомої магнітної сприйнятливості, є алмазні шліфпорошки синтетичних алмазів марок АС6, АС15, АС20, АС32 за ДСТУ 3292, синтезованих у різних ростових системах.

Для оцінки якості алмазних шліфпорошків було розроблено технічні умови ТУ У 23.9-05417377-384:2023 «Алмазні шліфпорошки синтетичного алмаза спеціального призначення для шліфувального інструменту».

Дані технічні умови поширюються на алмазні шліфувальні порошки з різним вмістом внутрішньокристалічних домішок і включень, що різняться між собою за величиною питомої магнітної сприйнятливості.

Шліфпорошки залежно від величини питомої магнітної сприйнятливості ( $\chi \cdot 10^{-8}$ , м<sup>3</sup>/кг) поділяються на чотири категорії.

Приклад умовного позначення під час замовлення та в документації іншої технологічної продукції алмазного шліфпорошку марки АС6 магнітної категорії М-1 зернистістю 160/125 буде виглядати як алмазний шліфпорошок АС6-М1 160/125 при необхідності вказуються ТУ У 23.9-05417377-384:2023.

Зерновий склад, показник міцності при статичному стисканні зерен шліфпорошків визначаються за ДСТУ 3292 та повинні відповідати нормам, зазначеним у цьому документі.

Згідно розроблених технічних умов категорія алмазних шліфпорошків та величина їх питомої магнітної сприйнятливості повинні відповідати зазначеним у табл. 1.

**Таблиця 1 – Питома магнітна сприйнятливість алмазних шліф порошків різних зернистостей 160/125–80/63**

Зернистість, мкм	Питома магнітна сприйнятливість, $\chi 10^8$ , м <sup>3</sup> /кг			
	категорії			
	М-I	М-II	М-III	М-IV
160/125	понад1000 до 500 вкл.	від 500 до 100 вкл.	від 100 до 10 вкл.	не менше 10,0
125/100	"- 800 "- 400	"- 400 "- 100	"-100 "- 7	"- 7,0
100/80	"- 700 "- 350	"- 350 "- 50	"- 50 "- 5	"- 5,0
80/63	"- 600 "- 300	"- 300 "- 50	"- 50 "- 3	"- 3,0

Фізико-механічна характеристика зерен шліфпорошків алмазу у вигляді їх абразивної здатності повинна відповідати нормам, зазначеним у табл. 2.

**Таблиця 2 – Абразивна здатність алмазних шліфпорошків різних зернистостей 160/125 – 80/63**

Зернистість, мкм	Абразивна здатність, А, мг не менше			
	категорії			
	М-I	М-II	М-III	М-IV
160/125	10,0	9,5	9,0	8,5
125/100	9,5	8,5	8,0	7,5
100/80	9,0	8,5	8,0	7,5
80/63	8,7	8,0	7,5	7,0

Алмазні шліфпорошки спеціального призначення різних категорій з різним вмістом внутрішньокристалічних домішок та включень, що різняться між собою за величиною питомої магнітної сприйнятливості, рекомендується використовувати в шліфувальному інструменті залежно від їх категорії:

М-1 для електроерозійного шліфування; М-2 для електроіскрового шліфування; М-3 для електрохімічного шліфування (допускається використання для шліфування з охолодженням); М-4 для електрохімічного шліфування (без охолодження).

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

## **КВАЛІМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ РІВНЯ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ В АВІАЦІЙНОМУ ДВИГУНОБУДУВАННІ**

Для сучасного авіаційного двигунобудування в умовах ринкової економіки головною і вирішальною є проблема якості продукції, робіт і послуг. Найбільш доцільний шлях підвищення якості – управління нею, тобто планування, контроль і стимулювання підвищення якості в заданих розмірах і в задані терміни. Для цього необхідно мати повну і надійну інформацію про якість. Однак, крім повноти та надійності, інформація про якість повинна мати кількісну форму вираження, як найбільш зручну для використання в сучасних системах управління. Методи кількісного оцінювання якості різних об'єктів є предметом наукової дисципліни, яка має назву «кваліметрія».

Етапи аналізу рівня якості будь якої продукції включають: визначення номенклатури показників, які потрібні для оцінки; формування групи аналогів та встановлення значень їх показників; виділення базових зразків із групи аналогів; зіставлення оцінюваного зразка з базовими; обґрунтування рекомендацій та прийняття рішення.

При визначенні номенклатури показників розрізняють класифікаційні показники, що характеризують призначення та сферу застосування продукції; оціночні показники, що характеризують властивості продукції, пов'язані з її здатністю задовольняти задані потреби; обмежувальні показники, які виділяються в залежності від характеру задач, що розв'язуються, та мети оцінювання і використовуються як обмеження.

Аналоги – це авіаційні двигуни вітчизняного чи зарубіжного виробництва, подібні до оцінюваного об'єкта, що мають подібність функціонального призначення та умов застосування. В якості базових зразків виділяють кращі групи аналогів на основі методу попарного зіставлення послідовно всіх аналогів за значеннями оціночних показників. В результаті попарного зіставлення аналогів залишаються ті, кожен з яких не поступається жодному з оціночних показників, що залишилися за сукупністю. Аналоги, що залишилися, і є базовими зразками.

Зіставлення оцінюваного зразка з базовими здійснюється в декілька етапів. На першому етапі перевіряється відповідність створюваного двигуна та значень його показників стандартам, включаючи обмеження щодо показників безпеки, екології тощо; технічним умовам та іншим чинним нормативним документам. На другому етапі зіставляють оцінюваний двигун з кожним базовим зразком за значеннями оціночних показників з урахуванням методу попарного зіставлення.

У результаті зіставлення показників нового двигуна із сукупністю базових зразків формується висновок про рівень якості нової розробки: вона перевищує світовий рівень, відповідає світовому рівню чи поступається світовому рівню та іншим аналогам, що були вибрані в якості базових зразків.

На заключному етапі обґрунтовуються рекомендації та готують пропозиції для ухвалення рішення щодо постановки на виробництво та подальшого вдосконалення досліджуваного зразка.

Важливе значення у кваліметричному аналізі рівня якості продукції авіаційного двигунобудування має вибір показників якості, по яких проводяться дослідження. Такі показники можуть бути поділені на декілька груп. Група показників призначення характеризує ступінь відповідності виробу цільовому призначенню, а також властивості, що визначають основні функції, для виконання яких виріб призначений. До цієї групи відносяться показники: класифікаційні, функціональної та технічної ефективності, конструктивні, складу та структури продукції.

Найважливішою технічною характеристикою якості авіаційного двигуна є його надійність. Надійність оцінюється імовірнісними характеристиками, що ґрунтуються на статистичній обробці експериментальних даних.

Ще одну групу складають показники технологічності – сукупність властивостей конструкції виробу, що визначають можливість оптимізації витрат праці, часу, матеріальних, фінансових та інших ресурсів під час виготовлення, експлуатації та ремонту.

Кваліметричний аналіз рівня якості включає також розгляд показників ергономічності, екологічності, безпеки, рівня стандартизації та уніфікації, патентно-правові та економічні показники.

Як приклад, показники стандартизації та уніфікації характеризують насиченість виробу стандартними, уніфікованими та оригінальними частинами. Насиченість виробу уніфікованими частинами оцінюється таким показником, як коефіцієнт уніфікації:

$$K_y = \frac{N - N_0}{N} = \frac{N_y}{N}$$

де  $N$  – загальна кількість деталей і вузлів (складальних одиниць) у виробі, шт.;  $N_0$  – число оригінальних (неуніфікованих) деталей та вузлів у виробі, шт.;  $N_y$  – кількість уніфікованих деталей та вузлів у виробі, шт.

За отриманою сукупністю результатів аналізу визначається підсумковий комплексний показник технічного рівня виробу. Методика визначення підсумкового показника якості двигуна при комплексному методі оцінки та технічного рівня полягає в тому, що спочатку розраховують узагальнені показники кожної групи показників якості, прийнятих для оцінки технічного рівня виробу. При цьому узагальнений показник якості кожної групи знаходять як суму добутків всіх значень показників цієї групи, помножених на їхні коефіцієнти вагомості.

Після закінчення розрахунково-аналітичної роботи складається висновок про рівень якості нового авіаційного двигуна и ступінь його відповідності кращим (базовим) зразкам і розробляються рекомендації щодо постановки на виробництво та подальше вдосконалення.

*Степанов М.С.* НТУ «Харківський політехнічний інститут», Харків

*Полонський Л.Г.* ДУ «Житомирська політехніка», Житомир

*Іванова Л.П., Літовченко П.І.* Національна академія

Національної гвардії України, Харків, Україна

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛООВОГО ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІДИН НА ТОЧНІСТЬ ШЛІФУВАННЯ**

Значний вплив на точність і якість оброблюваної поверхні деталей при круглому шліфуванні надають температурні процеси, що відбуваються в технологічній системі верстату, а саме: в зоні різання, на повер-

хнях шліфувальної бабки, в опорах шпинделя, тощо. У круглошліфувальних верстатах використовуються декілька технологічних середовищ – мастильно-охолоджуюче (МОТС), робоча рідина гідростатичних підшипників шпинделя, робоча рідина в гідросистемі приводу стола. Ці рідини беруть участь у теплообміні і оказують значний вплив на тепловий стан технологічної системи, а отже і на точність оброблених деталей.

В даному дослідженні вирішувалася актуальна наукова задача – розробка наукових, методичних, алгоритмічних і програмних засобів технологічного забезпечення точності обробки шліфуванням за рахунок керування тепловим режимом технологічних рідин, що застосовуються у шліфувальних верстатах.

Під час досліджень виконано аналіз сучасного стану температурного впливу робочих рідин на деформацію елементів шліфувальних верстатів та визначено шляхи зниження теплових деформацій на точність обробки шліфуванням. Встановлено, що на даний час відсутні математичні моделі теплового режиму підсистеми застосування МОТС та не визначено вплив елементів підсистеми на тепловий стан МОТС у круглошліфувальних верстатах. Роль робочих рідин в формуванні температурних деформацій круглошліфувальних верстатів детально не досліджувалася.

Не вивчено можливості зниження інтенсивності передачі тепла від МОТС до деталей верстата та не встановлено тепловий вплив технологічних рідин шліфувальних верстатів на температурні деформації їхніх деталей і вузлів. Існуюча техніка застосування МОТС забезпечує ефективну дію безпосередньо у зоні шліфування, однак збільшує рівень температурних деформацій елементів технологічної системи внаслідок контакту нагрітої МОТС з деталями і вузлами верстата. При цьому точно не окреслені зони впливу нагрітої МОТС на елементи шліфувальної бабки, стола і інші деталі верстата.

Достатньо не досліджені можливості зниження кількості тепла в МОТС при шліфуванні шляхом використання нових технологічних схем шліфування із додатковими проміжними правкам шліфувального круга. Не розроблені рекомендації щодо зменшення теплових деформацій шляхом стабілізації температурного режиму МОТС і вдосконалення методів її очистки [1].

На основі проведеного аналізу предметної області розроблена математична модель теплообміну у підсистемі застосування МОТС круглошліфувального верстату, яка описує температурний режим МОТС у резервуарі охолодження МОТС верстата у робочому і перепускному режимах. Модель дозволяє оцінити стаціонарну і нестаціонарну темпе-

ратури МОТС у резервуарі в залежності від етапів циклу шліфування та розрахувати раціональний об'єм МОТС у системі її застосування.

В результаті розрахунково-аналітичних досліджень на основі моделі встановлено, що стабілізація теплового режиму МОТС в системі її застосування настає після 44–78 хвилин роботи шліфувального верстата при об'ємі резервуара 30–750 дм<sup>3</sup> і точності визначення величини усталеної температури 0,5–0,01 °С, що дозволяє використовувати результати досліджень при розробці алгоритмів і засобів компенсації температурних деформацій верстатів при обробці високоточних деталей.

Проаналізовано тепловий вплив повітряних потоків, що створюються рухомими елементами верстата, та розроблене рівняння теплового балансу від дії цих потоків на базові елементи технологічної системи верстата. Встановлено, що найбільший тепловий вплив здійснює робоча рідина підсистеми мащення підшипників шпинделя і МОТС, що попадає на зовнішні поверхні шліфувальної бабки. Для зменшення температурних деформацій рекомендовано виключати контакт розігрітої МОТС з елементами верстата, температурні деформації ДУ «Житомирська політехніка», Житомир яких можуть впливати на точність обробки, що можна забезпечити конструктивними методами.

Для зниження енергонасиченості круглошліфувальних верстатів запропоновано використовувати схему круглого шліфування з додатковими проміжними правками (ДПП) шліфувального круга [2]. Побудована математична модель процесу шліфування з ДПП, яка описує силові і теплові характеристики процесу шліфування та параметри і кількість ДПП. Виконано розрахунково-аналітичні дослідження, за результатами яких встановлено, що застосування схеми шліфування з ДПП дозволяє знизити навантаження елементів технологічної системи і дістатися зниження енергонасиченості процесу шліфування на 25–75%.

## Література

1. Степанов, М. С. Визначення забрудненості МОТС механічними домішками при шліфуванні валків прокатних станів / М. С. Степанов, Л. Г. Полонський, П. І. Літовченко, М. С. Іванова, В. О. Корнієнко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія : Технології в машинобудуванні : зб. наук.пр. – Харків : НТУ «ХПІ», 2023. – № 2 (8) 2023. – С. 52–58.

2. Stepanov, M. Determination of parameters of cylindrical grinding with additional intermediate dressing / M. Stepanov, L. Ivanova, P. Litovchenko, M. Ivanova, Y. Basova // Advances in Design, Simulation

*Тимофеева Л.А., Козловська І.П.* Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна

## **ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ УПРАВЛІНСЬКИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПОЛІПШЕННЯ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ ТА ПОСЛУГ**

Менеджмент як один із шляхів поліпшення якості:

- бенчмаркінг;
- реінженіринг;
- система загального обслуговування устаткування;
- система «упорядкування»;
- «шість сигм»;
- збалансована система показників;
- самооцінка.

Термін бенчмаркінг вперше з'явився в США. Його можна перевести як «оцінка висоти», «еталонне порівняння», «еталонна співставлення» Бенчмаркінг – це вивчення і впровадження методів управління успішно працюючих організацій шляхом порівняння з ними власної організації.

Бенчмаркінг можна поділити на два види: з ким проводити порівняння та що порівнюється. В залежності від того з ким проводиться порівняння бенчмаркінг можна: внутрішній, конкурентний, функціональний, загальний.

В залежності від того що порівнюється бенчмаркінг поділяється на: показників, процесів та стратегічний бенчмаркінг. Таким чином, суперництво між зацікавленими один в одному партнерами перетворюються на взаємовигідне співробітництво. Але це не завжди так, тому що коли хочуть порівняти процеси то вони, у більшості випадків, засекречені, щоб одержати інформацію про дані треба провести розвідування, що відноситься до промислового шпигунства.

Нині все більшої популярності набуває індивідуальний бенчмаркінг на основі самооцінки. Самооцінка – є сьогодні самостійним інструментом управління якістю будучи в той час різновидом зовнішнього індивідуального бенчмаркінгу.

Основні принципи бенчмаркінгу: планування; пошук; спостереження; аналіз; адаптація.

Таким чином, бенчмаркінг не зводиться тільки до аналізу конкурента, скоріше це спроба змінити звичні стереотипи. Його використовують не просто для копіювання технологій або продукції кращих підприємств конкурента, а для того щоб у себе зробити краще. Звичайно цей метод використовується для розробки стратегічних цілей, встановлення досяжних завдань, кращого розуміння ситуації в організації, стимулювання процесів творчого мислення. В основі реалізації бенчмаркінгу лежить цикл Демінга Е. – плануй – роби – перевіряй – дій.

*Тимофєєв С.С., Волошин Д.І.* Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКРИТТІВ ДЕТАЛЕЙ ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПРОЦЕСУ ШТАМПОВКИ**

Одним із шляхів підвищення якості процесу формоутворення складно рельєфних деталей транспортного призначення, які виготовляються із зміцнених корозійностійких нержавіючих сталей є керування величиною контактного тертя за рахунок використання мастил і покриттів.

На теперішній час для зменшення сил тертя при штампуванні важкодеформованих і малопластичних матеріалів використовують мастила, такі як оксалат Fe з розтопленим милом, лак ХВЛ-21, колоїдний водний препарат графіту В-О і В-Л, але це не завжди дозволяє одержати необхідну конфігурацію виробу в холодному стані із-за дефектів, що утворилися в зоні контактного тертя, а саме задирів тріщин та зносу поверхні. В якості покриттів при штамповці використовують солі м'яких матеріалів, таких як Zn, Cu і інші. На поверхню заготовки наносять покриття за допомогою хіміко-термічної обробки в розплавлених солях при температурі розплаву 450–500 °С.

Незважаючи на позитивний вплив таких покриттів є один суттєвий недолік, а саме, після витримки в розплавленому розчині солі міді, виробу охолоджують на повітрі, в результаті чого на поверхні утворюється шар закристалізованої солі. Цей шар утвореної солі потрібно потім видаляти розчином соляної кислоти, а це додаткова технологічна опе-

рація. Крім того температура розплавленої солі складає 500°C, що потребує забезпечення захисту працівників від опіків.

Як альтернатива даній технології нанесення покриттів пропонується використання в якості насичуючого середовища водяного розчину солей міді в складі яких є сульфіді, що дає можливість здійснювати термічну і хіміко-термічну обробки в одному технологічному циклі. В результаті такої обробки на поверхні заготовки або на поверхні штампу формується багато шарове покриття, яке в своєму складі має оксиди заліза сульфіді міді, а також шпінелі на основі хрому.

Таким чином, технологічні можливості штамповки з новим складом покриття визначались показниками штампуємості. Як показали проведені дослідження, коефіцієнт в зоні контактного тертя майже в три рази нижче при використанні запропонованої технології нанесення покриттів ніж з покриттями, які використовуються в даний час, будь то гальванічні або в розплавах солей.

При штамповці таких сталей як X18H9T, 12X18H10T граничний коефіцієнт витяжки збільшується в середньому на 30%.

Одержані результати дозволяють розширити технологічні можливості штамповки, особливо у випадку штамповки коліс цільнокатаних.

*Trishch R.M. Ukrainian Engineering Pedagogics Academy,  
Cherniak O.M. Ukraine National Aerospace  
University “Kharkiv Aviation Institute”, Kharkiv, Ukraine*

## **QUALITY ASSESSMENT OF THE OCCUPATIONAL SAFETY MANAGEMENT SYSTEM PROCESSES ACCORDING TO THE REQUIREMENTS OF THE ISO 45001:2018 INTERNATIONAL STANDARD**

The quality of our life is generally determined by many factors, such as education, healthcare, freedom of speech, and labour safety. The state of labour safety in a country can determine the attitude of society to such supreme values as human life. In this regard, it is important to ensure labour safety at the design, manufacturing and operation stages of products and to create safe technologies for the life and health of employees. To achieve the goals set in the organisation of safe working conditions, an active process of their assessment, analysis and continuous management is required.

The essence of labour safety management is the development of a system of measures that provide objective information about the object of management, for the development and adoption of management decisions to change its state to a safer one. Effective management requires more advanced and cost-effective methods of collecting and processing information. In practice, the assessment of working conditions is reduced to the identification of harmful and dangerous factors associated with labour activity and the establishment of a quantitative measure of the risk of health hazards. Therefore, there is a need for research and development of modern management solutions aimed at strengthening the protection of employees from the effects of harmful factors, including by improving methods of assessing working conditions and finding new criteria. Analysis of the requirements of ISO 45001:2018 confirms the need for assessment of the state of labour safety [1].

To evaluate the occupational health and safety management system, a study was conducted at an engineering company. A questionnaire with tests was developed and employees were interviewed. The results of the tests, which are presented in a qualitative format, allow us to assess the extent of a particular problem, but this is usually not enough to make management decisions. The data obtained contains a limited amount of information and is also subject to a grouping process, which further reduces its value.

A questionnaire was developed and administered to 83 employees of a machine-building enterprise. The test questions in the questionnaire are divided into three groups of tests.

The first group of tests relates to the working conditions in the workplace and their impact on employee health: “How has your health changed due to working conditions at work?”. The question involves 6 answer options: “Significantly deteriorated”; “Somewhat deteriorated”; “Depends on the season”; “Remained unchanged”; “Improved”; “Significantly improved”.

“Have you ever discharged from your job due to poor working conditions?”. The question involves 2 answer options: “Had to quit”; “Didn't have to quit”.

“Are you provided with special clothing, special shoes and other personal protective equipment? “. The question involves 4 answer options: “Yes, I am provided with”; “No, I am not provided with”; “I am provided with, but it could be better”; “I am not sufficiently provided with”.

“Are you satisfied with the working conditions at the workplace? “. The question involves 3 answer options: “Satisfies”; “It's hard to say”; “Not satisfies”.

“How do you assess the effectiveness of visual information at the enterprise? “.

The question involves 5 answer options: “Not satisfactory at all”; “Rather unsatisfactory than not”; “Satisfactory”; “Rather satisfactory than not”; “Quite satisfactory”.

The second test relates to the assessment of the occupational safety management system and compliance with safety standards: “How do you assess the state of the occupational health and safety management system at the enterprise? “. The question involves 4 answer options: “Excellent”; “Good”; “Satisfactory”; “Unsatisfactorily”.

“How are issues of improving working conditions at the enterprise resolved?“. The question involves 3 answer options: “All issues are resolved”; “Some issues are resolved”; “No issues not resolved”

The third group of tests relates to employee satisfaction with the legal occupational safety and health system and is represented by the following questions: “Do you know where to apply in case of violation of your rights in the field of labor safety? “. The question involves 3 answer options: “Yes, I know”; “No, I do not know”; “I think it's useless to do so”.

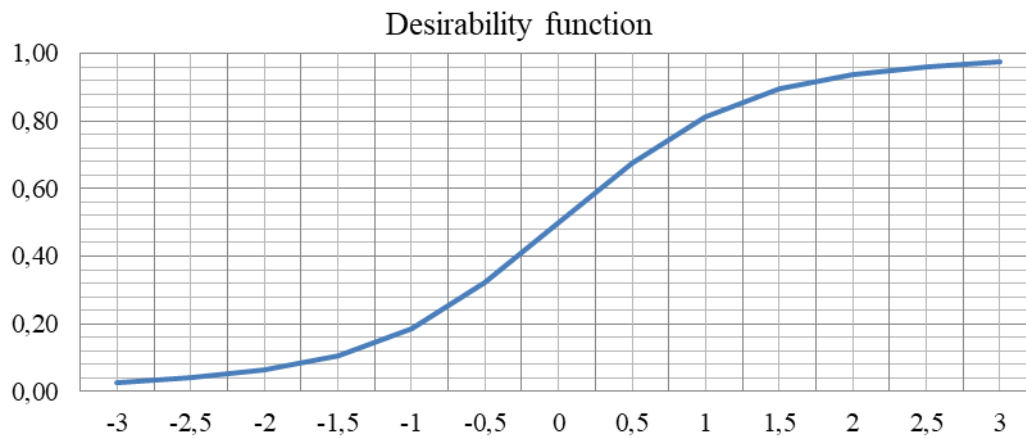
“Does the legislation provide an opportunity for employees to assert their interests in occupational safety? “. The question involves 2 answer options: “Yes, it provides”; “No, it does not provide”.

“Do you have enough information about your rights to safe working conditions (for example, about compensation for working in harmful and dangerous working conditions and overtime work, about work and rest regime rules, about provision of personal protective equipment, etc.)? “. The question involves 4 answer options: “Yes, I have enough information about it”; “Yes, I have information about it, but I would like to have more of it”; “Yes, I have information about it, but it is not enough”; “No, I don't have any information about it”.

To process the results of the research, it is proposed to use verbal scales that will allow to obtain quantitative estimates on the coded scale of the desirability function (Fig. 1). The desirability function is used to convert verbal ratings into a quantitative dimensionless scale. One of the marginal distributions of extreme statistics is proposed as a desirability function [2]:

$$F(x) = \exp(-\exp(-x)).$$

The result of the study is a methodology for obtaining quantitative assessments of the occupational health and safety management system with a large number of indicators. This methodology allows for the use of a wide range of mathematical tools for evaluation and management decision-making.



**Fig. 1 – Graphical representation of the desirability function**

A number of scientific tasks were solved:

- developing a quantitative-verbal matrix that allows for the conversion of various verbal assessments into a coded numerical scale. The matrix provides for the use of verbal scales with a number of rating options (from 2 to 7), which makes it universal;
- obtained numerical values of generalised multi-criteria assessments of tests of employees of an engineering enterprise and the system of ensuring safe working conditions at the enterprise within a representative sample (83 people);
- we have found a comprehensive assessment of the occupational safety management system at an engineering enterprise.

The developed methodology makes it possible to obtain numerical values of verbal assessments, which allows the use of mathematical statistics methods to solve practical management problems in occupational health and safety management systems.

## References

1. Cherniak, O. Methods of assessing the harmful factors affecting the health of workers of a machine-building enterprise / O. Cherniak, R. Trishch, A. Denysenko // Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies. – 2019. – №5 (1330). – P. 70–76.
2. Ginevičius, R. Quantitative assessment of quality management systems' processes / R. Ginevičius, R. Trishch, V. Petraškevičius // Economic Research-Ekonomiska Istraživanja. – 2015. – №1(28). – P. 1096–1110.

## **ПРОБЛЕМИ ВИПРОБУВАНЬ КОМПЛЕКСІВ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ КЕРУВАННЯ ТА РЕГУЛЮВАННЯ РУХУ ПОЇЗДІВ**

Випробування приладів та систем залізничної автоматики (у подальшому – об'єктів випробувань, ОВ), які здійснюють функції керування та регулювання руху поїздів, є достатньо актуальною та одночасно складною технічною задачею. Складність полягає в тому, що необхідно оцінювати такі параметри як функційна безпечність (ФБ) та надійність (Н), основи такої оцінки описані авторами в роботі [1]. Нормативно зазначені поняття визначені у чинному нормативному документі ДСТУ 4178-2003 [2]. Рівень цих вимог, що визначається [2], є надзвичайно високим – до  $0,14 \times 10^{-10}$  небезпечної відмови за одну годину. На допомогу розробникам (і випробувачам) існує галузева методика [3], у подальшому – методика. Однак існують певні негативні особливості зазначених документів, які суттєво ускладнюють формування експертних оцінок і суб'єктивізують підсумки експертиз.

Мета даної роботи є дослідження документів [2, 3], щоб проаналізувати ці особливості та сформулювати пропозиції, які б усунули виявлені недоліки.

Презентація матеріалу. Серед негативних особливостей [2] треба відзначити проблеми термінології. Зокрема, використані такі поняття як «аварійний стан», «працездатний стан», «справний стан», «відповідальна функція», «технологічний алгоритм», які не визначені у розділі 3. Існують певні неоднозначні технічні норми. Зокрема, наведені у 6.2.3 нормативи є занадто високими, ультимативними та технічно не обґрунтовані. Наявні вимоги розділу 11 стосуються тільки захищеності технічних засобів від електромагнітних завад, але цілком відсутні вимоги до цих технічних засобів як можливих джерел емісії електромагнітних завад. Необхідно також відзначити й певні особливості [2], які ускладнюють розрахунок параметрів надійності ОВ. Розрахунки базуються на отриманні та обробці інтенсивностей відмов комплектувальних елементів, які пропонується визначати за довідниками. Конкретні приклади таких довідників не наведені. Перевірка розрахунків щодо кількісних показників ФБ, Н пов'язана з інженерними обчисленнями дуже малих чисел. Відповідні розрахункові співвідношення наводяться у галузево-

му документі [3], яка містить певні сумнівні допущення та висновки. Зокрема, твердження, що мікроелектронні елементи є менш безпечними, ніж електромагнітні реле першого класу надійності, є безпідставним та потребує обґрунтування. Формула 5.20 методики щодо ймовірності небезпечної відмови  $Q_n(t) \approx \lambda t$  суттєво спрощує обчислення. Однак похибка обчислень за цією формулою, гарантовано надасть приблизний результат більш оптимістичним, ніж відповідний точний підрахунок. Усунення термінологічних розбіжностей [2] в цілому є достатньо простою задачею. Треба здійснити одне з двох: користуватися у тексті виключно термінами, які визначені у розділі 3, вилучивши зайві терміни, або додатково визначити не визначені раніше терміни, без застосування яких неможливо обійтися. Що стосується вимог функційної безпечності технічних засобів у разі дії електромагнітних завад, то його доцільно доповнити посиланнями до норм діючих міжнародних стандартів щодо електромагнітної сумісності. Що стосується методики [3], то вона може бути основою для розрахунків значень показників ФБ, Н. Покладемо у формулі 5.20 цієї методики  $t = 1$ . Тоді ймовірність відмови (у т.ч. небезпечної відмови) за одну годину

$$Q_n(1) \approx \lambda.$$

Багатьох недоліків [2] можна було б уникнути, застосовуючи стандарти з серії ІЕС 61508 «Функціональна безпечність електричних / електронних / програмованих електронних систем, пов'язаних з безпекою». Характерні ознаки пропонованих нормативних документів: менше прямих заборон, більше конкретних рекомендацій та більш лояльні (на декілька порядків) у порівнянні з [1] норми показників ФБ. Щодо пропонованої філософії систем контролювання для найвищого (четвертого) рівня безпеки: вона суттєво відрізняється від філософії побудови таких систем, що застосовуються вітчизняними розробниками засобів автоматики для потреб залізниці. Зокрема, там пропонується така побудова надійної системи, зокрема: канал контролювання не є аналогічним основному каналу, не дублює його функцій основного; зв'язок між основним і контролюючим каналами повинен бути мінімальним. Зазначений принцип побудови може слугувати основою для розробників та суттєво спростити процеси випробувань. Більш повно матеріал проаналізовано в [4], де зроблено більш широкий аналіз джерел та нормативних документів.

Висновок. Виявлені певні негативні термінологічні та технічні особливості нормативного документу ДСТУ 4178-2003 й сформульовані пропозиції, які б у разі їхнього застосування змогли б усунути ці нега-

тиви. В [4] надані рекомендації, співвідношення, розрахункові формули. Зокрема, відзначено актуальність застосування нових нормативних документів серії ІЕС 61508.

### **Література**

1. Мойсеєнко, В. І. Безпечність спеціалізованих комп'ютерних систем: навч. посіб. / В. І. Мойсеєнко, В. М. Бутенко. – Харків : УкрДУЗТ, 2021. – 112 с.

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

3. Методика доказу функціональної безпечності мікроелектронних комплексів систем керування та регулювання руху поїздів. – К. : Міністерство транспорту України. Державна адміністрація залізничного транспорту України, 2002

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

*Яковенко І.Є, Скороход М.С., Пермяков О.А.*  
НТУ «Харківський політехнічний інститут»,  
Харків, Україна

## **СЕРТИФІКАЦІЯ ВУЗЛІВ І АГРЕГАТІВ, ЯК ЕЛЕМЕНТ УПРАВЛІННЯ ЖИТТЕВОГО ЦИКЛУ ВЕРСТАТІВ МОДУЛЬНОЇ КОМПОНОВКИ**

Конкурентна боротьба в сучасному промисловому виробництві заснована на неухильному зростанні науково-технічного прогресу, який постійно підвищує вимоги до експлуатаційних, естетичних та ергономічних характеристик продукції, що випускається. Це, у свою чергу, веде до скорочення термінів реальної експлуатації виробів за рахунок її швидкого морального старіння, появи нових моделей у конкурентів, що потребує постійного вдосконалення технології виробництва, використання нового технологічного обладнання. Забезпечити

стійкість підприємства у конкурентній боротьбі можливо з одного боку, за рахунок високої продуктивності технологічного обладнання (для швидкого насичення ринку), а з іншого – за рахунок можливості швидкого його переналагодження/перекомпонування (для переходу на випуск нових моделей виробів), що викликає організаційно-технологічну та технічну суперечність.

Вирішення протиріч між технологічною гнучкістю та продуктивністю може йти на підставі створення модульних систем верстатів на основі певного модельного ряду базових комплектуючих елементів (технологічних модулів).

Устаткування, компонування якого засноване на модульному або агрегатному принципі, має низку істотних переваг у певних виробничих умовах, коли потрібно за короткий термін організувати масовий випуск виробів:

- точне забезпечення вимог виробництва при вирішенні конкретної технологічної задачі в одноваріантній постановці, що дозволяє практично повністю автоматизувати процес обробки;
- налагодженість конструкції, що значно покращує експлуатаційні характеристики, ремонтпридатність, взаємозамінність;
- можливість багаторазового використання частини агрегатів при зміні об'єкта виробництва та перекомпонування обладнання;
- скорочення термінів проектування та запуску у виробництво (термін освоєння та розробки нового верстата становить до 24 місяців для верстатів з використанням близько 25% уніфікованих елементів та до 10 місяців з використанням 75%).

Таким чином, агрегатно-модульний підхід до створення металорізального обладнання стає особливо актуальним у сучасних умовах виробництва, коли життєвий цикл об'єкта обробки постійно скорочується, а використовуване для його виробництва обладнання використовує лише незначну частину свого експлуатаційного ресурсу. Забезпечення технологічної гнучкості не переналагодженням, а перекомпонуванням – одна з очевидних переваг агрегатно-модульного принципу в верстатобудуванні.

Розвиток концепції «Індустрія 4.0», удосконалення CALS технологій, впровадження мехатроніки та широка дигіталізація виробництва дає можливість побудови інтегрованої системи інформаційної підтримки життєвого циклу виробу з використанням цифрових технологій для більш ефективної реалізації агрегатно-модульного принципу у верстатобудуванні. Укрупнено етапи життєвого циклу

спеціального верстата можна представити у вигляді послідовності *«маркетингові дослідження – проектування-підготовка виробництва – випуск – монтаж – експлуатація – утилізація»*.

Автори пропонують дещо змінену концепцію життєвого циклу складного технологічного обладнання, побудованого за агрегатно-модульним принципом *«проектування – аналіз сертифікованих модулів – підготовка виробництва – випуск – монтаж – експлуатація – демонтаж – сертифікація модулів – складування або утилізація»*. При такому підході обов'язковою є сертифікація (паспортизація) кожного технологічного модуля, незалежно від того виготовлений він на підприємстві або надійшов на виробництво, як комплектуючий елемент. У паспорті мають бути відображені конкретні технічні параметри, різні для кожного типу технологічного модуля (геометричні та кінематичні характеристики, жорсткість, програмовані рухи тощо). Конструктор на підставі паспортних даних (які можуть бути представлені і у форматі QR-коду), підбирає та резервує технологічні модулі, які здатні реалізувати запропоноване технологічне компонування (що значно спрощує процес проектування), а також проектує оригінальні системи та елементи верстата, які необхідні для його нормального функціонування. Застосування сучасних CAD/CAM систем дозволяє прискорити процес проектування компонувальних схем та змоделювати процес обробки, перевірити працездатність та вихідні характеристики обладнання, а також перевірити забезпечення заданих параметрів виробу, що обробляється, уточнити конструкторські параметри при необхідності. Після демонтажу верстата всі його модулі проходять сертифікацію на підприємстві виробника. Придатні для подальшої експлуатації модулі паспортизуються з новими даними, непридатні модулі утилізуються.

Такий підхід дозволяє продовжити термін експлуатації наявного агрегатованого обладнання, а також значно підвищити технологічну гнучкість за рахунок використання змінних паспортизованих модулів. Особливо ефективно його використання на підприємствах, що випускають портативні верстати агрегатно-модульної конструкції з коротким періодом експлуатації та необхідністю монтажу/демонтажу безпосередньо на об'єкті обробки.

## **Література**

1. Yakovenko, I. Prospects for the Development of Process Equipment in Aggregate-Modular Design for Sustainable Mechanical Engineering /

I. Yakovenko, A. Permyakov, S. Dobrotvorskiy, Yev. Basova, A. Kotliar, A. Zinchenko // Inter. J. of Mechatronics and Applied Mechanics. – 2023ю – № 13. – P. 145–156.

2. Yakovenko, I. Analysis and Synthesis of Mobile Portable Machine Tools Layouts. / I. Yakovenko, D. Shepeliev, V. Sharlay, A. Permyakov, S. Slipchenko, Yu. Havryliuk // Inter. Conf. on Reliable Systems Eng. (ICoRSE). – 2022. – P. 160–171.

*Яценко І.В., Ващенко В.А., Нікітенко П.І.* Черкаський державний технологічний університет, Черкаси,  
*Антонюк В.С.* Національний технічний університет України “КПІ ім. Ігоря Сікорського”, Київ, Україна

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОВЕРХНІ ТА ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ ВИРОБІВ З ОПТИЧНИХ КЕРАМІК ВІД ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОЇ ОБРОБКИ**

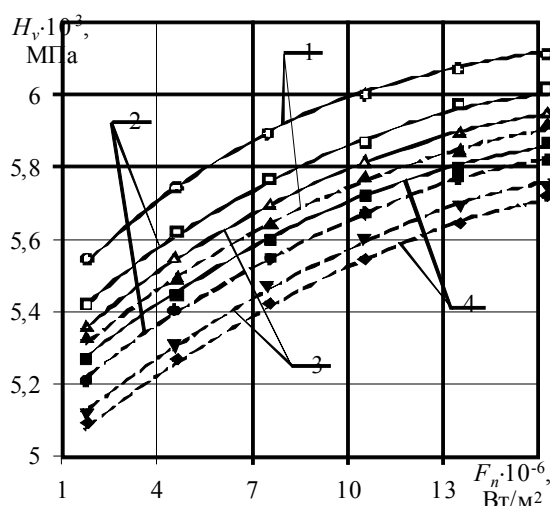
Експерименти з електронної обробки виробів з оптичних керамік (КО-1, КО-2, КО-4, КО-12) показали, що вони не можуть бути оплавлені у вакуумі внаслідок високої пружності парів. Так, попередній нагрів у вакуумі виробів з КО-2 та КО-4 навіть до 1100 К, призводить до розвинутого випаровування матеріалу, а при намаганні його оплавлення рідка фаза практично не утворюється. Термічний нагрів у вакуумі виробів з КО-2 та КО-12 вище 1100 К призводить до рекристалізації даних матеріалів і, як наслідок, різко збільшується поглинання у ІЧ-області спектру, тобто погіршуються основні експлуатаційно-технічні характеристики.

Таким чином, електронне оплавлення виробів з оптичних керамік у одних випадках фізично неможливе, а у інших – недоцільно з практичної точки зору.

Однак, як показали попередні дослідження, електронна обробка виробів з оптичної кераміки без попереднього нагріву призводить до підвищення їхньої мікротвердості, впорядкування структури та зміцнення за рахунок формування у при поверхневих шарах стискаючих напружень і тим самим до підвищення міцності виробів на ударні теплові впливи, яким вони піддаються в умовах експлуатації.

Електронно-мікроскопічний аналіз знімків поверхонь та поперечних шліфів оптичної кераміки до та після електронної обробки показує, що відбувається помітна зміна структури по глибині матеріалу (до 150–200 мкм), яка найбільш суттєво залежить від технологічних режимів обробки ( $F_n$ ,  $V$ ).

Встановлено, що вплив електронного потоку на оптичну кераміку ( $F_n = 10^6 - 1,5 \cdot 10^7$  Вт/м<sup>2</sup>,  $V = 10^{-3} - 1,5 \cdot 10^{-2}$  м/с) призводить до різного збільшення мікротвердості її поверхні в залежності від технологічних параметрів електронного потоку (рис. 1, 2): збільшення  $F_n$  від  $10^6$  Вт/м<sup>2</sup> до  $1,5 \cdot 10^7$  Вт/м<sup>2</sup> призводить до збільшення мікротвердості поверхні кераміки у 1,3–1,4 рази, а збільшення  $V$  від  $10^{-3}$  м/с до  $1,5 \cdot 10^{-2}$  м/с призводить до зменшення мікротвердості поверхні кераміки у 1,2–1,3 рази.



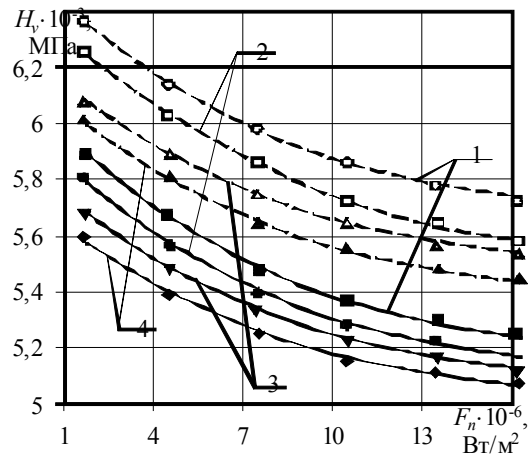
**Рис. 1 – Залежність мікротвердості поверхні оптичних керамік КО-12 (1), КО-2 (2), КО-1 (3) та КО-4 (4), які оброблені електронним потоком від його густини теплового впливу:**

—  $V = 6 \cdot 10^{-3}$  м/с; --  $V = 1,3 \cdot 10^{-2}$  м/с;

Δ, ○, □, ▲, ■, ◆, ▼, ● – експериментальні точки

Результати досліджень зміни мікротвердості по глибині оптичних керамік, оброблених електронним потоком доводять, що мікротвердість матеріалу усіх типів розглядуваних керамік достатньо швидко зменшується, прямуючи до свого значення для необроблюваного матеріалу. При цьому товщина зміцненого шару ( $\Delta$ ), де виникають основні структурні зміни та підвищується мікротвердість оброблюваного матеріалу для розглядуваних режимів обробки змінюється в діапазоні від 60–80 мкм до 200–220 мкм при товщинах оброблюваних виробів  $2 - 4 \cdot 10^{-3}$  м. Величина  $\Delta$  суттєво залежить як від природи кераміки, так й від технологічних режимів обробки: збільшення  $F_n$  від  $10^6$  Вт/м<sup>2</sup> до

$1,5 \cdot 10^7$  Вт/м<sup>2</sup> призводить до збільшення товщини зміцненого шару у 1,7–2,5 рази, а збільшення швидкості руху променя від  $10^{-3}$  м/с до  $1,5 \cdot 10^{-2}$  м/с призводить до зменшення товщини зміцненого шару у 1,5–2,3 рази.



**Рис. 2– Залежність мікротвердості поверхні оптичних керамік КО-12 (1), КО-2 (2), КО-1 (3) та КО-4 (4), які оброблені електронним потоком від швидкості його переміщення:**

—  $F_n = 2 \cdot 10^6$  Вт/м<sup>2</sup>; – –  $F_n = 1,2 \cdot 10^7$  Вт/м<sup>2</sup>;  
 $\Delta$ ,  $\circ$ ,  $\square$ ,  $\blacktriangle$ ,  $\blacksquare$ ,  $\blacklozenge$ ,  $\blacktriangledown$ ,  $\bullet$  – експериментальні точки

## Література

1. Yatsenko, I. V. Regularities of influence of electron-beam technology modes on the performance characteristics of optical elements / I. V. Yatsenko, V. A. Vashchenko, V. S. Antonyuk, O. V. Kyrychenko, O. M. Tishchenko // J. of Nano- and Electronic Physics. 2019. – Т. 11, № 2. – P. 02014-1– 02014-7.

2. Yatsenko, I. Improvement of technical and operational characteristics of the devices with optical elements by preliminary electron-beam processing of surfaces / I. Yatsenko, V. Antonyuk, O. Kyrychenko, V. Vashchenko // Machines. technologies. materials. 2016. – Вып. 6. – С. 47–50.

## ЗМІСТ

ПОСІБНИК «ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ВЛАСНІСТЬ. ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ», ЯК НАДІЙНИЙ ПОМІЧНИК НАУКОВЦЯМ ДЛЯ КОМЕРЦІАЛІЗАЦІЇ ЇХ ДОСЛІДЖЕНЬ <i>Даниленко Ю.А., Юрчишин О.Я.</i>	3
<i>Andreyko V., Shost V., Bondarenko M.</i> TEST BENCH FOR DETERMINING FORCE CHARACTERISTICS IN THE ZONE OF INTERACTION OF THE MEASURING PROBE WITH THE SURFACE TO BE INVESTIGATED	5
<i>Андрусенко С.М., Бондарчук В.М., Ночвай В.М., Полонський Л.Г., Яновський В.А.</i> ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МІСЬКОГО ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОДУГОВОЇ МЕТАЛІЗАЦІЇ	7
<i>Антіпін Є.В., Зяхор І.В., Руденко П.М., Дідковський О.В., Кавуніченко О.В., Левчук А.М., Шило Ю.А., Кольцов В.В.</i> ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ З'ЄДНАНЬ ЗАЛІЗНИЧНИХ РЕЙОК ПРИ КОНТАКТНОМУ СТИКОВОМУ ЗВАРЮВАННІ ОПЛАВЛЕННЯМ	11
<i>Бутенко В.М., Головка О.В.</i> ОСОБЛИВОСТІ НОРМУВАННЯ МЕТОДИК РОЗРАХУНКУ НАДІЙНОСТІ КОМПОНЕНТІВ З ЕЛЕКТРОННИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ	13
<i>Волошина Л.В., Роценко О.В.</i> ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ТА ЯКОСТІ ВИМІРІВ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ ПРЕЦИЗІЙНОГО КОМП'ЮТЕРНОГО ІНСТРУМЕНТУ	16
<i>Грінченко Г.С., Даниленко Ю.А.</i> 10 ПРИЧИН ЧОМУ ВАРТО ПРОЧИТАТИ НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК «НАУКОВО-ДОСЛІДНІ ОСНОВИ СТАНДАРТИЗАЦІЇ»	17
<i>Грушко В.І, Лещук О.О., Міцкевич Є.І, Лисаковський В.В., Бояринцев А.Ю.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ ТА ЛЮМІНЕСЦЕНТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АЛМАЗІВ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ АЛМАЗОВМІСНИХ ПРИЛАДІВ	19
<i>Девін Л.М., Пащенко Є.О., Стахнів М.Є., Ричев С.В., Нечипоренко В.М.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕПОКСИДНО-ПОЛІСІЛОКСАНОВОГО ПОКРИТТЯ НА ТЕМПЕРАТУРУ РІЗАННЯ ПРИ ТОЧИННІ ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ РІЗЦЯМИ З НТМ	22

<i>Клименко Г.П., Бородай Р.А., Григоренко Д.М., Станкова М.В.</i> ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ КОНСТРУКЦІЙ ЗБІРНИХ РІЗЦІВ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ПРОФІЛЮ КОЛІСНИХ ПАР	25
<i>Клименко Г.П., Захаров Є.О., Богатов Д.Е.</i> ОЦІНКА ВЛАСТИВОСТЕЙ ЯКОСТІ КОНСТРУКЦІЙ ЗБІРНИХ РІЗЦІВ ЛЯ ВАЖКОГО МАШИНОБУДУВАННЯ НА СТАДІЇ ПРОЄКТУВАННЯ	27
<i>Клименко С.А., Манохін А.С., Копейкіна М.Ю., Клименко С.Ан., Мельнійчук Ю.О., Xin Li, Fei Teng, Junjie Zhang, Tao Sun</i> МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕРИВЧАСТОГО РІЗАННЯ ЗАГАРТОВАНОЇ СТАЛІ ІНСТРУМЕНТОМ З PcbN	30
<i>Клименко С.А., Мельнійчук Ю.О., Копейкіна М.Ю., Манохін А.С., Клименко С.Ан., Чумак А.О.</i> ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРСПЕКТИВНИХ СКЛАДІВ PVD-ПОКРИТТІВ ДЛЯ ІНСТРУМЕНТІВ ІЗ ПКНБ ПРИ ОБРОБЦІ ВАЖКООБРОБЛЮВАНИХ МАТЕРІАЛІВ	32
<i>Ковальов В.Д., Васильченко Я.В., Корчма Д.О., Властов П.А., Шаповалов М.К.</i> ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕГРАЛЬНО-КВАДРАТИЧНОГО КРИТЕРІЮ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ РЕГУЛЯТОРІВ ШВИДКОСТІ МЕХАТРОННОГО МОДУЛЯ	35
<i>Комарова Г.Л., Сергєєв Д.М.</i> ВПРОВАДЖЕННЯ 3D МЕТРОЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЮ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ПРЕЦИЗІЙНИХ КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ	37
<i>Лавріненко В.І., Полторацький В.Г., Смоквина В.В., Петасюк Г.А., Солод В.Ю., Кашинський І.С., Гумаров О.В.</i> СУЧАСНІ РОЗРОБКИ В НАНЕСЕННІ ТА ЗАСТОСУВАННІ ЗАХИСНИХ НІТРИДНИХ ПОКРИТТІВ НА АБРАЗИВНІ ТА ЛЕЗОВІ ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ	40
<i>Лавріненко В.І., Солод В.Ю., Кашинський І.С., Тищенко В.А.</i> СУЧАСНІ РОЗРОБКИ, ПОВ'ЯЗАНІ ІЗ ПРЕЦИЗІЙНОЮ ПРАВКОЮ АЛМАЗНИХ КРУГІВ	45
<i>Логінова Ю.В.</i> РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ОЦІНКИ РОЗПІЗНАВАННЯ РИЗИКІВ У ЗВАРЮВАЛЬНОМУ ВИРОБНИЦТВІ. СТВОРЕННЯ РЕЄСТРУ І РАНЖУВАННЯ РИЗИКІВ В ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЯХ	48

<i>Людвіченко О.П., Лещук О.О., Гордєєв С.О., Петруша І.А.</i> МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВОГО СТАНУ МОДЕРНІЗОВАНОЇ КОМІРКИ АПАРАТА ВИСОКОГО ТИСКУ ПРИ ВИРОЩУВАННІ КРИСТАЛІВ НІТРИДУ ГАЛІЮ	51
<i>Манохін А. С., Клименко С. А., Клименко С. Ан., Конєйкіна М. Ю.</i> МОДЕЛЮВАННЯ СТРУКТУРИ КОМПОЗИТУ ІЗ ПОРОШКІВ З ПОКРИТТЯМ	54
<i>Мельник Т.В., Ругаленко С.І.</i> СТАНДАРТИЗАЦІЯ МОВ ПРОГРАМУВАННЯ	56
<i>Олійник Н.О., Ільницька Г.Д., Петасюк Г.А., Базалій Г.А.</i> СОРТУВАННЯ ПОРОШКІВ СИНТЕТИЧНОГО АЛМАЗУ ІЗ ЗАЛУЧЕННЯМ ФЛОТАЦІЙНОГО РОЗДІЛЕННЯ – ПЕРСПЕКТИВНИЙ СПОСІБ ПОКРАЩЕННЯ ЇХ ЯКОСТІ	59
<i>Павлова Г.О.</i> СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ПІДТВЕРДЖЕННЯ ВІДПОВІДНОСТІ (СЕРТИФІКАЦІЇ) В МАШИНОБУДІВНОМУ ВИРОБНИЦТВІ	61
<i>Панчук О.В., Гарбуз О.С.</i> УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ПОСЛУГ	62
<i>Полотняк С.Б., Лещук О.О.</i> ЧИСЕЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯМ ВПЛИВУ КУТА НАХИЛУ СКОШЕНОЇ БІЧНОЇ ПОВЕРХНІ ПУАНСОНА ШЕСТИПУАНСОННОГО АВТ НА РІВЕНЬ ДОСЯЖНОГО ТИСКУ ТА ГРАНИЧНИЙ СТАН ПУАНСОНІВ	64
<i>Посвятенко Е.К., Посвятенко Н.І., Головащук М.В.</i> ПЕРЕДУМОВИ СТАНОВЛЕННЯ НАУКОВО-ВИРОБНИЧОГО НАПРЯМКУ "ІНЖЕНЕРІЯ ДИСКРЕТНИХ ПОВЕРХОНЬ"	67
<i>Рукавішников П.В., Федосєєнко В.Ю.</i> РЕІНЖИНІРИНГ ЯК ІНСТРУМЕНТ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ	73
<i>Рябченко С.В., Федоренко В.Т., Сільченко Я.Л.</i> ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ШЛІФУВАЛЬНИХ КРУГІВ ІЗ ХРОМИСТОГО КОРУНДУ ПРИ ОБРОБЦІ НАПЛАВОК З НІКЕЛЕВИХ СПЛАВІВ	74
<i>Salenko A., Habusian H.</i> DISTRIBUTION OF HARMFUL EMISSIONS DURING THE PERFORMANCE OF HYDRO ABRASIVE CUTTING IN LABORATORY AND WORKSHOP CONDITIONS	77

<i>Саленко О.Ф., Орел В.М., Шлик С., Габузян Г.В., Костенко А.О, Цуркан Д.О.</i> ОБУМОВЛЕНІСТЬ ЯКОСТІ ТА МІЦНОСТІ FDM-ВИРОБІВ ТЕМПЕРАТУРАМИ ЕКСТРУДУВАННЯ ПЛАСТИКУ	80
<i>Сахнюк І.О., Тітова Г.М., Федосєєва І.К., Рудак Н.П.</i> РОЛЬ СТАНДАРТІВ У ВПРОВАДЖЕННІ ПРИНЦИПІВ СТАЛОГО РОЗВИТКУ	85
<i>Смоквина В.В., Ільницька Г.Д., Лавріненко В.І., Логінова О.Б., Зайцева І.М., Тимошенко В.В., Котинська Л.Й.</i> АЛМАЗНІ ШЛІФПОРОШКИ СИНТЕТИЧНОГО АЛМАЗУ ДЛЯ ШЛІФУВАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ	88
<i>Степаненко С.М.</i> КВАЛІМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ РІВНЯ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ В АВІАЦІЙНОМУ ДВИГУНОБУДУВАННІ	90
<i>Степанов М.С., Полонський Л.Г., Іванова Л.П., Літовченко П.І.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛООВОГО ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІДИН НА ТОЧНІСТЬ ШЛІФУВАННЯ	92
<i>Тимофєєва Л.А., Козловська І.П.</i> ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ УПРАВЛІНСЬКИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПОЛІПШЕННЯ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ ТА ПОСЛУГ	95
<i>Тимофєєв С.С., Волошин Д.І.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКРИТТІВ ДЕТАЛЕЙ ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПРОЦЕСУ ШТАМПОВКИ	96
<i>Trishch R.M., Cherniak O.M.</i> QUALITY ASSESSMENT OF THE OCCUPATIONAL SAFETY MANAGEMENT SYSTEM PROCESSES ACCORDING TO THE REQUIREMENTS OF THE ISO 45001:2018 INTERNATIONAL STANDARD	97
<i>Чуб С.Г., Головка О.В., Чуб І.М.</i> ПРОБЛЕМИ ВИПРОБУВАНЬ КОМПЛЕКСІВ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ КЕРУВАННЯ ТА РЕГУЛЮВАННЯ РУХУ ПОЇЗДІВ	101
<i>Яковенко І.Є, Скороход М.С., Пермяков О.А.</i> СЕРТИФІКАЦІЯ ВУЗЛІВ І АГРЕГАТІВ, ЯК ЕЛЕМЕНТ УПРАВЛІННЯ ЖИТТЕВОГО ЦИКЛУ ВЕРСТАТІВ МОДУЛЬНОЇ КОМПОНОВКИ	103

*Яценко І.В., Ващенко В.А., Нікітенко П.І., Антонюк В.С.*

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОВЕРХНІ ТА  
ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ ВИРОБІВ З ОПТИЧНИХ КЕРАМІК ВІД  
ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОЇ  
ОБРОБКИ

106

# ЯКІСТЬ, СТАНДАРТИЗАЦІЯ, КОНТРОЛЬ: ТЕОРІЯ ТА ПРАКТИКА

Матеріали 23-ї Міжнародної науково-практичної конференції

27–28 вересня 2023 р.

Комп'ютерна верстка: Копеїкіна М.Ю.

Підписано до друку 25.09.2023

Формат 60×84×1/16.

Ум. вид. арк. 11.

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

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