



ВСЕУКРАЇНСЬКА ГРОМАДСЬКА ОРГАНІЗАЦІЯ
АСОЦІАЦІЯ ТЕХНОЛОГІВ-МАШИНОБУДІВНИКІВ
УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНА ІНСПЕКЦІЯ УКРАЇНИ З ПИТАНЬ ЗАХИСТУ
ПРАВ СПОЖИВАЧІВ

ДП УКРАЇНСЬКИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ І
НАВЧАЛЬНИЙ ЦЕНТР ПРОБЛЕМ СТАНДАРТИЗАЦІЇ,
СЕРТИФІКАЦІЇ ТА ЯКОСТІ

ДП «УКРМЕТРТЕСТСТАНДАРТ»

ІНСТИТУТ НАДТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ ІМ. В.М. БАКУЛЯ НАН УКРАЇНИ
ТЕХНІЧНИЙ ЦЕНТР НАН УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

СОЮЗ ІНЖЕНЕРІВ-МЕХАНІКІВ НТУ УКРАЇНИ «КПІ»

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

ЯКІСТЬ, СТАНДАРТИЗАЦІЯ, КОНТРОЛЬ: ТЕОРІЯ ТА ПРАКТИКА



Матеріали 24-ї Міжнародної науково-практичної конференції

24–26 вересня 2024 р.

Житомир –



– 2024

Якість, стандартизація, контроль: теорія та практика: Матеріали 24-ї Міжнародної науково-практичної конференції, 24–26 вересня 2024 р. – Київ: АТМ України, 2024. – 144 с.
ISBN 978-617-581-644-8

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

USE OF ADAPTIVE ALGORITHMS IN SYSTEMS FOR MONITORING THE PARAMETERS OF INTERBLOCK ELECTRICAL CONNECTIONS

The quality of interblock electrical connections plays a crucial role in ensuring the reliability and efficiency of electronic systems. With the increase in the density and complexity of structures used in electronic devices, there is a need to improve methods for controlling the parameters of such connections. One of the key aspects of the control of interblock electrical connections is the development of mathematical models that adequately reflect the electrical parameters of the connections, such as electrical conductivity, insulation resistance and dielectric losses [1].

The use of adaptive algorithms, such as the Levenberg-Marquardt algorithm and the Adam algorithm, will allow for dynamic adjustment of control models depending on operating conditions [2]. Such algorithms ensure that the model parameters are updated quickly, which is critical for effective detection of deviations in real time. This, in turn, reduces the risk of malfunctions.

The polarization of insulation materials and other electrical parameters are modeled using different approaches, taking into account both electronic and ionic components. To ensure maximum accuracy of control operations, it is important to take into account the exponential nature of changes in the characteristics of insulation materials under the influence of temperature and mechanical loads.

Integration of adaptive algorithms into the process of monitoring the parameters of interblock electrical connections will provide a significant increase in the accuracy and speed of assessing their condition. This approach will not only simplify the control process, but also ensure the stability and reliability of the system. This is important for maintaining a high level of product quality and operational safety of control equipment.

References

1. Bukovskiy, O. Automation of the Process of Monitoring the Parameters of Interblock Electrical Connections / O. Bukovskiy, S. Vysloukh // *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytet. Technical Sciences.* – 2024. – № 331.1. – P. 325–329.

2. Khouri, P.M.P. Design and automation of electrical cable harnesses testing system / P.M.P. Khouri, M.J. Walsh, C.Brandl, M. Rybachuk // Microelectron. Reliab. – 2021. – 120. – 114097.

Hao Zhang, Hongyu Fu, Stelmakh Oleksandr, Zhihan Fan, School of Mechanical Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing, China
Коленов С. Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

ЕФЕКТИ В МАСТИЛЬНИХ ШАРАХ, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬ ТЕРТЯ ТА ЗНОС ПРУЖНО-ДЕФОРМОВАНИХ ПОВЕРХОНЬ

На теперішній час існує декілька гіпотез тертя – Табора-Боудена-Крагельського, Тіссена-Накаями, Костецького Б.І. та інших видатних дослідників. Ці теорії багато у чому пояснили ефекти, притаманні процесу тертя, хоча цілий ряд питань потребують подальшого вивчення. Тому, створення інших підходів та вдосконалення існуючих уявлень, щодо явищ у зоні контактування при терті, є актуальним і потребують розвитку з нових позицій.

У цій роботі запропоновано вакуумний механізм адгезійно-деформаційного зношування високонавантаженого одиночного лінійного контакту та екструзійний механізм формування «масляного клину».

Розглянемо одиночний лінійний трибологічний контакт модельного обертового вала, який своєю поверхнею, утворюючою циліндр, реалізує тертя ковзання по плоскій поверхні модельного плоского підшипника. Такий лінійний контакт повністю занурювався в різні мастильні матеріали – моторне, гідравлічне та інші технічні масла, палива – авіаційний гас, дизельне паливо, бензин, гліцерин, вода, повітря тощо і під навантаженням N і зі швидкістю ω проводилося тертя. При цьому вимірювався коефіцієнт тертя та температура поверхні валу в процесі тертя. Особливістю конструкції використаної машин тертя є те, що фізична модель трибологічного контакту практично повністю відповідає теоретичному уявленню про нього, а саме: протягом одного оберту вала контакт завжди повний і постійний, відповідно – контактні напруження також постійні, а вимірювання сили тертя не призводять до неконтрольованих зміщень фактичного контакту в радіальному напрямку.

Після завершення тертя вимірювались знос доріжки на плоскому нерухомому зразку, вивчались розподіл продуктів зношування і стан поверхонь тертя. Реалізація коректного однолінійного контакту дозволила встановити ряд важливих закономірностей:

- при обертанні вала і плавному навантаженні контакту (розрахункові значення напружень створювались від 0 до $\sigma_{\max} = 2000$ МПа) при ковзанні високоеластичних матеріалів (сталь ШХ15, 59–62 НРС) і високополірованих поверхонь ($Ra < 20$ нм) при малих швидкостях (до 0,5 м/с) у всіх рідинах завжди спостерігався момент, коли вимірювана сила тертя і температура поверхні вала одночасно стрімко зростали, а потім різко падали, після чого вони змінювалися майже синхронно. При цьому середня температура поверхні вала була практично на одному рівні, а тренд середніх значень сили тертя зменшувався, очевидно, через зношування поверхні модельного підшипника, що призводило до збільшення площі контакту та відповідно до зменшення контактних напружень в ньому;
- після випробувань на наднизьких і низьких швидкостях тертя продукти зносу навколо доріжки тертя за рахунок дії потужних гідродинамічних течій розподілялися наступним чином: в області входу в контакт завжди спостерігалася більша кількість продуктів зносу, ніж в області виходу, де вони практично були відсутні поблизу доріжки тертя;
- після першого сплеску сили тертя і температури та припинення тертя на поверхні плаского зразка формувалася незначна доріжка у вигляді тонкої смужки шириною 0,10–0,75 мм, на якій з'являлись вузли адгезії у вигляді кратерів, як початкові акти адгезійного зчеплення поверхонь тертя. Відрив матеріалу з поверхні нерухомого плоского підшипника завжди відбувався в області виходу вала, тобто у дифузорній пружно-деформованій зоні контакту. Після більш тривалого періоду тертя ширина доріжки тертя збільшувалась і характеризується більш глибокими кратерами від адгезійних руйнувань, які розташовувалися в тій же дифузорній пружно-деформованій області контакту;
- у зоні вхідного конфузорної пружно-деформованого контактування такого модельного радіального підшипника ковзання таких виривів матеріалу не виявлено, однак завжди спостерігалось досить рівні і тонкі паралельні подряпини в напрямку тертя, що нагадують характерні деформаційні борозенки мікрорізання від дії часток, які раніше були адгезійно вирвані з поверхні підшипника ковзання в дифузорній

зоні, частково підрізались, утворюючи продукти зношення, а рештою цього новоутворення різало плаский зразок;

- утворення множинних мікробульбашок спостерігалось у контактній зоні у всіх рідинах під час тертя, як у стані спокою при підведенні лише навантаження чи при його знятті без руху, так і при дуже малих швидкостях ковзання: – кінетика утворення кавітаційної порожнини обумовлена розрідженням всередині пружно-деформованої зони контакту, що знаходиться ближче до його дифузornoї області. Це явище виникає одразу та миттєво після початку тертя та під час стаціонарного тертя ковзання як при наднизьких швидкостях і навантаженнях, так і при більших; – зі збільшенням навантаження, швидкості ковзання і в'язкості середовища кавітаційна каверна, що завжди виникає всередині пружно-деформованої області контакту, близь її дифузornoї зони, збільшувалася в напрямку тертя, та мала розміри більше ширини контакту на порядки, виходячи далеко за її межі; – на межі цієї порожнини візуально спостерігалось пульсуюче утворення мікробульбашок, частина з яких анігулювалась, а інша частина слідувала за потоком рідини і відбивала його траєкторії в приконтактній зоні;

- на відміну від добре спостережуваної кавітації внаслідок розрідження, екструзія практично непомітна, оскільки зустрічна течія суцільної рідини відбувається всередині тієї ж самої гомогенної рідини. Високодисперсні порошокві маркери, розміщені на верхній частині нерухомого валу перед початком тертя, дозволяють спостерігати інтенсивні рециркуляційні потоки в протилежному напрямку тертя зі швидкістю, що значно перевищує швидкість руху валу під час першого півоберту. Безпосередні вимірювання гідростатичного тиску в мастильному шарі виконано шляхом сканування вузькою щілиною довжиною 0,05 мм і шириною 1 мм паралельно пружно-деформованому лінійному контакту малоеластичних матеріалів: – максимум тиску в області зближення і мінімум в області розходження контакту надтонкої плівки відбуваються одночасно, в той час як тиск в мастильному шарі в середині контакту завжди дорівнює атмосферному тиску p_0 ; – тиск в мастильному шарі під час тертя є наслідком пружних деформаційних процесів витискання в області зближення надтонкої плівки і розрідження цієї плівки в області розходження пружно-деформованих поверхонь. Зі збільшенням осьового навантаження при дуже низькій постійній швидкості ковзання тиск в мастильному шарі зростає від атмосферного p_0 до максимального P_{\max} в області надтонкої плівки, що сходиться, потім різко зменшується до атмосфер-

ного p_0 і далі падає до мінімального P_{\min} , після чого знову зростає до атмосферного тиску.

Вбачається, що існує обернено пропорційна залежність: якщо P_{\max} представити як $P_{\max} = K \cdot p_0$, то мінімальний тиск $P_{\min} = p_0/K$, де $K > 1$; – при контактних напруженнях 100 МПа і більше, при реальних дуже низьких, середніх і високих швидкостях ковзання, в тому числі починаючи зі стану спокою, тиск в мастильному шарі може досягати таких низьких значень, що між пружно-деформованими поверхнями локально створюється глибокий вакуум, і мастильні шари в області розбіжності поверхонь надтонкі адсорбційні плівки перетворюються у пару і виникають усі умови для квазісухого тертя та адгезійно-деформаційного зношування.

На завершення потрібно відмітити, що для вивчення ефектів у контактній зоні під час тертя потрібно створювати і використовувати «прозорі» прилади. Впровадження таких приладів і нових методик вивчення тертя в загальноосвітню систему є дуже актуальним і необхідним завданням.

Hongyu Fu, Hao Zhang, Oleksandr Stelmakh
School of Mechanical Engineering,
Beijing Institute of Technology, Beijing, China

STRATEGY FOR SUPPRESSING LOOSENESS OF CONNECTING ROD SMALL END BUSHING IN HIGH POWER-DENSITY DIESEL ENGINE

Addressing the critical challenge of connecting rod small end bushing loosening is imperative in high intensity diesel engine development. This study focuses on the investigation of spinning tin-bronze bushing, exploring the effects of lubrication condition, interference magnitude, and mechanical loads on bushing looseness, and elucidating the underlying failure mechanism (Fig. 1). Under starved lubrication conditions, the bushing undergoes elevated local temperatures during engine operation, leading to increased thermal stress and plastic deformation. Subsequently, during the cooling process, the heightened plastic deformation causes a notable decrease in the normal bonding force between the bushing and the small end of connecting rod. Hence, it is imperative to enhance the lubrication conditions of the bushing-piston pin friction pair to mitigate local high temperature caused by poor lubrication.

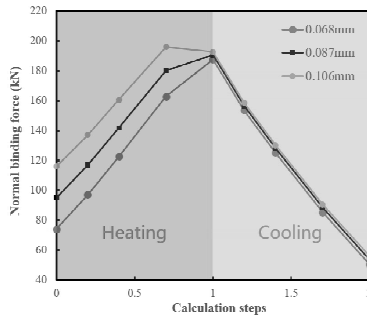


Fig. 1 – Variation in normal binding force during the heating-cooling process under starved lubrication conditions with different magnitudes of interference

The initial normal binding force of the connecting rod small end bushing assembly increases linearly with the interference magnitude. However, after exposure to high local temperatures, the residual normal binding force with different interferences remains essentially equal. Nonetheless, higher interference magnitude results in greater maximum plastic strain. Thus, to prevent bushing loosening, it's prudent to minimize the interference fit while ensuring the normal binding force meets requirements. Mechanical loads scarcely impact the maximum Von-Mises stress at the oil bore edges of the bushing, yet they notably curtail the compression stress reduction range on the inner surface at the bushing's bottom (Fig. 2).

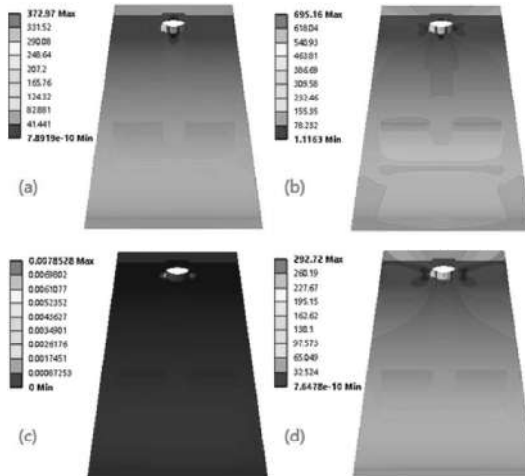


Fig. 2 – Von-Mises stress distribution of the copper-nickel-tin bushing after interference fit (a), under starved lubrication conditions (b), after cooling (d) and its plastic strain (c)

This suggests that mechanical loads effectively thwart the decline in normal bonding force, thereby boosting its operational reliability. The research findings suggest that adequate lubrication, optimal interference magnitude, and appropriate mechanical loads play significant roles in preventing bushing loosening. Moreover, it is recommended to consider adopting copper-nickel-tin bushing with enhanced mechanical properties as an effective solution to mitigate the issue of connecting rod small end bushing loosening in high intensity diesel engines. The simulation results demonstrate that, under identical operating conditions, the copper-nickel-tin bushing exhibits reduced plastic deformation and increased normal contact forces in comparison to the spinning tin-bronze bushing.

Liu Yansong, Zhang Hao, Stelmakh Oleksandr
School of Mechanical Engineering,
Beijing Institute of Technology, Beijing, China

A STUDY ON THE LUBRICATING PROPERTIES OF VARIOUS BASE OILS IN THE PRESENCE OF HYDROGEN EMULSIONS

As global environmental pollution intensifies and dual-carbon policies are implemented, the application of new energy sources in the automotive industry is becoming increasingly widespread, with hydrogen internal combustion engines emerging as a key development direction. As an essential component of traditional internal combustion engines, engine oil also plays a crucial role in hydrogen internal combustion engines. Therefore, studying issues related to engine oil in hydrogen internal combustion engines is not only of significant practical importance but also holds considerable research value, which will contribute to the further advancement of hydrogen energy technology [1–3]. This study aims to systematically evaluate the lubricating efficiency of different base oil emulsions in a hydrogen-rich environment. The research began by emulsifying base oils with precisely controlled concentrations of hydrogen and water vapor using a custom-designed oil emulsification setup. A series of friction and wear tests were then conducted using an RTEC multifunctional friction and wear tester to simulate real-world conditions. To gain a deeper understanding of the wear mechanisms in this environment, the research team performed comprehensive morphological and elemental analyses of the worn surfaces. The results indicate that hydrogen significantly impacts the lubricating performance of Class IV base

oil water emulsions, with a notable enhancement in lubrication performance under hydrogen-rich conditions. Furthermore, Class V 5-1 base oils demonstrated the most outstanding lubricating performance in the presence of hydrogen, outperforming other base oil types. High-magnification scanning electron microscope (SEM) observations revealed a protective friction film on the wear scars of all samples, which is likely a key factor in the improved lubrication performance. Additional X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) analysis showed that these friction films contain metal sulfides, which may help reduce friction coefficients and enhance lubrication effectiveness [4, 5]. These findings provide valuable insights for developing performance standards for lubricants used in hydrogen-fueled internal combustion engines and lay a solid foundation for future research in this field.

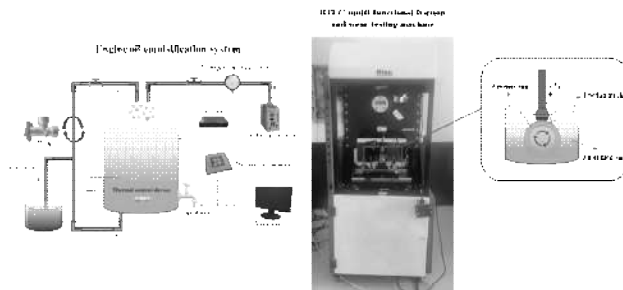


Fig. 1 – Research-related equipment for emulsification setups and friction testers

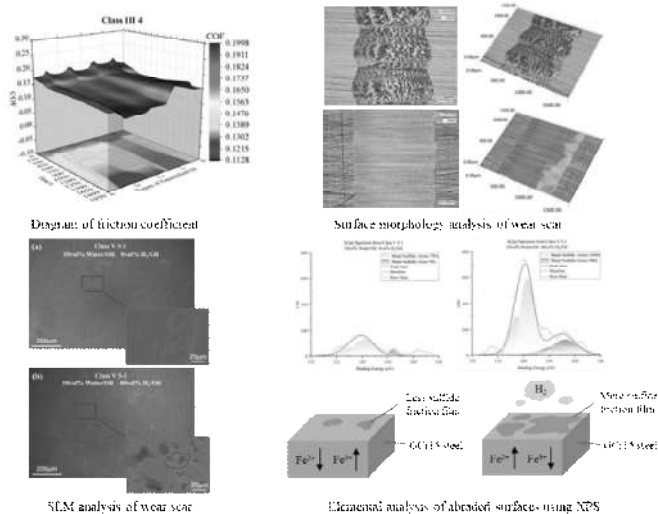


Fig. 2 – Surface morphology and elemental analysis mechanism diagrams of samples

References

1. Dash, S.K. Hydrogen Fuel for Future Mobility: Challenges and Future Aspects[J/OL] / S.K. Dash, S. Chakraborty, M. Roccotelli // Sustainability. – 2022. – 14(14): 8285.
2. Du, H. What drives CO₂ emissions from the transport sector? A linkage analysis[J/OL] / H. Du, Z. Chen, G.B. Peng // Energy. – 2019. – 175: 195-204.
3. Senthil, Kumar M. Studies on the effect of hydrogen induction on performance, emission and combustion behaviour of a WCO emulsion based dual fuel engine[J/OL] / Kumar M. Senthil, M. Jaikumar // Inter. J. of Hydrogen Energy. – 2014. – 39(32): 18440-18450.
4. Huang, F. Effect of sulfide films formed on X65 steel surface on hydrogen permeation in H₂S environments[J/OL] / F. Huang, G.P. Cheng, X.Y. Zhao // Inter. J. of Hydrogen Energy. – 2017. – 42(7): 4561-4570.
5. Luo, B. Vapor-deposited iron sulfide films as a novel hydrogen permeation barrier for steel: Deposition condition, defect effect, and hydrogen diffusion mechanism[J/OL] / B. Luo, P. Bai, T. An // Inter. J. of Hydrogen Energy. – 2018. – 43(32): 15564-15574.

Mastenko I., Stelmakh N. National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

Komada P. Lublin University of Technology, Lublin, Poland

AUTOMATED SYSTEM FOR QUALITY CONTROL OF PRODUCT PARAMETERS USING COMPUTER VISION BASED ON NEURAL NETWORKS

In a world where innovation and precision are becoming fundamental principles, the quality of production technologies and products is an integral part of progress. Whether it is in production halls or research laboratories, ensuring the highest quality standards is a matter of urgency. Industrial inspection plays a crucial role in ensuring these standards across all industries. In this paper, we take a closer look at the importance of quality control and the key role it plays in maintaining it.

Quality means more than just meeting specifications or achieving perfection, it includes accuracy, reliability, consistency and meeting customer

expectations. In manufacturing, it means that products work as intended, have minimal defects and meet strict standards.

As technology advances, industrial control also continues to evolve. From Industry 4.0 and the Internet of Things (IoT) to the introduction of artificial intelligence and machine learning, the future of this industry promises to be full of innovation and collaboration. Modern sensors, automated measurement systems and real-time data analytics are revolutionising the way we perform, analyse and use measurement and control. A real challenge for manufacturers is quality control of organic products, as each sample is unique and when an employee visually analyses defects, a number of factors inevitably arise that increase the risk of losing the effectiveness of such control, such as operator fatigue, subjectivity in choosing the acceptable level of product deviation, and so on. That is why the use of computer vision methods in determining the quality class of products is gaining more and more development and popularity in production.

Computer Vision (CV) [1] is aimed at modelling and simulating the human vision process using software and hardware. It is also a key theory for the development of artificial systems that can extract information from images. Numerous studies in the field of computer vision are available, yet they do not yet demonstrate a standardised method for assessing the quality of different types of objects. The specifics of each object require individual customisation of the computer vision system, which includes not only the purchase of expensive equipment, but also thorough research. In addition, to achieve maximum efficiency, the system needs to obtain the best possible input data [2].

The purpose of the study is to develop an automated product quality control system, namely, to develop a computer vision module for monitoring the quality parameters of the actual geometric state of the product and comparing it with the expected (trained) state using the mathematical apparatus of neural networks. The process involves capturing images of the product using a camera located perpendicular to the product plane, followed by capturing two-dimensional data for analysis. As an example, the study considers the process of manufacturing a product of organic origin, namely wooden tubes for household needs on automated conveyor lines. It is proposed to perform initial inspection of products on the production line with their subsequent sorting using a computer vision system. The main parameters for control are selected from those that occur most frequently, namely: surface pigmentation; defects after the cutting operation; compliance with sealing parameters; presence of chips and cracks; presence of a film inside the product [3].

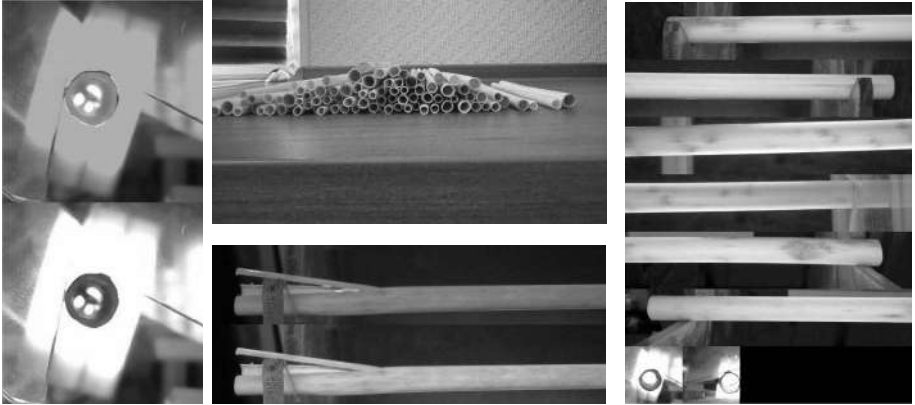


Fig. 1 – Fragments of product defects of organic origin

To solve this task, it is necessary to work out a set of key theoretical issues, including the choice of hardware for data acquisition and processing, determining the initial coordinate system, setting the base plane of the underlying surface, splitting images into levels to increase processing speed, as well as determining the spatial coordinates of points on images obtained from a stereo system, and other tasks.

Reference

1. Stelmakh, N. Features of the implementation of computer vision in the problems of automated product quality control / N. Stelmakh, I. Mastenko, O. Sulima, T. Rudyk // *Inf., automat., pomiary w gosp. i ochr. srod.* – 2023. – 13(1)/ – P. 38-41
2. Ковалюк, Д.О. Реалізація систем контролю якості продукції на основі машинного зору та web-технологій / Д.О. Ковалюк, О.О. Ковалюк, В.С. Малішевський // *Вісник НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського»*. Серія: Хім. Інж., еколог. та ресурсозб. – 2024. – (1), 28–34.
3. Stelmakh, N.V. Classification and detection of defects in tubular products using machine vision / N.V. Stelmakh, I.V. Mastenko // *Вч. зап. ТНУ ім. В.І. Вернадського*. Серія: Техн. науки. – 2024. – Т. 35 (74), № 2. – С. 167–172.

Penghao Niu, Hao Zhang, Stelmakh Oleksandr
School of Mechanical Engineering,
Beijing Institute of Technology, Beijing, China

STUDY ON OIL SUPPLY AND LUBRICATION CHARACTERISTICS OF THE CONROD SMALL END BEARING WITH SPLASH LUBRICATION

The swing friction pair of the conrod small end bearing is one of the crucial components in the power system of internal combustion engines [1, 2]. Lubrication and heat dissipation directly impact the power output and stability of the engine. With the development of production and industrial levels, there are increasingly higher requirements for the performance indicators of internal combustion engines. In the development process of high-power density diesel engines [3], to meet the design criteria of lightweight and compactness, the swing friction pair of the conrod small end bearing typically adopts the splash oil supply for bearing lubrication. Harsh operating conditions and subpar oil supply performance can easily lead to failure issues with the conrod small end bearing [4].

This study focuses on the conrod small end bearing of a six-cylinder V-type high-power density diesel engine. The research findings indicate that the oil collection efficiency of the original conrod small end bearing is at a relatively low level, which fails to provide sufficient lubricating oil to the conrod small end bearing. The distribution of lubricating oil suggests that a significant amount of available lubricating oil remains inadequately collected. Due to the kinematic characteristics of the conrod small end bearing and the inertia of the lubricating oil, the oil inlet rates of the oil collection bores exhibit the fluctuating pattern. Additionally, the dual-bores structure allows the lubricating oil entering bores to flow and supplement each other, resulting in a negative total oil inlet for one of the oil bores. After the flow field reaches a quasi-steady state, the total amount of lubricating oil in the bearing oil groove stabilizes around a certain value. Moreover, with the increase in speed, the average value of the total lubricating oil gradually decreases. Pressure oil supply conditions cannot substitute for splash oil supply conditions in evaluating the lubrication situation of the conrod small end bearing.

Under the same engine speed conditions, the addition of a C-shaped oil collection structure significantly increases the average oil inlet rate and total oil inlet of the conrod small end bearing, thus demonstrating improved

oil collection and storage performance (fig. 1). Simultaneously, the optimized conrod small end bearing exhibits better lubricating oil film filling effect and faster lubricating oil renewal efficiency (fig. 2). It shows a lower average oil film temperature compared to the original conrod small end bearing. Additionally, there is a more pronounced lubricating oil cooling region near the oil bores, indicating better bearing lubrication and heat dissipation performance. Therefore, the addition of a C-shaped oil collection structure can effectively improve oil supply conditions, reduce bearing wear, and enhance bearing life.

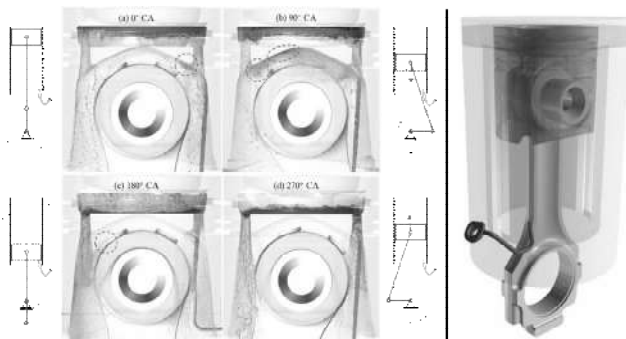


Fig. 1 – Splash oil supply model of conrod small end bearing

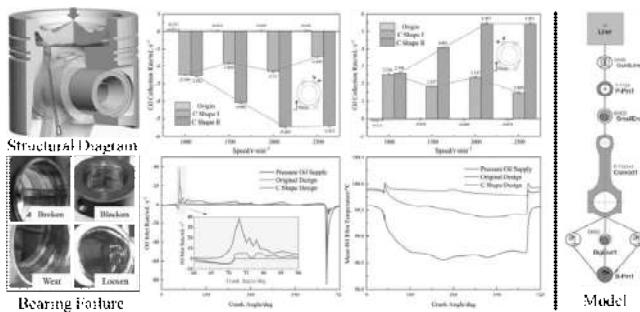


Fig. 2 – Lubrication model of conrod small end bearing

References

1. Li, L. Combustion and emission characteristics of diesel engine fueled with diesel/biodiesel/pentanol fuel blends[J] / L. Li, J.X. Wang, Z. Wang et al. // *Fuel*. – 2015. – 156: 211-218.
2. Beatrice, C. Experimental analysis of functional requirements to exceed the 100 kW/l in high-speed light-duty diesel engines[J] / C. Beatrice, G. Di Blasio, G. Belgiorno // *Fuel*. – 2017. – 207: 591-601.

3. Wang, Z. The Development Trend of Internal Combustion Engine[J] / Z. Wang, X. Pan, W. Zhang et al. // J. of Phys.: Conf. Ser. – 2020.– 1626(1).

4. Prasad, N.S. Technologies for High Power Density Diesel Engines[J] / N.S. Prasad, N. Ganesh, A. Kumarasamy // Defence Sci. J. – 2017. – 67(4): 370-374.

Wang Xinbo, Zhang Hao, Stelmakh Oleksandr
School of mechanical engineering,
Beijing institute of technology, Beijing, China

LUBRICATION PERFORMANCE AND WEAR CHARACTERISTICS OF HYDROGEN-CONTAINING EMULSIFIED LIPID-BASED BASE OILS

Hydrogen internal combustion engines are up-and-coming power devices in the current energy field [1–3]. However, engine lubricants are prone to contact with hydrogen and water vapor during operation [4], and the impact of these gases on the tribological properties of the lubricants has not yet been clearly studied. The tribological behavior and chemical state of friction surfaces in emulsified base oils with varying hydrogen content were analyzed using optical microscopy, a contact-type 3D profilometer, scanning electron microscopy (SEM), and X-ray photoelectron spectroscopy (XPS). The results show that emulsified base oils with higher hydrogen content are more effective in reducing the coefficient of friction and minimizing wear. This superior friction and wear reduction performance is primarily due to the ability of hydrogen to inhibit the complete oxidation of the friction surface during contact, resulting in the formation of a composite friction oxidation film consisting of Fe, FeO, FeOOH, and Fe₂O₃. Through the use of optical microscopy and 3D profilometry, researchers were able to precisely observe and measure surface changes after the friction process. SEM provided a more detailed view of the microstructural changes on the worn surfaces, helping to identify wear patterns, while XPS offered insights into the chemical changes occurring on the friction surface. The formation of a protective oxidation film was confirmed to be the main factor in reducing wear and friction, as this layer prevents direct metal-to-metal contact and controls the progression of wear. The presence of hydrogen in the emulsified oil played a crucial role in these outcomes. Hydrogen has the

unique ability to suppress the full oxidation of the metal surfaces involved in friction, reducing the formation of harmful oxides and thus mitigating wear. This study provides essential insights into the mechanisms of wear reduction in hydrogen-related and water-lubricated environments, such as in hydrogen-fueled internal combustion engines. Understanding how hydrogen-containing emulsified oils perform under such conditions helps in designing more efficient lubrication systems, prolonging the life of engine components, and improving overall operational efficiency. The findings establish a critical foundation for further advancements in oil lubrication in hydrogen-based systems.

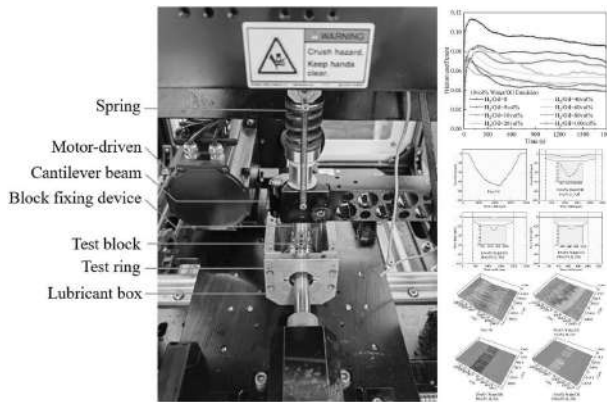


Fig. 1 – Friction testing apparatus and lubrication performance of hydrogen-containing emulsified lubricating oil

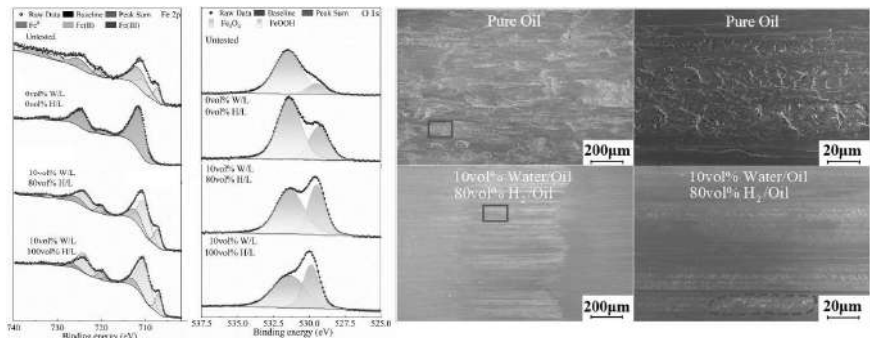


Fig. 2 – XPS and SEM characterization of the wear reduction mechanism of hydrogen-containing emulsified lubricating oil

Reference

1. Dash, S.K. Hydrogen Fuel for Future Mobility: Challenges and Future Aspects / S.K. Dash, S. Chakraborty, M. Roccotelli, U.K. Sahu // Sustainability. – 2022;14.
2. Hosseini, S.E. An overview of development and challenges in hydrogen powered vehicles / S.E. Hosseini, B. Butler // Inter. J. of Green Energy. – 2020;17:13–37.
3. Gurz, M. The meeting of hydrogen and automotive: A review / M. Gurz, E. Baltacioglu, Y. Hames, K. Kaya // Inter. J. of Hydrogen Energy. – 2017;42:23334-46.
4. Dyson, C.J. Simulating the Misting of Lubricant in the Piston Assembly of an Automotive Gasoline Engine: The Effect of Viscosity Modifiers and Other Key Lubricant Components / C.J. Dyson, M. Priest, P.M. Lee // Tribol. Lett. – 2022;70.

Zhihan Fan, Stelmakh Oleksandr, Hao Zhang
School of Mechanical Engineering,
Beijing Institute of Technology, Beijing, China

EFFECT OF CHEVRON SHAPE TEXTURE GEOMETRIES AND DISTRIBUTION ON HYDRODYNAMIC LUBRICATION OF JOURNAL BEARINGS

Approximately 30% of the world's primary energy is consumed annually due to friction. Journal bearings are one of the most critical components in rotational machinery. Enhancing the performance of sliding bearing friction pairs holds particular significance for reducing carbon emissions [1]. Wear and inadequate lubrication are significant factors leading to their failure. Surface texturing is widely employed in journal bearings due to its ability to retain lubricants and accommodate micro-scale and nano-scale wear debris during operation [2]. A mathematical model in this study is established for calculating lubrication in sliding bearings and the JFO boundary conditions [3, 4] is utilized to simulate changes in cavitation. Additionally, an optimal algorithm to accelerate the convergence of the program is adopted [5]. The research explores the effects of different configurations of chevron textures such as the number of rows, angles, depths, and spatial distribution – on key friction performance indicators, including the coefficient of friction, end leakage, maximum peak pressure, and shaft ec-

centricity (fig. 1). The results indicate that under identical operating conditions, an optimal texture depth exists that contributes to minimize shaft eccentricity (fig. 2). Both eccentricity and coefficient of friction increase with the number of texture rows, while end leakage decreases. For different texture rows, there is an optimal angle for maximizing bearing capacity. Textures located near the pressure peak of the oil film can reduce bearing capacity, while those scattered at the initial establishment of inlet pressure are beneficial for lowering peak pressure. Conversely, textures situated in the cavitation zone behind the oil pressure region hardly impact on maximum film pressure.

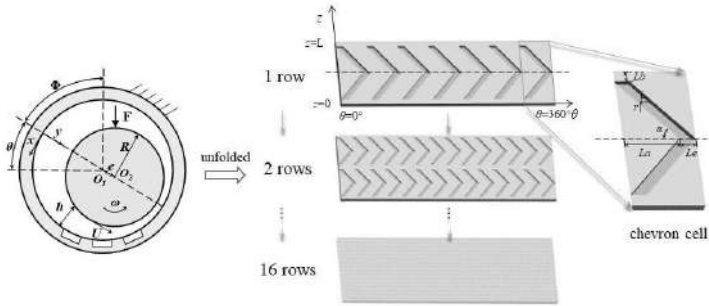


Fig. 1 – Schematic diagram of chevron textures on the journal bearing

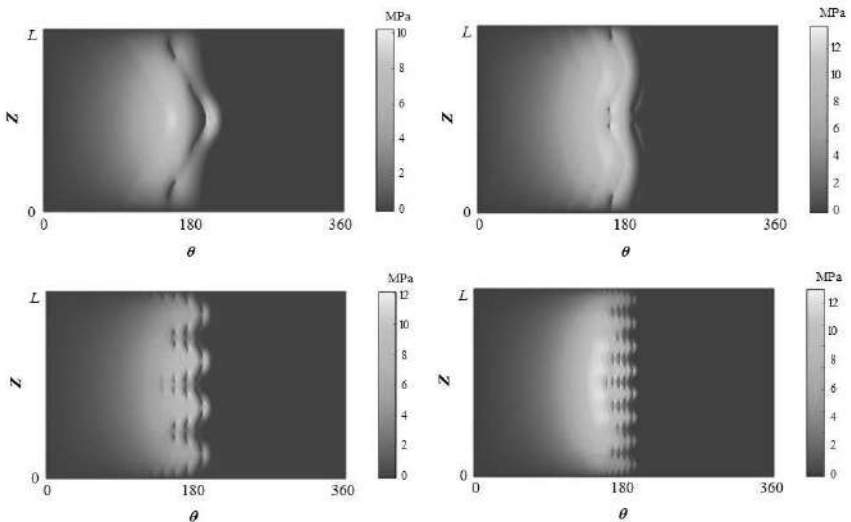


Fig. 2 – Pressure distribution on bearing surface with different texture rows

Reference

1. Vignesh, G. Numerical investigation and optimization of the geometric profiles of dimple bottom structure in frictional interaction pairs [J] / G. Vignesh, D. Barik, P. Sharma et al. // Tribol. Inter. – 2023. – 185: 108530.
2. Schnell, G. Experimental investigations on the friction behavior of partially femtosecond laser-textured journal bearing shells [J] / G. Schnell, H. Studemund, R. Thomas et al. / Tribol. Inter. – 2023. – 188: 108764.
3. Jakobsson, B. The Finite Journal Bearing, Considering Vaporization [J] / B. Jakobsson // Transact. of Chalm. Univers. of Technol. – 1957. – 190.
4. Olsson, K.-O. Cavitation in Dynamically loaded Bearings, F / K.-O. Olsson. – 1965 [C].
5. Fesanghary, M. A modification of the switch function in the Elrod cavitation algorithm [J] / M. Fesanghary, M. Khonsari // J. of Tribol. – 2011. – 133(2).

Адаменко Ю.І., Майданюк С.В., Плівак О.А.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний університет
імені Ігоря сікорського», Київ, Україна

ПРОБЛЕМИ ТЕХНІЧНОЇ ТЕРМІНОЛОГІЇ У ПІДГОТОВЦІ ІНЖЕНЕРІВ-МЕХАНІКІВ

Розвиток освіти, науки, техніки, промислового виробництва, кооперації між підприємствами, а також наукові дослідження, міжнародна співпраця, технічне й комерційне співробітництво потребують єдиної, зручної, логічної української технічної термінології. При цьому технічні терміни мають чітко й однозначно позначати наукове чи спеціальне поняття. Особливої ваги формування технічної термінології набуває в процесі гармонізації національних технічних, нормативних та правових актів з міжнародними. Становлення сучасної технічної термінології передбачає її упорядкування з урахуванням історичних, національних, інтернаціональних та політичних чинників і вироблення її оптимального варіанту [1].

Метою даної роботи є бажання привернути увагу спеціалістів до проблем технічної термінології, які виникають під час підготовки інженерів механічних спеціальностей. Зупинимось на термінах та визначеннях, наведених у національних стандартах, оскільки стандарти-

зована термінологія є обов'язковою для вживання в офіційних, наукових та виробничих текстах.

Однією з ознак технічної термінології є точність термінів, адже термін повинен якнайповніше передавати суть поняття, яке він позначає. Проте, на наш погляд, ця ознака витримується не завжди. Зараз є чинним стандарт «ДСТУ ISO 2768-1:2001 Основні допуски. Частина 1. Допуски на лінійні та кутові розміри без спеціального позначення допусків», який є перекладом стандарту «ISO 2768-1:1989 General tolerances Part 1: Tolerances for linear and angular dimensions without individual tolerance indications» [2]. На наш погляд назва національного стандарту не зовсім вірно відображає зміст оригінального документу. На кресленику деталі є відповідальні, найбільш точні розміри, на які допуски встановлюють індивідуально, наприклад, $\varnothing 20H7$, $\varnothing 20k6$ тощо. А на всі інші (другорядні розміри) в технічних вимогах робиться загальний запис, наприклад за середнім класом допуску, ISO 2768-m. На наш погляд, більш правильною є назва «Загальні допуски. Частина 1. Допуски для лінійних і кутових розмірів без індивідуальних позначень допусків». Саме така назва використовується для нового стандарту ДСТУ EN 22768-1:2022.

В деяких випадках переклад назв стандартів з оригіналу є не зовсім точним, що ускладнює його розуміння, наприклад, в стандартах «ДСТУ EN ISO 2320:2022 Кріпильні вироби. Гайки сталеві самоконтрольні. Функціональні властивості», «ДСТУ EN 3834:2022 Аерокосмічна серія. Анкерні самоконтрольні плавальні двовушкові гайки зі ступінчастою розточкою, з корозійностійкої сталі ...» термін «самоконтрольні» можна зрозуміти так, що гайки себе контролюють, проте мова йде про їх самостопоріння. В останньому стандарті замість терміну «плавальні» на наш погляд доцільно було б використати термін «плаваючі».

У деяких випадках у засосуванні термінів не дотримуються принципи однозначності та відсутності синонімів. Наприклад, у чинних стандартах для визначення однакових понять одночасно використовуються два терміни «допуски розміщення» (ДСТУ ГОСТ 2.308:2013 ЄСКД. Зазначення допусків форми та розміщення поверхонь) та «допуски розташування» (ДСТУ EN ISO 1101:2018 Технічні вимоги до геометричних характеристик продукції. Визначення геометричних допусків. Допуски форми, орієнтації, розташування та биття). Крім того в ДСТУ EN ISO 1101:2018 використовується термін «допуски орієнтації» а в ДСТУ ISO 10578:2014 термін «допуски орієнтування» (ДСТУ ISO 10578:2014 Кресленики технічні. Допуски орієнтування та

розташування. Виступне поле допуску). На наш погляд, доцільним є використання термінів «допуски розташування» та «допуски орієнтації».

В ДСТУ ISO 14660-1-2002 подано визначення: «Дійсна поверхня виробу (real surfac of a workpiece) – це набір елементів, які фізично існують і відокремлюють весь виріб від навколишнього середовища». В ДСТУ 2413-94 та в ДСТУ 2498-94 дано визначення «Реальна поверхня (real surface) – це поверхня, яка обмежує тіло та відділяє його від навколишнього середовища». Таким чином у різних стандартах одночасно використовується два терміни «дійсна поверхня» та «реальна поверхня» і не вказується чи є ці терміни рівнозначними, чи варто перевагу надавати одному з них.

Зараз в Україні одночасно діють стандарти «ДСТУ 2497-94 Основні норми взаємозамінності. Різьба і різьбові з'єднання. Терміни та визначення», у якому використовується термін «різьба» та «ДСТУ ISO 5408:2006 Нарізі циліндричні. Словник термінів», у якому усі визначення наведені з використанням терміну «нарізь». Очевидно тому, в різних стандартах по сьогоднішній день використовуються різні терміни, наприклад, «ДСТУ ГОСТ 16093:2018 Основні норми взаємозамінності. Нарізь метрична. Допуски. Посадки із зазором», «ДСТУ EN ISO 1478:2022 Різьба саморізів» та ін. Подібна ситуація склалась також з використанням термінів «підшипник» та «вальниця».

Іншою проблемою є також актуальність та відслідковування термінів. Наприклад, у ДСТУ 2413-94 висотний параметр Rz – це висота нерівностей профілю по десяти точках, а в ДСТУ ISO 4287:2012 параметр Rz має іншу назву і зміст, а саме «максимальна висота профілю». При цьому відсутні рекомендації щодо пріоритетності використання цих параметрів.

Таким чином, становлення національної технічної термінології у галузі механіки та машинобудування потребує уваги та участі усіх зацікавлених сторін – спеціалістів зі стандартизації, лінгвістів, виробників, науковців, освітян, а також професійних державних та громадських організацій.

Література

1. Фурт, Д.В. Термінологія : навч. посібн. / Д.В. Фурт, Л.А. Дмитрук. – Кривий Ріг : ДонНУЕТ, 2020. 172 с.
2. Інформаційне забезпечення у сфері технічного регулювання ДП «УКРМЕТРТЕСТСТАНДАРТ». – <https://csm.kiev.ua/>

ТВЕРДІСТЬ – ВАЖЛИВА ХАРАКТЕРИСТИКА ЯКОСТІ PCBN КОМПОЗИТІВ

Полікристалічні надтверді матеріали на основі cBN відомі на світовому ринку як інструментальні PCBN матеріали. Основна сфера застосування – різальний інструмент для чорнової, напівчистої і чистої обробки загартованих вуглецевих і високолегованих сталей, високоміцних і зносостійких чавунів, високотвердих наплавлених і напилених покриттів, жароміцних спецсплавів. Завдяки високим експлуатаційним властивостям вони довели свою високу ефективність при обробці, зокрема, різанні різних важкооброблюваних матеріалів [1].

Одним з найважливіших показників якості PCBN композитів є твердість. У публікаціях і каталогах фірм-виробників PCBN продуктів приводяться значення твердості композитів, які можуть відрізнитись у кілька разів (від 20 до 100 ГПа). Це пов'язано з застосування різних методів досліджень. Як правило, це інденування пірамідами Віккерса, або Кнупа при навантаження на індентор від 0,2 до 30 кг.

В даній роботі досліджували твердість PCBN композитів, одержаних при термобаричному спіканні порошкових сумішей cBN–TiC та cBN–TiC–Al з дисперсністю компонентів 1–2 мкм. Твердість визначали з використанням пірамід Кнупа НК (навантаження 1, 2, 3 і 5 кг) та Віккерса HV (навантаження 3, 10 і 30 кг). Твердість визначали за формулами $HK = 14,23 \cdot P/d^2$, $HV = 1,854 \cdot P/d_{cp}^2$, де P – навантаження на індентор, d – розмір діагоналі відбитка. Для кожного зразка провели не менше, ніж 5 випробувань. Проводилась статистична обробка результатів досліджень (середнє значення, стандартне відхилення, довірчий інтервал при довірчій ймовірності 70 %). В табл. 1 приведені результати досліджень.

Таблиця 1 – Результати випробувань по визначенню твердості PCBN композитів систем cBN–TiC та cBN–TiC–Al

Система	Твердість, ГПа						
	НК1	НК2	НК3	НК5	HV3	HV10	HV30
cBN–TiC	40±3	–	30±1	28±1	41±1	36±2	30±2
cBN–TiC–Al	–	48±3	–	31±1	–	42±1	36±2

Діагоналі відбитка вимірюють після зняття навантаження. Якщо модуль пружності досліджуваного матеріалу високий (у PCBN композитів знаходиться в межах 600–900 ГПа), а навантаження на індентор недостатнє, то не виконується умова повної пластичної деформації матеріалу під алмазною пірамідою. Після зняття навантаження пружно деформована область відбитка частково відновлює свою попередню форму, зменшуючи при цьому довжину діагоналей відбитка. Чим більша пружна складова деформації при індентуванні, тим більша величина визначеної твердості.

На рис. 1 приведені фотографії відбитків твердості при випробуванні PCBN композитів системи cBN–TiC–Al з використанням піраміди Кнупа (а) при навантаженні на індентор 5 кг (5 НК) та Віккерса (б) при навантаженні на індентор 30 кг (30 НV). Мікроруйнувань досліджуваного зразку в області відбитку не видно.

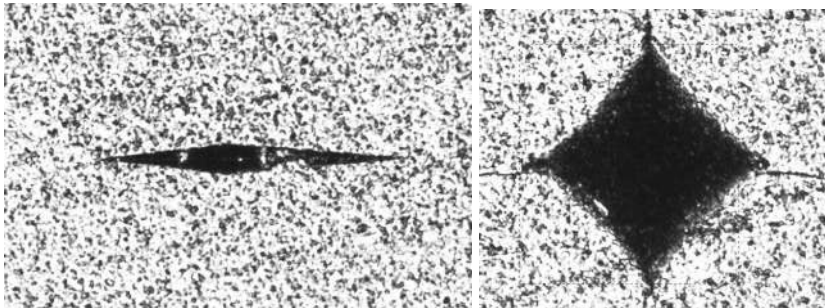


Рис. 1 – Фотографії відбитків твердості при випробуванні PCBN композитів системи cBN–TiC–Al

Так яка насправді твердість досліджуваних композитів і яка методика найбільш адекватна для визначенні твердості PCBN матеріалів? Піраміда Кнупа найбільше підходить при індентуванні крихких і твердих матеріалів, тому що дозволяє отримувати відбитки з мінімальними руйнуваннями при великому навантаженні. Збільшення навантаження на індентор необхідно для зменшення впливу різних значень неврахованої роботи пружної деформації на величину твердості при зміні умов випробувань. При великих навантаженнях, вище 2 кг, цей ефект для алмазу, кубічного нітриду бору та інших крихких матеріалів незначний.

Для досліджуваних композитів найбільш адекватним є значення твердості, визначених з використанням піраміди Кнупа при навантаженні на індентор 5 кг. Для PCBN композиту системи cBN–TiC 5 НК = 28 ± 1 ГПа, а для композиту системи cBN–TiC–Al 5 НК = 31 ± 1 ГПа.

Література

1. Клименко, С.А. Сверхтвердые материалы. Т. 5: Обработка материалов лезвийным инструментом / С.А. Клименко, А.А. Виноградов, Ю.А. Муковоз, Ю.А. Мельничук, М.Ю. Копейкина, Н.В. Новиков, Л.Н. Девин. – К. : ИСМ им. В.Н. Бакуля : ИПЦ «АЛКОН» НАНУ, 2006. – 315 с.

Беженар М.П., Романенко Я.М., Пацук А.М., Соколов О.М. Институт надтвердых материалов ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ, Україна

ТРИЩИНОСТІЙКІСТЬ РСВН КОМПОЗИТІВ

Надтверді композити кубічного нітриду бору за основним призначенням є матеріалами для лезового інструменту (різальні пластини класу РСВН). Основні вимоги до характеристик РСВН композитів – структура (фазовий склад, дисперсність компонентів), фізико-механічні і технологічні властивості (твердість, в'язкість руйнування, зносостійкість). Висока в'язкість руйнування (тріщиностійкість) РСВН композитів необхідна при їх застосуванні на операціях чорнової обробки загартованих сталей, а також на операціях точіння з ударом.

Метод визначення тріщиностійкості K_{IC} шляхом інденування застосований на вимірюванні параметрів радіальних напівдискових тріщин при вдавлуванні алмазної піраміди Віккерса. Для розрахунків K_{IC} необхідно використовувати відбитки індентора з прямими радіальними тріщинами, які є продовженням його діагоналей. В іншому випадку можна отримати спотворені результати [1].

При визначенні тріщиностійкості матеріалу методом інденування алмазною пірамідою Віккерса існує стандарт JIS R1607, згідно з яким $K_{IC} = 0,018 \times (E/Hv)^{0,5} \times Fc^{-3/2}$, де E – модуль пружності; Hv – твердість за Віккерсом; F – навантаження при інденуванні; c – довжина радіальної тріщини, виміряна від центру відбитка. Приведена формула застосовується за умови, що $c/a > 2,3$, (a – половина довжини діагоналі відбитка індентора), тобто коли виконується умова формування поблизу відбитків піраміди Віккерса медіанних тріщин.

В даній роботі досліджували тріщиностійкість РСВН композитів, одержаних при спіканні за високого тиску порошкових сумішей cBN–

TiC–Al та cBN–TiN–Al з дисперсністю компонентів 1–2 мкм. Навантаження на піраміду Віккерса становило 30 кг. В табл. 1 приведені результати визначення тріщиностійкості композиту системи cBN–TiC–Al, в табл. 2 – композиту системи cBN–TiN–Al.

Таблиця 1 – Тріщиностійкість PCBN композитів системи cBN–TiC–Al

$D_{\text{сер}}, \text{мкм}$	HV30, ГПа	$C_{\text{сер}}, \text{мкм}$	c/a	$K_{IC}, \text{МПа}\cdot\text{м}^{0,5}$
120,9	37,31	178,9	2,96	7,98
121,9	36,7	189,2	3,10	7,40
121,2	37,09	206,4	3,40	6,46
120,2	37,71	193,6	3,22	7,05
120,9	37,31	191,2	3,16	7,23

Пояснення до таблиці: в першій колонці середнє значення діагоналей відбитку Віккерса при навантаженні на піраміду 30 кг; в другій колонці власне твердість HV30; в третій – середнє значення довжини чотирьох тріщин; в четвертій – відношення довжин середніх значень тріщини і діагоналі відбитку, вище було сказано, що приведена формула для визначення K_{IC} застосовується при умові, що $c/a > 2,3$, ця умова виконується; в п'ятій колонці визначене значення тріщиностійкості.

Визначили середнє значення тріщиностійкості, а також стандартне відхилення і довірчий інтервал при довірчій ймовірності 70%.

Результат – $K_{IC} = 7,2 \cdot 0,3 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{0,5}$.

Таблиця 2 – Тріщиностійкість PCBN композитів системи cBN–TiN–Al

HV30, ГПа	$D_{\text{сер}}, \text{мкм}$	$C_{\text{сер}}, \text{мкм}$	C/D	$K_{IC}, \text{МПа}\cdot\text{м}^{0,5}$
38,57	118,9	164,7	1,39	8,89
37,93	119,9	172,7	1,44	8,35
44,56	110,6	146,3	1,32	9,88

Для композиту системи cBN–TiN–Al $K_{IC} = 9,0 \pm 0,5 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{0,5}$. Пояснення до табл. 2 такі ж, як і до табл. 1.

На рис. 1 приведені фотографії відбитків, одержаних при визначенні тріщиностійкості композитів систем cBN–TiC–Al (рис. 1, а) та cBN–TiN–Al (рис. 1, б). Тріщини видно чітко, вони є продовженням діагоналей відбитка.

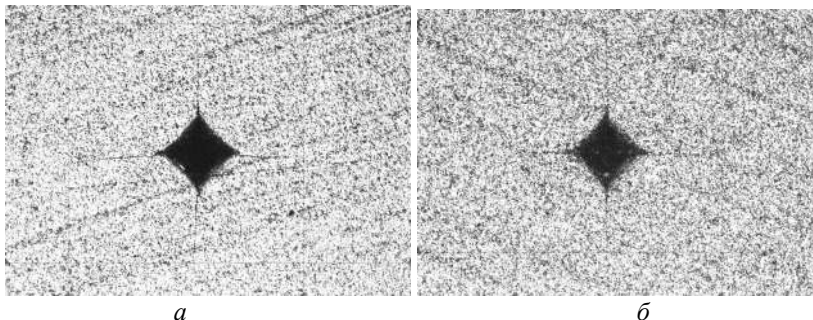


Рис. 1 – Фотографії відбитків, одержаних при визначенні тріщиностійкості композитів систем cBN–TiC–Al (а) та cBN–TiN–Al (б)

Висновок. Тріщиностійкість композитів системи cBN–TiN–Al становить $9,0 \pm 0,5$ МПа·м^{0,5}, а системи cBN–TiC–Al – $7,2 \pm 0,3$ МПа·м^{0,5}. Це підтверджує тезу, що заміна в складі композиту карбідів на нітриди призводить до зменшення їх твердості і збільшення тріщиностійкості.

Література

1. Мильман, Ю.В. Новые методики микромеханических испытаний материалов методом локального нагружения жестким индентором / Ю.В. Мильман // Современное материаловедение XXI век : сб. науч. трудов ИПМ. – К. : Наук. думка, 1998. – С. 637–655.

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

ТРИБОТЕХНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ БАГАТОШАРОВОГО ПОКРИТТЯ TiNbN/CrN

Дослідження присвячене вивченню трибологічних властивостей одного з перспективних сучасних покриттів – багатошарового нанорозмірного покриття TiNbN/CrN.

Сполука TiNbN характеризується високою міцністю на зсув при підвищених температурах, підвищеною зносостійкістю, хімічної та термічної стабільністю, бінарний нітрид CrN також має високу мікротвердість і хімічну стабільність за високих температур.

Зразки з багатошаровим покриттям TiNbN/CrN отримані вакуумно-дуговим осадженням. Тиск азоту в робочій камері $p = 8 \cdot 10^{-4}$ Торр та $4 \cdot 10^{-3}$ Торр, швидкість осадження ~ 2 нм/с. Потенціал зсуву – 30–250 В. Трибологічні випробування проведено на повітрі за схемою «кулька-диск» на машині тертя Tribometer “CSM Instruments” (табл. 1). У якості контртіла використано кульки діаметром 6,0 мм зі спеченого сертифікованого оксиду алюмінію Al_2O_3 .

Таблиця 1 – Трибологічні характеристики покриття TiNbN/CrN*

Тиск азоту, Торр	Коефіцієнт тертя, μ		Інтенсивність зношування v , $mm^3 \cdot H^{-1} \cdot m^{-1}$		Ra , мкм
	початковий	при випробуваннях	контртіло (Al_2O_3)	покриття	
$8 \cdot 10^{-4}$	0,451	0,526	$0,32 \cdot 10^{-7}$	$23,55 \cdot 10^{-7}$	0,57
$4 \cdot 10^{-3}$	0,525	0,569	$0,66 \cdot 10^{-7}$	$10,36 \cdot 10^{-7}$	0,38

* потенціалі зсуву $U_3 = -140$ В

Для випробування покриттів з метою визначення адгезійної / когезійної міцності, стійкості до подряпин і визначення механізму руйнування, використовувався скретч-тестер Revetest (CSM Instruments). На поверхню покриття алмазним сферичним індентором типу Роквелл С з радіусом закруглення 200 мкм наносили подряпини при навантаженні від 0 до 200 Н. Одночасно реєстрували потужність сигналу акустичної емісії А, коефіцієнт тертя, глибину проникнення індентора, а також нормальне навантаження на ньому. Швидкість переміщення індентора 1 мм/хв, довжина подряпини 10 мм, швидкість росту навантаження 6,91 Н/хв, частота дискретності сигналу 60 Гц, потужність сигналу акустичної емісії 9 дБ. В залежності від величини потенціалу зсуву при формуванні покриття, фіксували наступні показники (табл. 2; рис. 1): L_{C1} – момент появи першої шевронної тріщини на дні подряпини; L_{C2} – момент появи шевронних тріщин на дні подряпини; L_{C3} – руйнування носить когезійно-адгезійний характер; L_{C4} – локальне відшарування ділянок покриття; L_{C5} – пластичне стирання покриття до підложки, втрата адгезійної міцності.

На початковій стадії покриття чинить значний опір проникненню індентора, внаслідок чого коефіцієнт тертя немонотонно збільшується. На стадії збільшення навантаження покриття починає втрачати свою цілісність, коефіцієнт тертя продовжує збільшуватися, але менш інтенсивно, ніж на початковій стадії, рівень амплітуди А змінюється менш

інтенсивно, ніж коефіцієнт тертя. Критична стадія – покриття не може чинити ефективного опору, починається утворення тріщин і відшарувань, коефіцієнт тертя може різко змінюватися, амплітуда сигналів A різко збільшується, що вказує на утворення великих тріщин, відшарування покриття або навіть повне руйнування покриття.

Таблиця 2 – Критичні навантаження L_c для покриттів TiNbN/CrN*

Потенціал зсуву $U_3, \text{В}$	Критичні навантаження, Н		
	L_{c1}	L_{c2}	L_{c3}
30	10	48	89
100	25	81	148
250	11	59	139

* тиск азоту $p = 4 \cdot 10^{-3}$ Торр

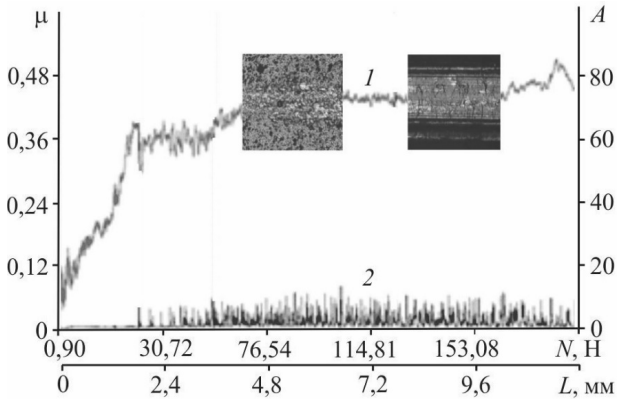


Рис 1 – Залежність коефіцієнта тертя μ та амплітуди акустичної емісії A від навантаження N та довжини доріжки тертя L для покриття TiNbN/CrN за тиску азоту $p = 8 \cdot 10^{-4}$ Торр і потенціалі зсуву $U_3 = -100$ В (1 – μ ; 2 – A)

Огляд доріжок тертя на ділянках L_{c2} та L_{c3} показує, що збільшення амплітуди A пов'язане із початком крихкого стирання покриття, а при збільшенні шляху тертя в покритті відмічено появу тріщин та локальних відшарувань матеріалу.

Для покриттів, отриманих за більш високого тиску азоту та у всьому діапазоні значень потенціалу зсуву, можна відмітити незначну зміну коефіцієнту тертя та амплітуди A зі збільшенням путі тертя, що говорить про більш рівномірний характер зносу отриманих покриттів. Руйнування покриття відбувається при значно вищому навантаженні на індентор L_{c3} .

При дослідженні на дряпання отримані покриття стираються не відшаровуючись, що вказує на когезійний механізм руйнування, але з різної інтенсивністю. Характерними особливостями такого механізму руйнування є поява втомних тріщин, пов'язаних із пластичною деформацією матеріалу.

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 новосенний періоди»)

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

ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В СИСТЕМАХ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ЗАПУСКУ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Використання комп'ютерно-інтегрованих систем контролю запуску безпілотних літальних апаратів (БЛА) підвищує ефективність, безпеку і надійність критичних процесів. Ці системи забезпечують автоматизований збір і обробку даних, що дозволяє аналізувати траєкторію руху БЛА та своєчасно виявляти й усувати потенційні проблеми [1].

На всіх етапах проєктування пускових установок для БЛА ключову роль відіграють стенди імітаційного моделювання або натурні випробування механізмів пуску, органів управління, тощо.

Відпрацювання алгоритмів функціонування виробу за допомогою комп'ютерно-інтегрованої системи контролю параметрів пуску дає можливість розробникам більш детально вивчити траєкторію руху БЛА під час старту, що надає можливість скоротити час та матеріальні затрати на проєктування та випробування виробу.

Математичні моделі, що входять до складу комп'ютерно-інтегрованої системи контролю параметрів пуску, мають створюватися за модульним принципом, давати змогу проводити доопрацювання програмних модулів на різних стадіях пуску.

При створенні програмного забезпечення проаналізовано три стадії пуску БЛА: рух по направляючій; після сходу з направляючої; після скидання стартового двигуна та сформульовано математичну модель для кожного з етапів запуску, що дозволяє проводити детальні дослідження та контролювати траєкторію руху виробу.

На першій стадії виріб набуває певного прискорення в результаті роботи стартового двигуна. Важливо, щоб потужності двигуна було достатньо для подолання зовнішніх сил, які діють на виріб. Під час цього етапу необхідно контролювати параметри направляючої, щоб уникнути небажаних маневрів.

На другому етапі, коли БЛА вже вийшов з пускової, двигун продовжує працювати, і літальний апарат повинен набрати висоту для переходу в стадію польоту. Цей етап є критично важливим, оскільки на нього можуть впливати різноманітні зовнішні фактори, такі як вітер та атмосферний тиск.

На третьому етапі відбувається скидання стартового двигуна, а продовження польоту забезпечується маршовим двигуном.

У цей момент важливо правильно визначити центр мас, оскільки зміна маси може впливати на аеродинамічні характеристики і керованість БЛА. Для точного розрахунку центру мас на кожному етапі слід враховувати швидкість, координати виробу та кут запуску.

Ці параметри дозволяють провести необхідні обчислення для коригування траєкторії польоту і забезпечити стабільність пуску, зменшуючи ризики аварій і підвищуючи ефективність виконання завдань.

Впровадження інформаційних технологій у системи контролю параметрів запуску безпілотних літальних апаратів надає можливість контролю впливу параметрів на всіх стадіях пуску, що значно скоротить час на розробку та впровадження виробу.

Література

1. Bukovska, D. System for automated calculation of parameters of the stage of launching an unmanned aerial vehicle from a catapult-type launcher / D. Bukovska, V. Antoniuk // Вісн. Хмельниць. нац. ун-ту. Техніч. науки. – 2024. – № 333.2. – С. 17–20.

ПЕРЕГЛЯД МЕТОДИК НОРМУВАННЯ РОЗРАХУНКУ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ АВТОМАТИКИ

Робота [1] наводить чітке наукове обґрунтування аналізу надійності в механічних категоріях технічної науки. Запропоновані в роботі [2] детерміновані моделі деталізують проблеми надійності електричних та електронних компонентів в системах залізничної автоматики, з огляду умов обмежених статистичних даних. Зазначені аспекти впливають на безпечність та надійність транспортної інфраструктури України. Приклад взаємодії транспортних систем різних країн для організації подорожей [3] вимагає від утримувачів задіяних об'єктів інфраструктури розрахунків та експертних висновків про функційну безпечність як електро-технічних так і механічних частин, що забезпечують подорожі та переміщення пасажирів та вантажів у цілому. Основні дослідження розрахунків надійності компонентів як електричного так і електронного складу залізничної автоматики оцінюються в категоріях термінології навчального посібника [4].

Метою роботи було висвітлення проблеми різного нормування методик розрахунку надійності (Н) та функційної безпечності (ФБ) для розрахунку компонентів з електронними елементами в підсистемах різних галузей економіки, зокрема залізничного транспорту яку частково проаналізовано в [5].

В роботі [6], авторський колектив оприлюднив детальний аналіз методик розрахунку надійності та додатково наведено докази можливості розрахунку інтенсивності відмов виробів залізничного транспорту з електронними, електричними та програмними компонентами.

Доповідь висвітлює питання про проблеми випробувань комплексів технічних засобів [7] на прикладі керування та регулювання руху поїздів. Вимоги до нормування методики розрахунку надійності компонентів з електронними елементами та до функційної безпечності та надійності стандартизовано на національному рівні [8] і потребує удосконалення.

Багато виробників продукції залізничного призначення воліють спростити процедури доведення функційної безпечності не тільки електричних, електронних та програмованих електронних систем залізничного транспорту, а й всіх інших компонентів технічних систем всіх галу-

зей економіки. Однак ряд покупців продукції прагнуть до створення та затвердження галузевих норм, які б враховували особливості, аспекти та інтереси певних галузей економіки. Така боротьба інколи призводить до введення до технічних регламентів специфічних вимог нормативної бази спрямованої на як найкращої якості тільки певної галузі. Це змушує виробників до розширення номенклатури продукції або підвищення вимог до універсальної продукції з підвищенням її вартості.

Розробка та прийняття національних стандартів гармонізованих з європейськими [9–13] розширюють сучасні процедури розрахунку функційної безпечності електричних, електронних, програмованих електронних систем, пов'язаних із безпекою. Це уніфікує нормативну базу, однак законодавство дозволяє, на рівні регламентів по кожному з об'єктів/секторів національної економіки України.

Висновок. У доповіді висвітлюється ряд протиріч, які потребують ретельного перегляду науковою спільнотою, з оновлення методик та нормативних документів розрахунку функційної безпечності, електричних, електронних, програмованих електронних систем, пов'язаних із безпекою в технічних підсистемах багатьох галузей економіки України та світу. Об'єднуючи світовий та вітчизняний досвід розрахунків подібних компонентів спеціалізованих комп'ютерних систем в тому числі й підсистем автоматики залізничного транспорту слід спробувати уніфікувати розрахунки ФБ й нормувати відповідною базою документів для підвищення якості останніх та покращення їх економічних показників.

Література

1. Salenko, O. Using the functional approach in the development of hybrid processes in engineering: theoretical base / O. Salenko, S. Klymenko, V. Orel, V. Kholodny, N. Gavrushkevich // Mech. and Advanc. Technol. – 2022. – 6 (1), 41–55 p.
2. 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. – 2019. – 149. – 185–194. ICTE in Transportation and Logistics 2018 (ICTE 2018).
3. Мойсеєнко, В.І. Розробка мобільного додатку подорожувальника / В.І. Мойсеєнко, В.М. Бутенко, А.К. Соколов, В. Яранцев // Інформ.-керуючі сист. на залізнич. трансп. – 2024. – №2. – С. 18–24.
4. Мойсеєнко, В.І. Безпечність спеціалізованих комп'ютерних систем / В.І. Мойсеєнко, В.М. Бутенко : навч. посіб. – Харків : УкрДУЗТ, 2021. – 112 с.

5. Butenko, V. Assessment of methods and standards for calculating reliability parameters of components of specialized computer systems of railway automation / V. Butenko, O. Golovko, S. Shulga, V. Yarantsev // Inter. Sci. Conf. Trends and Pros. for the Develop. of Sci. and Ed. / Proceed. / Trends and Pros. for the Develop. of Sci. and Ed.: Proceed. of the Inter. Sci. Conf. – Oxford, UK : Bookmundo, 2024. – P. 119–121.

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

7. Мойсеєнко, В.І. Проблеми випробувань комплексів технічних засобів керування та регулювання руху поїздів / В.І. Мойсеєнко, В.М. Бутенко, О.В. Головки, С.Г. Чуб // Інф.-керуючі сист. на залізнич. тр. – 2020. – Т. 25, №3. – С. 31–38.

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

9. 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).

10. 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).

11. 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).

12. 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).

13. 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).

РОЗРОБКА СИСТЕМНОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Контроль якості продукції з використанням методів штучного інтелекту вважаються темою на порядку денному, оскільки сучасний розвиток промисловості потребує нових технологічних рішень для забезпечення високої якості продукції. Автоматизація контролю якості з використанням методів штучного інтелекту (далі – ШІ) здатна значно підвищити ефективність та точність цього процесу, зменшуючи суб'єктивність людського фактору та підвищуючи швидкість оцінки якості.

Актуальність дослідження зумовлена тим, що традиційні методи контролю якості часто є трудомісткими, неточними та схильними до помилок. Інтеграція ШІ в ці процеси може допомогти зменшити кількість людських помилок і суттєво оптимізувати виробничі процеси. Використання інноваційних технологій дозволить знизити витрати на контроль якості та підвищити загальну продуктивність.

Метою роботи є розробка системної автоматизованої платформи для контролю якості продукції, яка буде використовувати методи штучного інтелекту для аналізу і оцінки якості виробничих процесів та кінцевої продукції. Для досягнення цієї мети необхідно виконати ряд задач, серед яких:

1. Аналіз сучасних методів автоматизації контролю якості, оцінка можливостей застосування різних моделей ШІ;
2. Розробка автоматизованої системи для впровадження на виробництві.

Основними методами дослідження будуть використання машинного навчання, комп'ютерного зору та обробка великих даних для оцінки якості продукції. Системне моделювання та тестування автоматизованих процесів у реальних умовах виробництва також допоможе отримати надійні результати. Це дозволить створити архітектуру системи, що забезпечить високий рівень точності та швидкості контролю якості.

Очікувані результати включають підвищення точності та швидкості процесу контролю якості, зниження затрат на контроль і загальне підвищення продуктивності виробництва. Впровадження системи на базі штучного інтелекту дозволить підприємствам досягати нових стандартів якості та конкурентоспроможності на ринку.

Впровадження штучного інтелекту в процесі контролю якості продукції є перспективним напрямком, який здатен кардинально змінити підхід до забезпечення якості та підвищити ефективність виробництва.

Волошина Л.В., Каштур А.П., Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна

ОГЛЯД ОСНОВНИХ ВИКЛИКІВ ТА ПЕРСПЕКТИВ ГАРМОНІЗАЦІЇ СТАНДАРТІВ В УКРАЇНІ

Стандартизація продукції є одним із найважливіших процесів, що забезпечують регулювання якості товарів і послуг на сучасному ринку. Вона дозволяє створити єдині вимоги до продукції, процесів та систем, що, у свою чергу, сприяє покращенню їх якості та підвищенню рівня безпеки для споживачів. У контексті глобалізації стандартизація стає ще важливішою, оскільки вона відкриває можливості для інтеграції національних економік у світову спільноту та спрощує міжнародну торгівлю. Для України цей процес є особливо актуальним через її прагнення інтегруватися до європейських ринків і відповідати високим вимогам міжнародної економіки.

Україна вже тривалий час працює над гармонізацією своїх національних стандартів із міжнародними. Після вступу до Світової організації торгівлі (СОТ) та підписання Угоди про асоціацію з Європейським Союзом перед країною постало завдання поступового переходу від радянської системи ГОСТ до міжнародних стандартів, таких як ISO та EN. Ця гармонізація спрямована на покращення якості продукції та забезпечення конкурентоспроможності українських товарів на міжнародному ринку. Згідно з міжнародними стандартами, продукція повинна відповідати жорстким вимогам щодо безпеки, екологічності та енергоефективності, що створює нові можливості для українських виробників. Водночас цей процес не є простим і супроводжується численними викликами, які потребують комплексного підходу та значних інвестицій.

Одним із головних викликів, з якими стикаються українські підприємства у процесі впровадження міжнародних стандартів, є фінансові бар'єри. Багато компаній використовують застаріле обладнання, яке не

відповідає сучасним вимогам міжнародних стандартів. Це обладнання потребує заміни або модернізації, що вимагає значних фінансових витрат. Для багатьох малих та середніх підприємств цей виклик стає особливо важким, оскільки вони не завжди мають достатні фінансові ресурси для таких інвестицій. Крім того, необхідно проводити навчання персоналу для роботи за новими стандартами, а це також потребує витрат часу і грошей. Впровадження міжнародних стандартів вимагає сертифікації, яка є додатковою фінансовою і організаційною перешкодою для багатьох українських компаній.

Окрім фінансових бар'єрів, українські підприємства стикаються з технічними труднощами. Багато виробничих процесів, що існують в Україні, не відповідають міжнародним стандартам через використання застарілих технологій та виробничих ліній. Щоб досягти відповідності вимогам стандартів, необхідно проводити серйозну модернізацію виробництва. Наприклад, міжнародні стандарти передбачають високу увагу до енергоефективності, екологічності та безпеки продукції, що вимагає використання новітніх технологій і матеріалів. Однак багато українських компаній продовжують використовувати старі технології, що не дозволяє їм досягти необхідного рівня якості. Це, у свою чергу, обмежує можливості для експорту продукції до країн Європейського Союзу та інших ринків, де діють жорсткі вимоги щодо якості та безпеки.

Впровадження міжнародних стандартів також вимагає вирішення організаційних питань на підприємствах. У багатьох компаніях немає достатньої кількості кваліфікованого персоналу, який міг би контролювати дотримання стандартів та забезпечувати належний рівень якості продукції. Для цього необхідно створювати нові управлінські структури, що відповідатимуть за контроль якості, моніторинг виробничих процесів та проведення сертифікаційних заходів. Це передбачає не лише найм нових співробітників, але й підвищення кваліфікації існуючого персоналу, що також вимагає часу та ресурсів. Крім того, багато підприємств недостатньо інформовані про міжнародні стандарти або недооцінюють їх важливість, що гальмує процес впровадження нових норм.

Проте, попри всі виклики, впровадження міжнародних стандартів відкриває перед українськими підприємствами значні перспективи. Однією з головних переваг є можливість покращення якості продукції. Стандартизація допомагає підприємствам забезпечити стабільний рівень якості та безпеки продукції, що підвищує довіру споживачів як на внутрішньому, так і на міжнародному ринках. Це дуже важливо для експортно-орієнтованих підприємств, які прагнуть розширити свій

ринок збуту та вийти на міжнародні ринки, де діють жорсткі вимоги щодо якості.

Ще одна важлива перспектива — це доступ до міжнародних ринків. Гармонізація стандартів із міжнародними нормами дозволяє українським підприємствам уникнути технічних бар'єрів у торгівлі та отримати доступ до нових ринків збуту. Це особливо актуально для агропромислового комплексу, де українські виробники мають значний експортний потенціал. Впровадження міжнародних стандартів дозволить підвищити конкурентоспроможність українських товарів на світовому ринку та забезпечити стабільний експорт.

Впровадження стандартів також сприяє підвищенню інвестиційної привабливості українських підприємств. Компанії, що працюють за міжнародними стандартами, демонструють інвесторам свою здатність відповідати високим вимогам ринку, що підвищує їх довіру. Це, у свою чергу, сприяє залученню інвестицій у розвиток виробничих процесів та нових технологій, що дозволить підприємствам розвиватися та ставати більш конкурентоспроможними.

Крім того, стандартизація стимулює інноваційний розвиток. Впровадження міжнародних стандартів вимагає використання новітніх технологій та рішень, що сприяє підвищенню ефективності виробництва. Підприємства, що працюють за міжнародними стандартами, змушені впроваджувати інноваційні підходи до управління якістю, безпечністю та ефективністю процесів. Це дозволяє компаніям бути гнучкішими та швидше адаптуватися до змін на ринку, що забезпечує їм переваги у конкуренції.

Отже, стандартизація продукції в Україні є складним, але необхідним процесом, що відкриває широкі можливості для розвитку національної економіки. Незважаючи на фінансові, технічні та організаційні виклики, впровадження міжнародних стандартів допомагає підвищити якість продукції, забезпечити доступ до міжнародних ринків, залучити інвестиції та стимулювати інноваційний розвиток. Для успішного завершення процесу гармонізації стандартів необхідна підтримка як з боку держави, так і з боку бізнесу, що дозволить зміцнити позиції українських компаній на світовому ринку та забезпечити сталий розвиток економіки.

ВПРОВАДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙНИХ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ В УМОВАХ ЦИФРОВІЗАЦІЇ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ

Цифровізація виробничих процесів є одним з ключових аспектів Четвертої промислової революції (Industry 4.0). Сучасна економіка вимагає від підприємств адаптації до стрімких технологічних змін, зокрема в сфері контролю якості. Цифровізація виробництва супроводжується використанням інноваційних технологій, таких як штучний інтелект (AI), Інтернет речей (IoT), та великі масиви даних (Big Data). Інтеграція цих технологій у системи контролю якості дозволяє автоматизувати процеси, знижувати ризик помилок та підвищувати ефективність управління виробництвом.

Четверта промислова революція кардинально змінює підхід до управління якістю. Традиційні системи контролю стають недостатньо ефективними через підвищення складності процесів та обсягів виробництва. Потреба в інтеграції цифрових технологій, які можуть забезпечити точність, швидкість та прозорість моніторингу якості, стає критично важливою для збереження конкурентоспроможності на ринку. Особливо актуально це для великих підприємств, де втрата якості може призвести до серйозних фінансових збитків.

Одним з найважливіших напрямків цифровізації в контролі якості є використання технологій штучного інтелекту та машинного навчання. AI дозволяє аналізувати величезні обсяги даних, що створюються під час виробництва, та визначати потенційні дефекти ще до їх виникнення. Використання машинного навчання допомагає виявляти приховані закономірності, що дозволяє прогнозувати несправності обладнання або відхилення у якості продукції. Інтернет речей (IoT) дозволяє підключати до мережі різноманітні пристрої, що збирають дані в режимі реального часу. Це дає змогу створювати систему постійного моніторингу всіх етапів виробництва, яка виявляє проблеми в процесі їх виникнення. Аналіз великих даних (Big Data) надає інструменти для глибшого розуміння факторів, що впливають на якість продукції, та оперативного коригування процесів.

Системи управління якістю на підприємствах часто базуються на міжнародних стандартах, таких як ISO 9001. Однак, цифровізація ви-

робництва вимагає перегляду стандартів та оновлення існуючих підходів. Використання новітніх технологій передбачає інтеграцію цифрових рішень у стандартизацію процесів. Наприклад, для впровадження IoT та AI потрібні нові стандарти, що регулюють використання даних та їх захист. Оновлення міжнародних стандартів має враховувати специфіку нових технологій, їх вплив на якість та можливості інтеграції у сучасні системи. Окрім ISO 9001, важливим є використання стандартів, таких як ISO/IEC 27001 для забезпечення кібербезпеки в цифрових системах управління якістю.

Серед успішних прикладів впровадження цифрових рішень для контролю якості можна навести такі технології, як 3D сканування, цифрові двійники та предиктивна аналітика. 3D сканування дозволяє проводити точну перевірку геометрії деталей і порівнювати їх з цифровими моделями. Цифрові двійники – це точні цифрові копії фізичних об'єктів або процесів, які допомагають відстежувати зміни та прогнозувати можливі збої у системах. Предиктивна аналітика, що базується на обробці великих обсягів даних, дозволяє виявляти приховані тенденції та потенційні проблеми ще до їх появи. Це допомагає значно знижувати ризик браку та збоїв у виробництві, забезпечуючи високу якість продукції.

Цифрові методи контролю якості мають великі перспективи в умовах швидкої технологічної еволюції. Впровадження інноваційних рішень дозволить підприємствам підвищити ефективність управління якістю, знизити витрати на контроль та мінімізувати ризики виробничих помилок.

Волошина Л.В., Харченко Б-А.О. Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна

ОСОБЛИВОСТІ СТРАТЕГІЇ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ СИНХРОНІЗАЦІЇ ЧАСУ

Синхронізація часу є однією з основних вимог для стабільного та якісного функціонування багатьох галузей економіки, особливо у світі, де технології розвиваються дуже швидко. Точний час є критичним для таких секторів, як енергетика, телекомунікації, транспорт та фінансові послуги. Без чіткої координації подій та процесів через точний час може виникнути безліч проблем, включаючи збій в автоматизова-

них системах, відсутність коректної взаємодії між елементами інфраструктури та навіть фінансові втрати.

В Україні питання забезпечення точності синхронізації часу залишається надзвичайно актуальним, особливо в умовах інтеграції з міжнародними мережами та необхідності підвищення ефективності функціонування національної інфраструктури.

Глобальні навігаційні супутникові системи (GNSS) давно стали важливим інструментом для синхронізації часу. За допомогою супутників ці системи забезпечують надання високоточного часу у будь-якій точці земної кулі. Серед таких систем — GPS, ГЛОНАСС та інші [1]. Їх ефективність дозволяє використовувати GNSS для точного координування дій у різних галузях, від логістики до управління енергетичними системами.

Проте, GNSS також має певні обмеження. Точність сигналу може змінюватися залежно від умов прийому, особливо у міських районах із щільною забудовою, гірській місцевості або за наявності сильних атмосферних явищ. Більше того, такі зовнішні впливи, як космічні явища або техногенні збої, також можуть вплинути на стабільність та точність сигналу.

Щоб знизити ризики, пов'язані з нестабільним прийомом сигналів GNSS, потрібно використовувати додаткові резервні технології, такі як локальні атомні годинники або наземні мережі синхронізації часу. Впровадження таких рішень дозволяє мінімізувати наслідки збоїв і забезпечувати безперебійне функціонування критичних систем, навіть у разі втрати основного джерела часу.

Серед сучасних технологій для синхронізації часу, технологія IEEE 1588 або Precision Time Protocol (PTP) набуває все більшого поширення [2]. Вона дозволяє досягати дуже високої точності синхронізації, що є надзвичайно важливим для телекомунікаційних мереж, де мікросекундні відхилення можуть значно вплинути на якість передачі даних.

IEEE 1588, завдяки своїй здатності працювати в локальних мережах, має широкий спектр застосувань у промисловості, де точність є критично важливою. Це стосується не тільки телекомунікацій, але й автоматизованих систем управління виробничими процесами, фінансових операцій та енергетики. Технологія дозволяє зберігати точність у процесах навіть за умов великого навантаження на мережу.

Однією з ключових переваг IEEE 1588 є її здатність адаптуватися до різних умов експлуатації, що робить її незамінною в середовищах, де традиційні методи синхронізації вже не можуть забезпечити необ-

хідну точність. В Україні ця технологія поступово впроваджується у корпоративних мережах та великих інфраструктурних проектах, що дозволяє підвищити якість, надійність та стабільність роботи.

Ще однією популярною технологією для синхронізації часу є протокол Network Time Protocol (NTP). NTP — це один із найстаріших і найбільш надійних мережевих протоколів, який забезпечує синхронізацію годинників комп'ютерних систем через інтернет або інші мережі. NTP-сервери відіграють ключову роль у забезпеченні точності часу в розподілених системах, оскільки дозволяють синхронізувати час на пристроях у всьому світі [1].

NTP працює за принципом клієнт-серверної архітектури, де сервер отримує точний час з еталонних джерел, таких як GPS або атомні годинники, і передає його клієнтам у мережі. Однією з головних переваг NTP є його здатність компенсувати затримки під час передачі даних у мережі, що дозволяє забезпечити точну синхронізацію навіть за умов змінного часу доставки пакетів.

В Україні NTP-сервери використовуються як частина національної системи точного часу, забезпечуючи синхронізацію для багатьох державних і приватних організацій. Застосування NTP забезпечує високий рівень точності, що необхідний для роботи фінансових, телекомунікаційних та інформаційних систем. Крім того, NTP дозволяє створювати багаторівневі системи синхронізації, де одні сервери працюють як основні джерела часу, а інші виступають резервними або вторинними.

Впровадження систем резервування синхронізації часу стає важливою частиною стратегії забезпечення надійності національних мереж. Основною метою резервування є забезпечення безперебійного функціонування систем у випадку відмови основних джерел часу. Наприклад, якщо з якоїсь причини GNSS або IEEE 1588 виходять з ладу, резервні системи можуть автоматично взяти на себе функцію синхронізації, що дозволяє уникнути збоїв у роботі важливих систем, таких як телекомунікаційні мережі, енергетичні станції або транспортні вузли.

Для впровадження ефективних систем резервування важливо розробити і застосувати нові підходи, що включають використання атомних годинників, які можуть підтримувати синхронізацію у випадках збоїв. Крім того, варто розглядати можливість використання гібридних систем, які поєднують кілька методів синхронізації для підвищення загальної надійності.

Для України вдосконалення інфраструктури синхронізації часу є ключовим завданням для підвищення стабільності роботи національ-

ної економіки. Важливо не тільки модернізувати наявне обладнання та впроваджувати нові технології, але й активно залучати до цього процесу міжнародні організації, обмінюватися досвідом та впроваджувати найкращі практики.

Інтеграція України до міжнародної системи точного часу вимагає системного підходу, що включає як технічну модернізацію, так і розвиток кадрового потенціалу. Лише за таких умов можна досягти стабільного функціонування ключових інфраструктурних об'єктів та забезпечити надійність їх роботи в умовах глобальної конкуренції та технологічних викликів.

Література

1. Солдатов, В.В. Служба єдиного часу і еталонних частот України. Синхронізація часу з використанням Інтернет протоколів NTP і RTP: стан та перспективи розвитку / В.В. Солдатов // Укр. метролог. ж-л. – 2019. – №3. – С. 23–29.

2. Матвієнко, М.В. Особливості модернізації національної мережі єдиного часу з урахуванням досвіду впровадження сучасних технологій синхронізації часу в корпоративних мережах / М.В. Матвієнко, В.А. Гайдаманчук, І.М. Пастушенко // Укр. метролог. ж-л. – 2019. – №1. – С. 12–18.

Волошин Д.І., Плєскач О.І., Плєскач І.І.
Український державний університет залізничного
транспорту, Харків, Україна

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ ЗАСОБАМИ ТЕОРІЇ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ

Надійне та ефективне функціонування вагоноремонтних підприємств прямо залежить від управління виробничими процесами допоміжного виробництва, зокрема технічного обслуговування та ремонту технологічного обладнання [1].

Маючи на увазі, що підприємства з ремонту вагонів є складними виробничими системами з великою кількістю можливих станів в окремі моменти часу, для аналізу процесів їх функціонування можливим є використання марковських випадкових процесів.

У загальному вигляді динаміка функціонування певної виробничої підсистеми може бути описана векторним випадковим процесом $X(t)$ із залежними складовими:

$$X_t^k = \{X_1^k(t), X_2^k(t), \dots, X_n^k(t)\}, \quad (1)$$

де X_t^k – цілісний випадковий процес, який описує визначений виробничий процес; k – вид виробничого процесу (ремонт технологічного обладнання, інструменту та ін.).

В якості складових виробничого процесу можуть враховуватися трудові ресурси та матеріально-технічні ресурси. Взаємодія різних складових виробничого процесу $X(t)$ визначається тим, що інтенсивність їх переходів до різних станів залежить не тільки от власних характеристик, але і від характеристик інших складових. Наприклад, при проведенні технічного обслуговування та ремонту технологічного обладнання його інтенсивність залежить від кількості одиниць обладнання, яке потребує уваги, продуктивності обслуговуючого персоналу та потрібної його кількості. Кожну із складових виробничого процесу $X(t)$ можна представити, як:

$$X_i(t) = \sum_{m=1}^n y_m^i(t), \quad (2)$$

де $y_m^i(t)$ ($m = 1, 2, \dots, n$) – процес блукання по визначеній множині станів одної складової виробничого процесу:

$$y_m^i = \{y_0^i, y_1^i, \dots, y_z^i\}. \quad (3)$$

Кожен з елементарних процесів $y_m^i(t)$ являє собою елементарний процес типу загибелі та розмноження. Це витікає з того факту, що всі множини станів в яких знаходяться складові виробничого процесу в залежності від їх виду можна поділити на дві частини: «обслуговується» – «не обслуговується» для технологічного обладнання, «веде обслуговування» – «не веде обслуговування» для ремонтних бригад та т.п. На рис. 1 показані Схеми взаємодії елементарних складових виробничого процесу, де X_0 – обладнання працездатне, X_1 – обладнання непрацездатне; μ_x – інтенсивність відновлення; λ_x – інтенсивність переходу в непрацездатний стан; Y_0 – обслуговування не проводиться, Y_1 – обслуговування проводиться; μ_y – інтенсивність обслуговування ($\mu_y = 1/t_{\text{обс}}$, де $t_{\text{обс}}$ – час проведення одного обслуговування); λ_y – визначається інтенсивністю переходу в непрацездатний стан ($\lambda_y = \lambda_x$); Z_0 – ресурси не використовуються; Z_1 – ресурси використовуються

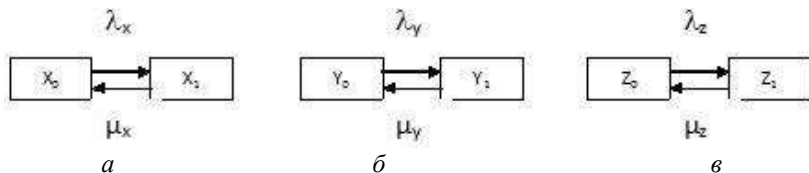


Рис. 1 – Схеми взаємодії елементарних складових виробничого процесу:
a – обладнання, *б* – трудові ресурси, *в* – матеріальні ресурси

Як видно, вказані процеси повністю взаємозалежні, що надає можливість стверджувати, що $\lambda_z = \lambda_y = \lambda_x = 1$ та $\mu_z = \mu_y = \mu_x = \mu$.

Алгоритм взаємодій складових виробничого процесу обслуговування ремонту виглядають наступним чином:

- одиниці технологічного обладнання після виконання обслуговування із системи не виходять;
- якщо одиниця обслуговуючого процесу зайнята, а обладнання потребує обслуговування, то воно становиться в чергу і очікує його проведення.

В результаті створюються дві паралельно функціонуючі замкнуті системи масового обслуговування: «одиниці технологічного обладнання – обслуговуючі бригади» (рис. 2) та «одиниці технологічного обладнання – матеріальні ресурси» (рис. 3). Стан системи обслуговування пов'язаний з кількістю елементів виробництва, які знаходяться в станах x_1 , y_1 , z_1 . Максимальні значення, які можуть приймати ці випадкові процеси дорівнюють n для $x(t)$, m для $y(t)$ і g для $z(t)$.

Графи станів обох систем будуть виглядати наступним чином:

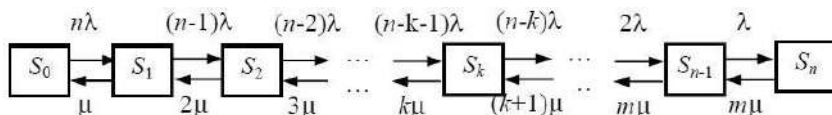


Рис. 2 – Система масового обслуговування типу
«одиниці технологічного обладнання – обслуговуючі бригади»

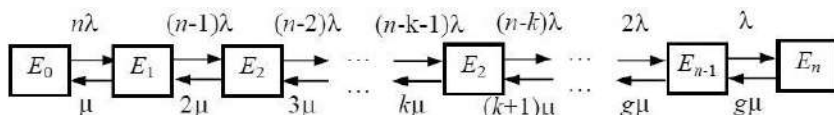


Рис. 3 – Система масового обслуговування типу
«одиниці технологічного обладнання – матеріальні ресурси»

В результаті для представленої системи масового обслуговування можливо отримати граничні імовірності переходу системи в різні стани в процесі свого функціонування. Вихідні дані для розрахунку можуть бути отримані за допомогою методу експертного оцінювання.

Література

1. Волошин, Д.І. Застосування принципів виробничої логістики для удосконалення системи ремонту обладнання в умовах ВРП Д.І. / Волошин // 36. наук. праць VII-ї міжнарод. наук.-практ. конф. «Проблеми розвитку транспорту і логістики». – Луганськ : Східноукр. нац. ун-ту ім. Володимира Даля, 2017. – С. 67–69.
2. Волошин, Д.І. До питання підвищення надійності роботи виробничих підрозділів підприємств з ремонту вагонів / Д.І. Волошин // 36. наук. праць. – Харків : УкрДУЗТ, 2015. – вип.157. – 0С. 128–131.
3. Garg R.B. Simulation of an optimum multilevel dynamic round robin scheduling algorithm / R.B. Garg // Inter. J. of Comp. Applicat. – 2013. –V. 10. – P. 42–46.

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

ВПЛИВ МЕТАЛІЗАЦІЇ CVD АЛМАЗА НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИТУ З ГІБРИДНОЮ АЛМАЗНОЮ ОСНОВОЮ

З 60-х років ХХ століття неухильно зростає інтерес до використання алмазу в інструменті, що працює в особливо важких умовах. При цьому особлива увага приділяється розвитку технологій отримання робочих елементів з полікристалічного алмазу, оскільки характерною особливістю алмазного полікристала на відміну від монокристалів алмазу є ізотропія його фізико-механічних властивостей.

Полікристали отримують спіканням алмазних мікропорошків при високих тисках і температурах. Використання техніки високих тисків під час спікання пов'язане з необхідністю забезпечення безперервного каркаса алмазних частинок завдяки формуванню зв'язків алмаз–алмаз і утворенню щільної високодисперсної зернистої структури.

Незважаючи на досягнуті успіхи в створенні алмазних композитів, які знайшли широке застосування в різних галузях народного госпо-

дарства, проблема підвищення їх експлуатаційних властивостей, особливо зносостійкості, залишається актуальною.

Під зносостійкими алмазними композитами мають на увазі матеріали, які поєднують в собі високу твердість і міцність алмазу з підвищеною стійкістю до зносу в процесі експлуатації, що забезпечує довговічність інструменту.

В даний час активно розвивається новий напрямок створення надтвердих матеріалів полікристалічні надтверді композиційні матеріали з гібридною алмазною основою [1]. Зокрема був створений надтвердих матеріал з гібридною алмазною основою (торгова марка «гібридайт»), що являє собою укладену в полікристалічну оболонку з алмазного композиційного термостійкого матеріалу пластину моно- або полікристалічного CVD-алмаза. Таким чином реалізується поєднання унікальних фізико-механічних і теплофізичних характеристик CVD-алмаза з високою твердістю, міцністю і термостійкістю полікристалічної оболонки з зерен алмазу статичного синтезу.

В результаті порівняльних випробувань на зносостійкість породоруйнуючих елементів з гібридайту при точінні Коростишівського граніту XI категорії буримості встановлено, що інтенсивність зношування залежить від властивостей і структури використовованого CVD алмазу. При цьому зносостійкість породоруйнуючого зразка гібридайту у 3–14 разів вище, ніж зразків з алмазного композиційного термостійкого матеріалу [2].

Одним з ефективних на наш погляд шляхів зміцнення зв'язку CVD-алмаз – полікристалічна оболонка є попередня металізація металом-розчинником вуглецю поверхні CVD-алмазу. Зокрема експериментально було встановлено, що, з однієї сторони, нанесення тонких металевих шарів на поверхню алмазу сприяє збільшенню змочування його складовими алмазної полікристалічної оболонки, що, в свою чергу, сприяє збільшенню відносної щільності композитів і покращує їх властивості (зокрема, зносостійкість), з іншої – при нагріванні на границі контакту метал-розчинник і алмаз утворюється рідиноподібна фаза в результаті пересичення вуглецем кристалічної решітки металу. Відповідно при баротермічних умовах, що відповідають термодинамічної стабільності алмазу будуть створюватись прямі контакти CVD-алмаз – алмаз полікристалічної оболонки, що підвищить загальну міцність гібридного алмазного композиту, а, поряд з цим додатково будуть утворюватись на межі між CVD алмазом і полікристалічною алмазною оболонкою прошарки із карбідів, через які відбувається додаткове зміцнення границі розділу між складовими гібридного матеріалу.

У даній роботі карбідоутворювальну добавку (титан) наносили на поверхню пластини CVD алмазу магнетронним напиленням. Зразки алмазного гібридного композиту одержали спіканням при високому тиску і температурі з використанням апарату високого тиску типу «тороїд» з діаметром центрального поглиблення 30 мм. Спікання шихти проводили по двохстадійній схемі [3] при тиску 7,0–7,5 ГПа, температурі 1250–1350 °С. Тривалість спікання становила приблизно 200 с.

Порівняльні випробування отриманих зразків на міцність на стиск показали, що середня міцність зразка з вкритою титаном пластиною CVD алмазу становила 2180 ± 224 МПа. Водночас середня міцність зразків із пластиною CVD алмазу без покриття становила 1815 ± 98 МПа. Отже, попередня металізація пластини CVD алмазу забезпечила підвищення міцності гібридного алмазного композиту на 20%. Фізико-механічні характеристики покращилися завдяки утворенню на межі між CVD алмазом і полікристалічною алмазною оболонкою прошарку з TiC, через який відбувається додаткове зміцнення межі розділу між ними.

Як показали експлуатаційні випробування, в гібридному матеріалі, в якому на пластину з CVD алмаза був нанесений методом магнетронного напилення шар з титану товщиною 100 нм, інтенсивність зношування була на 35% нижча, ніж у зразка без напилення. А добавка графена в шихту і напилення CVD алмаза титаном дало змогу отримати матеріал з інтенсивністю зношування на 60% нижчою, ніж у випадку використання CVD алмазу без напилення.

Література

1. Шульженко, А.А. Новые ультратвердые поликристаллические композиционные материалы / А.А. Шульженко, А.Н. Соколов, В.Г. Гаргин // Наука про матеріали : досягнення та перспективи. – У 2-х т. Т. 1. – К. : Академперіодика, 2018. – С. 572–591.
2. Богданов, Р.К. Высокопроизводительный породоразрушающий инструмент из новых поликристаллических материалов / Р.К. Богданов, А.П. Загора, А.А. Шульженко, М.В. Супрун, А.Н. Соколов, В.Г. Гаргин // Инструмент. світ. – 2015. – № 1–4. – С. 24–30.
3. Шульженко, О.О. Патент № 21897 Україна. С01В 31/06. Спосіб одержання композиційного матеріалу на основі алмазу / О.О. Шульженко, В.Г. Гаргін, Н.О. Русінова. – 2005. – Бюл. № 4.

ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ КЕРАМІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

Для механічної обробки якість матеріалів різального інструменту є одним з найважливіших питань, які потребують вирішення. Підвищення продуктивності різального інструменту може бути досягнуто за рахунок використання сучасних композиційних керамічних різальних матеріалів. Ці матеріали повинні мати такий комплекс властивостей: високу твердість, зносостійкість, міцність, ударну в'язкість, стійкість до окислення. Крім того, матеріали різальних інструментів повинні бути здатними протистояти екстремальним умовам різання, таким як висока температура і тертя між заготовкою та поверхнею різального інструменту. Існування різноманіття оброблюваних металів вимагає створення широкого асортименту різальних матеріалів, кожен з яких мав би свою специфічну галузь застосування [1, 2]. Матеріали, які мають вищу високотемпературну твердість, можуть використовуватися при великих швидкостях різання, а ті, що володіють вищою міцністю – при великих значеннях величин подачі [3–5].

Зносостійкість матеріалу тим вища, чим вище твердість матеріалу. Але оскільки в різні види зносу входять явища дифузії, адгезії, електрохімічного зносу, то залежно від матеріалу, що обробляється, і умов обробки, інтенсивний знос може спостерігатися навіть у тих матеріалів, які мають високу твердість. У сучасному процесі металообробки застосовуються інструменти на основі тугоплавких сполук чотирьох видів: тверді сплави, безвольфрамкові тверді сталі, карбідосталі та кераміка.

Якщо розглядати залежність швидкості різання від механічних характеристик різального матеріалу, то слід зазначити, що при високій швидкості різання та малій подачі можуть використовуватися матеріали з високою твердістю та низькою міцністю. Ці властивості мають керамічні матеріали. При великих глибинах різання потрібна висока механічна міцність, яку мають тверді сплави. При цьому зменшується швидкість різання. Крім того, тверді сплави володіють оптимальним комплексом необхідних властивостей для різального інструменту, які можуть бути еталоном як за структурою, так і за властивостями при розробці нового різального матеріалу.

Розробка високоефективних інструментальних керамічних матеріалів є актуальним завданням сучасності, оскільки це підвищує продуктивність обробки, зносостійкість та якість оброблених деталей [6]. Крім того, це сприяє розширенню сфери застосування інструментальних матеріалів за рахунок усунення коштовних процесів шліфування алмазними абразивними колами.

Створення нових матеріалів з наперед заданими властивостями є чи не найважливішим питанням і проблемою сучасного матеріалознавства. Різальна кераміка на основі Al_2O_3 , зміцнена 10–20 мас.% волокон карбїду кремнію, забезпечує високу чистоту обробленої поверхні. Зміцнення карбїдом кремнію дає змогу застосувати цей матеріал при обробці жароміцних нікелевих сплавів зі швидкостями різання більше 200 м/хв і подачею 0,16 мм/об. Висока міцність та в'язкість руйнування дозволяє ефективно застосовувати таку кераміку для обробки чавунів. Проте з точки зору забезпечення якості обробленої поверхні інтерес представляє різальна кераміка на основі Cr_2O_3 . Цей матеріал має хороші абразивні властивості і застосовується як полірувальні пасти. Оксид хрому будучи вогнетривким матеріалом з високою температурою плавлення і стійкістю до окислення, широко застосовується для отримання кераміки. У табл. 1 наведено порівняння фізико-механічних властивостей оксидів хрому і алюмінію.

Таблиця 1 – Фізико-механічні властивості оксидів хрому і алюмінію

Матеріали	γ , г/см ³	$T_{пл}$, К	HV	$\sigma_{зг}$, Н/м ²	$\sigma_{ст}$, МН/м ²	E , ГН/м ²	λ , Вт/(м·К)	ρ , Ом·м
Al_2O_3	3,8–3,9	2320	2800	330	3000	360	20	10^{14}
Cr_2O_3	5,21	2573	2915	300	2900	284	19	10^5

З табл. 1 видно, що матеріал Cr_2O_3 має більш високу твердість та температуру плавлення ніж Al_2O_3 .

У роботі розглянуто особливості різання інструментальними матеріалами на основі мікропорошків оксиду хрому. При цьому використовувалися ультрадисперсні порошки нітриду алюмінію. Встановлено, що деструкція оксиду хрому при високих температурах спікання запобігається завдяки реакційному спіканню оксиду хрому та нітриду алюмінію. Досліджено вплив на якість обробленої поверхні загартованої твердої сталі при обробці розробленим інструментальним матеріалом на основі оксиду хрому з оптимальною домішкою

15 мас.% ультрадисперсного порошку нітриду алюмінію, а також оксиду титану. Визначено, що якість обробленої поверхні твердої сталі покращується порівняно зі стандартними імпортними інструментальними пластинами. Встановлено, що отриманий інструментальний матеріал, окрім відносно високої міцності та тріщиностійкості, має також високу теплопровідність, що сприятливо впливає на якість обробленої поверхні сталі, враховуючи, що в процесі різання не використовуються мастильно-охолоджувальні рідини.

Література

1. Whitney, E.D. Ceramic cutting tools : materials, development, and performance / E.D. Whitney // William Andrew Publishing, Norwich, USA, 1995

2. Li, L. High-speed cutting of Inconel 718 with coated carbide and ceramic inserts / L. Li, N. He, M. Wang, Z.G. Wang // J. Mater. Process. Technol. – 2002. – 129. – 127–130

3. Zhao, J. The use of ceramic matrix composites for metal cutting applications / J. Zhao // Adv. Ceram. Matrix Compos. – 2014. – P. 223–654.

4. Ko, Y.M. Development of Al₂O₃-SiC composite tool for machining application / Y.M. Ko, W.T. Kwona, Y.-W. Kim // Ceram. Inter. – 2004. – 30. – P. 2081–2086.

5. Casto S.L. Ceramic materials wear mechanisms when cutting nickel-based alloys / S.L. Casto, E.L. Valvo, E. Lucchini, S. Maschio, M. Piacentini, V.F. Ruisi // Wear. – 1999. – 225–229. – P. 227–233.

6. Casto S.L. Wear rates and wear mechanisms of alumina-based tools cutting steel at a low cutting speed / S.L. Casto, E.L. Valvo, E. Lucchini, S. Maschio, V.F. Ruisi // Wear. – 1997. – 208. – P. 67–72.

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

ТЕХНІЧНИЙ КОМІТЕТ ІЕС SC 45В «ПРИЛАДИ РАДІАЦІЙНОГО ЗАХИСТУ»

ІЕС SC 45В «Прилади радіаційного захисту» розробляє міжнародні стандарти для приладів, які використовуються для:

- вимірювання іонізуючого випромінювання, включаючи гама-, рентгенівське, бета- та альфа-випромінювання, для захисту персоналу, населення та навколишнє середовище від шкідливого впливу радіації

(²⁴¹Am, ¹³³Ba, ⁶⁰Co, ¹³⁷Cs, ⁶⁷Ga, ¹³¹I, ⁹⁹mTc, ⁴⁰K (KCl or KOH), ²⁰¹Tl, ²²⁶Ra, ²³²Th, ²³⁸U (DU), ²³⁵U (HEU), ²³⁹Pu (WGPu), ¹³¹I + WGPu, NORM+HEU, NORM+WGPu);

- обладнання, що використовується для виявлення та ідентифікації радіоактивних матеріалів у випадках незаконного обігу;
- створенням стандартів для спектрометрії, персональних дозиметрів та портативних приладів для вимірювання дози;
- інструментів, які використовуються для перевірки безпеки на основі радіації, таких як сканери для перевірки багажу.

До роботи залучено 20 країн, які активно беруть участь у розробці стандартів (P-members) та 15 країн країн-спостерігачів (O-members). Підкомітет вміщає більше ніж 100 експертів з випробувальних лабораторій, урядових агентств, виробників та користувачів приладів радіаційного захисту. В IEC SC 45B розроблено 57 стандартів. Серія стандартів, розроблену для приладів радіаційного захисту наведено у табл. 1.

В Україні ТК 99 «Матеріали та прилади для сцинтиляційної техніки та техніки, пов'язаної із вимірюванням іонізуювальних випромінень» працює в групах IEC SC 45B, надає зауваження та голосує за проектами стандартів, що розробляє комітет.

Наразі в комітеті у роботі знаходяться 9 робочих проектів міжнародних стандартів [1]:

- IEC 60325 ED4 «Прилади радіаційного захисту – вимірювачі та монітори забруднення альфа-, бета- та альфа/бета (енергія бета-випромінювання >60 кеВ)
- IEC 60761-1 ED3 «Прилади радіаційного захисту. Обладнання для постійного моніторингу радіоактивності в газоподібних викидах. Частина 1. Загальні вимоги»
- IEC 60761-2 ED3 «Обладнання для безперервного моніторингу радіоактивності в газоподібних викидах. Ч. 2. Спеціальні вимоги до засобів контролю радіоактивних аерозолів, включаючи трансуранові аерозолі».
- IEC 61577-6 ED1 «Прилади радіаційного захисту. Прилади вимірювання радону та продуктів розпаду радону. Частина 6. Пасивні інтегровані системи» вимірювання радону, що використовують твердотільні ядерні трекові детектори»
- IEC TS 62461 ED1 «Прилади радіаційного захисту – Визначення невизначеності вимірювань»
- IEC 62533 ED2 «Прилади радіаційного захисту – Високочутливі ручні прилади для виявлення фотонів радіоактивного матеріалу»

- ІЕС 62709 ED2 «Прилади радіаційного захисту – Скринінг безпеки людей – Вимірювання ефективності зображення рентгенівських систем»
- ІЕС 63391 ED1 «Активні системи міліметрового діапазону для перевірки безпеки людей. Загальні вимоги»
- ІЕС 63596 ED1 «Прилади відтворення для систем виявлення радіоактивних матеріалів».

Таблиця 1 – Серія стандартів, розроблена для приладів радіаційного захисту

Тип приладу	ІЕС номер проєкту	Назва стандарту	Введено в Україні
Натільні	62401	Прилади для радіаційного захисту – Персональні радіаційні пристрої (PRD) для виявлення незаконного обігу радіоактивних матеріалів	ДСТУ EN ІЕС 62401:2022
	62618	Прилади радіаційного захисту – Персональні радіаційні детектори (SPRD) на основі спектроскопії для виявлення незаконного обігу радіоактивних матеріалів	ДСТУ EN 62618:2022
	62694	Прилади радіаційного захисту – Рюкзаківий радіаційний детектор (BRD) для виявлення незаконного обігу радіоактивних матеріалів	ДСТУ EN 62694:2022
Портативні та ручні	62327	Прилади радіаційного захисту – Ручні прилади для виявлення та ідентифікації радіонуклідів і для індикації потужності еквівалента дози навколишнього середовища від фотонного випромінювання	ДСТУ EN 62327:2022
	62533	Прилади радіаційного захисту – Високочутливі ручні прилади для виявлення фотонів радіоактивного матеріалу	ДСТУ EN 62533:2022
	62534	Прилади радіаційного захисту – Високочутливі ручні прилади для виявлення нейтронів радіоактивних матеріалів	ДСТУ EN 62534:2022
Портали	62244	Прилади радіаційного захисту – Встановлені радіаційні портальні монітори (RPM) для виявлення незаконного обігу радіоактивних і ядерних матеріалів	ДСТУ EN ІЕС 62244:2022
	62484	Прилади радіаційного захисту – Портальні монітори на основі спектроскопії, які використовують для виявлення та ідентифікації незаконного обігу радіоактивних матеріалів	ДСТУ EN 62484:2022
Формат даних	62755	Прилади радіаційного захисту – Формат даних для збору цифрових даних у режимі списку, який використовують для виявлення та вимірювання радіації	ДСТУ EN ІЕС 63047:2022
Мобільні системи	63121	Прилади радіаційного захисту – Мобільні системи, встановлені на транспортних засобах для виявлення незаконного обігу радіоактивних матеріалів	ДСТУ EN ІЕС 63121:2022

У зв'язку з вищезгаданим, запрошуємо всі зацікавлені організації долучатися до обговорення нових проектів стандартів або ставати керівниками у розробці нових проектів у робочих групах ІЕС ТС 45/SC 45A.

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

ДОСЛІДЖЕННЯ СИГНАЛУ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ ПРИ ЧИСТОВОМУ ТОЧІННІ ЗАГАРТОВАНОЇ СТАЛІ ШХ15 РІЗЦЯМИ ІЗ РСВН КОМПОЗИТІВ

Точіння загартованих сталей найбільш продуктивно і якісно виконується інструментом, оснащеним полікристалічним надтвердим матеріалом (ПНТМ) на основі кубічного нітриду бору (КНБ), який має високу твердість, термостійкість, теплопровідність і хімічно інертний до залізовуглецевих сплавів [1]. Використання такого інструменту дозволило при обробці загартованих сталей у 5–10 разів збільшити швидкість різання в порівнянні з твердосплавними різцями [2]. Але разом з тим процес різання загартованих сталей різцями на основі КНБ часто супроводжується нестабільністю силових характеристик і високою температурою в зоні різання, що негативно впливає на працездатність інструменту та якість обробленої поверхні [3].

В останні десятиріччя почали застосовувати двохстадійне спікання порошків кубічного нітриду бору (cBN) з алюмінієм в умовах високого тиску, що обумовило появу матеріалів з новими структурами [4, 5]. На даний час вдалось отримати нові РСВН композити з новими структурами, які показали хороші фізико-механічні характеристики [6]. Тому дослідження працездатності інструменту оснащеного РСВН композитами з новими структурами при точінні загартованих сталей методом акустичної емісії (АЕ) є актуальними.

Метою даної роботи є дослідження впливу швидкості різання та глибини різання на амплітуду сигналу АЕ при чистовому точінні загартованої сталі ШХ15 різцями з РСВН композитів з новими структурами. У відповідності з [7] було виготовлено 5 квадратних різальних пластин РСВН квадратної форми (табл. 1).

Таблиця 1 – Зернистість і фазовий склад різальних пластин

№ пластины	Зернистість	Фазовий склад
1	2/1	90% BN+10% AlN
2	3/2	
3	7/5	87% BN+13% AlN
4	10/7	87% cBN + 10AlN + 1% AlB ₂ + 1% Al
5	60/40	86,7% cBN +10AlN +3% AlB ₂ +0,3% Al

Спінання проводили в сталевому апараті високого тиску "ковадло з заглибленням" з діаметром лунки 40 мм. Вихідні порошки: кубічний нітрид бору марки КМ зернистістю від 2/1 до 60/40 мкм виробництва концерну АЛКОН НАН України і порошок алюмінію марки АСД (фракція – 40). Спінання проводили в дві стадії: спочатку просочували шихту алюмінієм при $p = 2,5$ ГПа, $T = 1100$ К, протягом $\square\square = 30$ с, потім завершували спінання при $p = 4,2$ ГПа, $T = 1750$ К, $\square\square = 240$ с.

Сигнал акустичної емісії різців з PCBN композитів вивчали на автоматизованому стенді на базі токарного верстата з ЧПУ мод. ТПК 125ВМ [8]. Блок схема системи представлена на рис. 1.

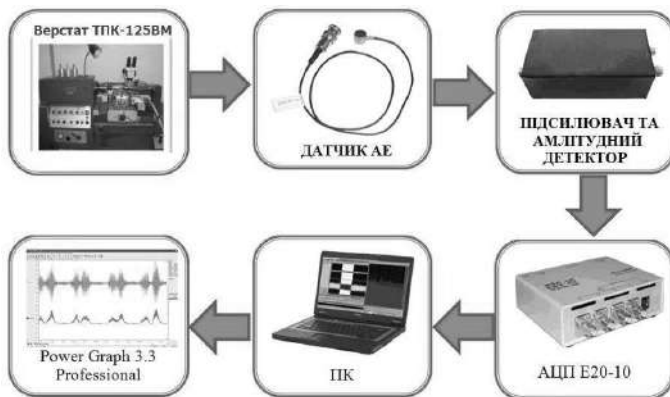


Рис. 1 – Блок-схема автоматизованої системи для дослідження сигналу АЕ при свердлінні

Експериментальні дослідження виконували при чистовому точінні зразка із загартованої сталі ШХ15 твердістю 56–60 HRC. Різець з механічним кріпленням квадратної різальної пластини мав геометричні

параметри: передній кут $\gamma = -10^\circ$; задній кут $\alpha = 10^\circ$; радіус при вершині $r = 0,08$ мм.

Експериментальна серія для кожної пластини складалася з п'яти дослідів. Подача на оберт S і глибина різання t у всіх дослідах були фіксовані і дорівнювали значенням: $S = 0,1$ мм/об; $t = 0,1$ мм. Використовувалися дискретні значення швидкості різання в діапазоні $v = 0,8 - 4,9$ м/с.

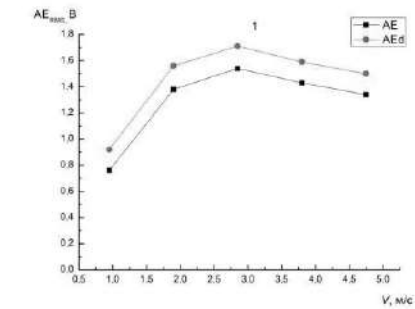
Важливим елементом розробленої системи є ширококутовий датчик АЕ оригінальної конструкції [9]. Для з'єднання датчика АЕ з АЦП застосовували попередній підсилювач з великим вхідним та малим вихідним опором, а також амплітудно-піковий детектор (АПД). Для запису на комп'ютер сигналу АЕ і сигналу після пікового детектора використовували АЦП з частотою опитування 2 МГц використовували АЦП та програму «Power Graph» [10].

Сигнал акустичній емісії в діапазоні частот 200–2000 кГц, тому крім вбудованого в попередній підсилювач електричного фільтру високих та низьких частот, була використана подальша цифрова фільтрація сигналу АЕ. Для цього в програмі «Power Graph» скористалися функцією HighPass – фільтр, що пропускає верхні частоти (ВЧ фільтр). Амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) сигналу з датчика АЕ після фільтрації знаходилась в частотному діапазоні вище 100 кГц.

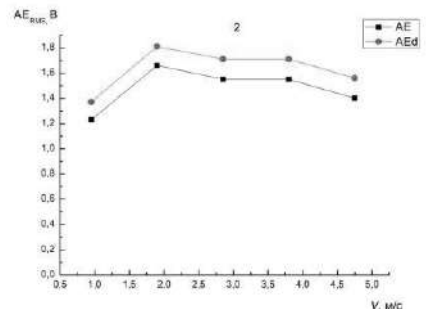
Результати досліджень сигналів АЕ основного (АЕ) та детектованого (АЕd) при чистовому точінні сталі ШХ15 для всіх 5 пластин згідно табл. 1 приведені на рис. 2.

З графіків на рис. 2 видно, що найменші значення сигналу АЕ спостерігалися для пластини 1 в діапазоні швидкостей 1–2 м/с, а також для пластини 3 у всьому діапазоні швидкостей. При швидкості 5 м/с сигнал АЕ для пластини 3 був майже в 2 рази нижчим, ніж для пластини 2. В цілому для всіх пластин крім пластини 3 характерне різке збільшення сигналу АЕ при збільшенні швидкості від 1 до 2 м/с, це може бути пов'язане з виникненням автоколивань системи на низьких швидкостях і, як наслідок, більшим зростанням нестабільності процесів в зоні різання.

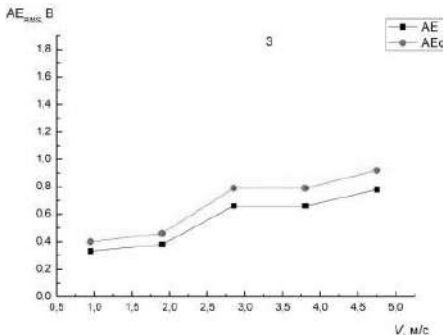
Таким чином проведене дослідження показало доцільність використання РСВН композитів з новими структурами для точіння загартованої сталі ШХ15. З аналізу сигналів АЕ можна зробити висновок, що найбільш доцільно при точінні загартованої сталі ШХ15 використати пластини 1 та 3.



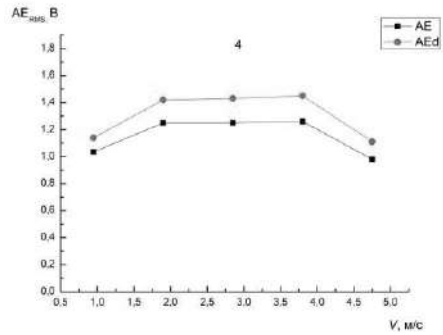
a



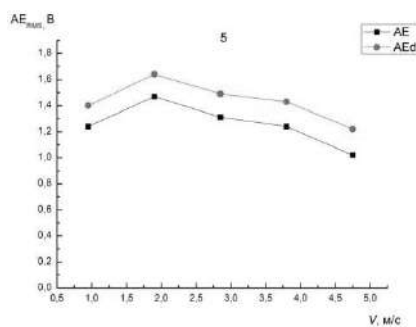
б



в



г



д

Рис. 2 – Зміна сигналів АЕ в залежності від швидкості різання v (а–д)

Література

1. Клименко, С.А. Высокопроизводительная чистовая лезвийная обработка деталей из сталей высокой твердости / С.А. Клименко, А.С. Манохин, М.Ю. Копейкина, С.Ан. Клименко, Ю.А. Мельничук, А.А. Чумак. – К. : ИСМ им. В.Н. Бакуля; 2018. – 304 с.

2. Гриценко, Э.И. Точение никелевых сплавов инструментом из кубического нитрида бора / Э.И. Гриценко, П.Е. Дальник, В.И. Чапалюк. – К. : Наук. думка, 1993. – 108 с.

3. Сверхтвердые материалы. Получение и применение: В 6 т. / под общ. ред. Н.В. Новикова. Обработка материалов лезвийным инструментом / под ред. С.А. Клименко. – К. : ИСМ им. В. Н. Бакуля; ИПЦ АЛКОН НАНУ, 2006. – Т. 5. – 315 с.

4. Стахнив, Н.Е. Динамические явления при чистовом точении закаленных сталей инструментом из композита на основе КНБ / Н.Е. Стахнив, Л.Н. Девин, И.А. Петруша, А.С. Осипов // Сверхтв. мат. – 2009. – №3. – С 75–84 с.

5. Стахнив, Н.Е. Исследование влияния износа инструмента с композитом на основе КНБ на вибрации при чистовом точении закаленных сталей / Н.Е. Стахнив, Л.Н. Девин // Сверхтв. мат. – 2012. – № 3. – С 75–84.

6. Новіков М.В. Пат. 25281А, Україна, МКИ С04В35/5831. Спосіб спікання композиційного матеріалу на основі кубічного нітриду бору / М.В. Новіков, О.О. Шульженко, М.П. Беженар, С.А. Божко. 1998. – Бюл. № 6.

7. Девин, Л.Н. Влияние зернистости шихты на ударную прочность и демпфирующие характеристики композитов BN–Al / Л.Н. Девин, Н.П. Беженар, С.В. Рычев, Я.М. Романенко. – Сверхтв. мат. – 2020. – №3. – С. 83–93.

7. Devin, L.N. The effect of charge grit on impact strength and damping characteristics of BN–Al composites / L.N. Devin, M.P. Bezhenar, Ya.M. Romanenko // J. of Superhard Mat. – 2020. –42(3). – P. 190–198.

8. Девин, Л.Н. Інформаційно-вимірювальна система для дослідження процесу різання / Л.Н. Девин, Н.Е. Стахнив, В.П. Квасников // Вісн. Інж. акад. України. – 2013. – вип. № 2. – С. 257–261.

9. Девин, Л.Н. Широкополосные датчики акустической эмиссии для диагностики состояния режущих инструментов / Л.Н. Девин, Н.В. Новиков // Технич. диагност. и неразруш. контр. – 2008. – № 4. – С. 81–85.

10. Девин, Л.Н. Применение пакета Power Graph для исследования процесса резания / Л.Н. Девин, А.Г. Сулима // Пром. измер. контроль, автомат. Диагност. – 2008. – № 3. – С. 24–26.

ОТРИМАННЯ ШЛІФПОРОШКІВ АЛМАЗУ МАРОК АС15-АС50 ОДНОРІДНИХ ЗА МІЦНІСТЮ ТА ЛІНІЙНИМИ РОЗМІРАМИ

В інструментальному виробництві широко застосовуються порошки синтетичного алмазу марок АС15-АС50 при обробці твердого сплаву, кераміки, скла та інших крихких матеріалів. Працездатність будь-якого алмазомісткого інструменту значною мірою визначається властивостями алмазів.

Дослідження проводили з використанням вихідних шліфпорошків алмазу марки АС20 зернистості 125/100, синтезованих в ростовій системі Ni-Mn-C.

Для видалення зі складу шліфпорошку алмазних зерен, що містять металеві внутрішньокристалічні включення та домішки і володіють вищою магнітною сприйнятливістю, шліфпорошки на початку розділяли в магнітному полі з різною напруженістю магнітного поля від 0 до 2 Т на магнітну і немагнітну фракції, які розрізняються між собою за магнітними властивостями. В отриманих порошках вимірювали: магнітну сприйнятливість (χ), руйнівне навантаження зерен при стисканні (P), термостійкість у вигляді коефіцієнта термостабільності (K_{TC}). Результати визначення наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати розділення в магнітному полі алмазів марки АС20 зернистості 125/100

Продукти розділення	Вихід, %	$\chi \cdot 10^{-8}$ м ³ /кг	P, Н	K _{TC} , %	Марка
Магн. 1	9,5	29,4	25,1	59	АС32
Магн. 2	10,5	27,2	26,4	68	АС32
Магн. 3, н/м	80,0	7,5	24,2	85	АС20
Вихідний	100,0	10,7	23,3	78	АС20

Як випливає з табл. 1 після розподілу магнітна сприйнятливість шліфпорошків алмазу магнітних фракцій приблизно в 3,5 рази вище магнітної сприйнятливості алмазів немагнітної фракції, що призводить до зниження їх термостійкості на 30%. Тому далі проводили поділ зе-

рен алмазу немагнітної фракції за дефектністю їхньої поверхні за допомогою адгезійно-магнітного розподілу.

Перед проведенням розподілу на дефектні ділянки поверхні зерен алмазного порошку у водному середовищі слаболужного розчину з рН=9 наносили тонкодисперсні феромагнітні частки заліза з розміром часток менш ніж 1000 нм з концентрацію цих часток не більше ніж 2,5%. Процес нанесення проводили при постійному перемішуванні при температурі ну більше 40 °С протягом 25 ± 2 хв. Після проведення операції нанесення воду із частками порошку заліза, що не закріпилися, зливали, а порошок алмазу із частками заліза, що закріпилися на поверхні зерен, висушували, а потім розділяли в магнітному полі на електромагнітному сепараторі 138 Т при напруженості від 5 до 20 А/м з отриманням чотирьох фракцій розділення порошоків алмазу з різною дефектністю поверхні та міцності і з високою однорідністю за міцністю.

Для збільшення вмісту основної фракції і підвищення коефіцієнта однорідності за лінійними розмірами зерен алмазу використовували остаточну класифікацію за зернистостями на ситах ряду R-20 з метою виділення вузьких класів зернистостей або додаткову класифікацію за формою зерен алмазу на вібраційному столі.

Після розділення для кожної окремої фракції визначали вихід в %, дефектність поверхні як коефіцієнт поверхневої активності (K_a), руйнівне навантаження зерен при стисканні (P), термостійкість (K_{TC}), оцінювали однорідність алмазів за міцністю ($K_{\text{одн.міц}}$) та лінійними розмірами ($K_{\text{одн.л.р}}$). Результати вимірювання приведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Результати адгезійно-магнітного сортування алмазів марки АС20 зернистості 125/100, з використанням нанесення тонкодисперсних феромагнітних часток в водному середовищі у слаболужному розчині з рН = 9

Фракція розподілу	Вихід, %	K_a , %	P , Н	K_{TC} , %	$K_{\text{одн.міц}}$, %	$K_{\text{одн.л.р}}$, %	Марка за ДСТУ 3292
1	11,5	0,57	40,8	93	75	58	АС50
2	34,0	0,71	28,3	90	72	56	АС32
3	43,7	0,89	20,6	75	65	52	АС20
4	10,8	1,15	9,5	65	57	50	АС15
Вихідний	100		24,2	85	46	38	АС20

За результатами випробувань (табл. 2) встановлено, що при розподілі за дефектністю поверхні алмазів немагнітної фракції зернистості 125/100, було отримано порошки 1 і 4 фракцій розподілу які за кое-

фіцієнтом поверхневої активності K_a відрізняються між собою приблизно у 2 рази, що забезпечує виділення алмазів марок АС50 та АС32 у кількості 45,5% при чому 11,5% марки АС50. Термостійкість одержаних порошків 1 та 2 фракцій у порівнянні з термостійкістю алмазів 3 і 4 фракцій приблизно на 25% вище. Однорідність за міцністю та лінійними розмірами алмазів цих фракцій приблизно на 20% вище однорідності алмазів 3 і 4 фракцій. Тому шліфпорошки алмазу перших двох фракцій розділення алмазів зернистості 125/100 марки АС20, синтезованих в ростовій системі Ni-Mn-C, відповідно до технічних умов ТУ У 23.9-05417377-367:2020 "Шліфпорошки з синтетичних алмазів елітні для оснащення алмазного інструменту" можна віднести до елітних марок шліфпорошків.

Таким чином, при сортуванні алмазів зернистості 125/100 марки АС20, одержаних в системі Ni-Mn-C, були отримані шліфпорошки марок АС50-Е та АС32-Е з високою термостійкістю та з високою однорідністю за міцністю і лінійними розмірами зерен алмазу, які відповідають технічним умовам ТУ У 23.9-05417377-383:2023 «Елітні шліфпорошки з синтетичних алмазів для оснащення шліфувального інструменту».

*Комарова Г. Л., Візер А. М. Український державний університет залізничного транспорту, Харків
Осадчий А.В. ДУО «Політехмед», Київ, Україна*

ГІБРИДНІ АУДИТИ ЯК ІННОВАЦІЙНИЙ ПІДХІД ДО СЕРТИФІКАЦІЇ МЕДИЧНИХ ВИРОБІВ

Пандемія COVID-19 змусила регуляторні органи переглянути підходи до сертифікації медичних виробів та спричинила впровадження нових процедур для застосування альтернативних методів аудиту за допомогою інформаційно-комунікаційних технологій (ICT), що базуються на рекомендаціях MDCG 2020-4 і IAF MD 4. Одним із ключових інструментів забезпечення якості медичних виробів у нових умовах стали гібридні аудити, які поєднують перевірки на місці виробництва з використанням інформаційно-комунікаційних технологій (ICT). Це дозволяє виконувати вимоги MDR (Medical Devices Regulation) та IVDR (In-Vitro Diagnostics Regulation), одночасно оптимізуючи ресурси [1–2].

Метою дослідження є аналіз ефективності гібридних аудитів у процесі сертифікації медичних виробів за MDR/IVDR. Основна увага приділяється оцінці зниження витрат часу та підвищення ефективності використання ресурсів при проведенні аудитів, а також впливу на екологічність та якість оцінки відповідності.

Гібридний аудит підхід базується на поєднанні дистанційних методів і фізичних перевірок на місці, з використанням сучасних технологій відеоконференцій, хмарних сховищ і баз даних. У дослідженні будуть аналізуватися показники ефективності гібридних аудитів на прикладі підприємств, які пройшли сертифікацію за MDR/IVDR, з використанням звітів нотифікованих органів та практик міжнародних сертифікаційних агентств [3].

Гібридні аудити дозволяють заощаджувати до 20–25% робочого часу аудиторів, підвищити доступність експертів та ефективність оцінки документації, знизити витрати на подорожі та ризи виїзду у небезпечні зони, знизити рівень вигорання аудиторів та екологічний вплив. Однак існують недоліки, пов'язані з дистанційною оцінкою доказової бази та забезпеченням безпеки даних. Також регламенти MDR та IVDR вимагають проведення аудиту на місці виробника, особливо на початковому етапі та під час наглядових аудитів. Частина гібридного аудиту, принаймні 25% повинна проводитися на місці, щоб охопити виробничі процеси [3–4].

Під час проведення гібридних аудитів на місці повинні перевірятися інфраструктура, робоче середовище, виробничі процеси, складські приміщення, перевірка закуплених продуктів, також проводити перевірку процесів тестування, якщо вони є частиною внутрішніх виробничих процесів. А сфери які можуть бути перевірені дистанційно це управління системою якості, внутрішній аудит, управління постачальниками, розробка та документація [4].

Література

1. MDCG 2020-4. Guidance on temporary extraordinary measures related to medical device notified body audits during COVID-19 quarantine orders and travel restrictions.–https://health.ec.europa.eu/document/download/8811a216-fdd1-45c7-bd82-81a37696f05_en?filename=md_mdcg_2020_4_nb_audits_covid-19_en.pdf
2. IAF MD 4:2023. Use of Information and Communication Technology (ICT) for Auditing/Assessment Purposes. – https://iaf.nu/iaf_system/uploads/documents/IAF_MD4_Issue_2_Version_4_14062023.pdf

3. NBCG-MED 2024-1. Application of hybrid audits to quality management system assessments under MDR/IVDR – operational elements. June 2024. – https://health.ec.europa.eu/document/download/add080e7-d7df-4b1d-8c37-f86efc3e9142_en?filename=md_nbcg-med-doc_2024-1_en.pdf

4. Team-NB. Notified bodies’ paper on the application of hybrid audits to quality management system assessments under MDR/IVDR. Version 1. September 26th, 2022. <https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.team-nb.org%2Fwp-content%2Fuploads%2Fmembers%2FM2022%2FTeam-NB-PositionPaper-HybridAudits-V1.docx&wdOrigin=BROWSELINK>

Комарова Г.Л., Голюков Д.В. Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна

АНАЛІЗ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ В ПРОМИСЛОВОСТІ: ВІД TQM ДО СУЧАСНИХ ЦИФРОВИХ РІШЕНЬ

Управління якістю на промислових підприємствах є ключовим фактором для досягнення конкурентних переваг та сталого розвитку. Протягом десятиліть підходи до управління якістю еволюціонували, починаючи з традиційних методів контролю якості до комплексних систем управління, таких як TQM (Total Quality Management), і закінчуючи сучасними цифровими рішеннями.

Мета цього аналізу – розглянути основні етапи розвитку систем управління якістю в промисловості, їх ключові принципи, а також сучасні підходи та технології, спрямовані на автоматизацію та цифровізацію процесів контролю якості.

Еволюція систем управління якіст.

1. Традиційний контроль якості (QC). На ранніх етапах промислового розвитку основна увага приділялася постфактумному контролю продукції. Продукція перевірялася на відповідність стандартам, і виявлялися дефекти. Цей підхід був реактивним: недоліки усувалися вже після їх виявлення, що часто призводило до втрат і зниження ефективності.

2. Загальне управління якістю (TQM). У 1980-х роках з'явився більш проактивний підхід до управління якістю – Total Quality Management (TQM).

Концепція TQM передбачає інтеграцію всіх підрозділів і співробітників підприємства в процес забезпечення якості, що дозволяє мінімізувати дефекти і скоротити витрати за рахунок постійного вдосконалення процесів.

3. Шість сигм (Six Sigma). У 1990-х роках компанія Motorola розробила методологію Шість сигм. Ця методологія спрямована на зниження варіабельності процесів і зменшення кількості дефектів до мінімального рівня (ціль — не більше 3,4 дефекта на мільйон можливостей). Основні етапи методології Six Sigma (DMAIC) включають:

- Визначення (Define): Визначення проблем і цілей.
- Вимірювання (Measure): Вимірювання поточних процесів.
- Аналіз (Analyze): Аналіз причин відхилень.
- Вдосконалення (Improve): Впровадження поліпшень.
- Контроль (Control): Підтримка досягнутих покращень.

Шість сигм акцентує увагу на даних та аналітиці, що робить його особливо корисним для великих і складних виробництв, де потрібні точні та передбачувані результати.

Сучасні підходи до управління якістю.

З розвитком технологій і цифрових рішень з'явилися нові можливості для автоматизації та вдосконалення управління якістю на підприємствах. Сучасні системи управління якістю часто включають елементи Індустрії 4.0, такі як Інтернет речей (IoT), великі дані (Big Data) і штучний інтелект (AI).

1. Цифровізація управління якістю

- IoT: Інтернет речей дозволяє збирати дані в реальному часі з датчиків, встановлених на виробничому обладнанні та продуктах. Це дозволяє підприємствам відстежувати стан процесів, виявляти відхилення та прогнозувати можливі дефекти до їх появи.
- Big Data та аналітика: Великі дані використовуються для аналізу виробничих процесів і ідентифікації прихованих закономірностей, що дозволяє приймати більш обґрунтовані рішення та покращувати якість продукції.

Штучний інтелект і машинне навчання. AI дозволяє автоматизувати процеси аналізу даних, прогнозування дефектів і навіть прийняття рішень щодо їх усунення. Наприклад, системи комп'ютерного зору

можуть аналізувати виробничі процеси та виявляти дефекти на основі візуальних даних.

2. Автоматизація контролю якості. Сучасні системи контролю якості часто інтегровані з ERP (Enterprise Resource Planning) і MES (Manufacturing Execution Systems), що дозволяє автоматизувати процеси управління виробничими циклами. Автоматизовані системи можуть:

- Збирати і аналізувати дані в реальному часі.
- Відстежувати виконання стандартів якості.
- Автоматично повідомляти про порушення або відхилення від норм.

3. Інтеграція з ланцюгами постачання. Цифровізація дозволяє інтегрувати управління якістю на всіх етапах ланцюга постачання, що особливо важливо для глобальних виробничих мереж. Системи управління якістю тепер можуть взаємодіяти з постачальниками в реальному часі, забезпечуючи контроль якості на всіх стадіях – від сировини до готової продукції.

Переваги цифрових систем управління якістю:

- Підвищення прозорості: Цифрові системи надають повну інформацію про кожен етап виробництва, що дозволяє швидко реагувати на відхилення і покращувати процеси.
- Зниження витрат: Автоматизація процесів управління якістю дозволяє зменшити кількість помилок і браку, що в кінцевому результаті знижує витрати.
- Підвищення гнучкості: Цифрові системи дозволяють швидко адаптувати процеси до змін вимог ринку або нових стандартів якості.
- Прогнозування проблем: Використання штучного інтелекту та аналізу даних дозволяє прогнозувати потенційні дефекти і усувати їх до виникнення реальних проблем.

Висновок. Сучасні системи управління якістю в промисловості еволюціонували від традиційного контролю продукції до комплексних проактивних підходів, орієнтованих на неперервне вдосконалення, інтеграцію всіх учасників та цифровізацію процесів. Цифрові технології, такі як IoT, Big Data і AI, кардинально змінили підхід до управління якістю, роблячи його більш точним, прозорим і гнучким.

Для підприємств, що прагнуть до конкурентоспроможності в умовах глобальної економіки, впровадження сучасних цифрових систем управління якістю стає важливим стратегічним завданням.

Комарова Г.Л. Український державний
університет залізничного транспорту,
Лалазарова Н.О. Харківський національний
автомобільно-дорожній університет,
Афанасьєва О.В. Харківський національний
університет радіоелектроніки, Харків, Україна

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ОСВІТИ ПІД ВПЛИВОМ ІНФОРМАЦІЙНО-ОСВІТНОГО СЕРЕДОВИЩА

Система освіти є однією з фундаментальних засад будь-якого суспільства. Масштабність соціально-економічних змін, їх складність, суперечливість та недостатня наукова обґрунтованість об'єктивно зумовлюють необхідність зміни технологій навчання. Ці перетворення вимагають посилення уваги педагогічної науки та практики до технологій електронного навчання.

Одним із пріоритетних завдань модернізації освіти є інформатизація освіти, головна умова якої – створення єдиного інформаційного освітнього середовища освітнього закладу. Якісно організоване інформаційне освітнє середовище освітньої установи дозволяє створити умови для підвищення якості освіти, допомагає організувати інформаційно-комунікативну взаємодію всіх учасників освітнього процесу. Постійна модифікація інформаційного середовища, зміни, що здійснюються в галузі створення, трансляції та споживання інформації, природно впливають і видозмінюють сферу освіти. В даний час існує безліч способів застосування цифрових досягнень в галузі освіти і навчання.

Зараз розглядається специфіка нового інформаційного освітнього середовища, що формується в результаті інформатизації суспільства. Виявляються її педагогічні та методичні особливості, дидактичний потенціал. Інтеграція всіх можливостей комп'ютерних технологій в освіті допомагають стимулювати пізнавальну діяльність, творчу ініціативу, активну позицію здобувачів стосовно себе та своєї освіти.

Вимогами, що висуваються до інформаційно-освітнього середовища (ІОС), є багатофункціональність, цілісність, модульність, полісуб'єктна спрямованість та багаторівневість. Високоякісна та високотехнологічна ІОС дозволяє системі освіти модернізувати свій технологічний базис, перейти до освітньої інформаційної технології.

Застосування нових інформаційних технологій має сприяти вирішенню педагогічних завдань. Критеріями якості ІОС є насиченість, структурованість та продуктивність. Насиченість можна виразити че-

рез систему показників, що характеризує кількісно та якісно її ресурсний потенціал; структурованість – у зручності навігації та використання здобувачами цих ресурсів; а продуктивність – через систему предметних, метапредметних та особистісних результатів.

Звернення до ІОС суттєво розширює склад та можливості низки компонентів освітнього середовища. Так, до джерел навчальної інформації в цих умовах можна віднести бази даних та інформаційно-довідкові системи, електронні підручники та енциклопедії, ресурси Інтернету і т.п. У таких умовах змінюється роль суб'єктів: у центрі навчання виявляється саме той, хто навчається – його мотиви, мети, його психологічні особливості. Усі методичні рішення (організація навчального матеріалу, використані прийоми, методи, вправи тощо.) переломлюються через призму особистості здобувача – його потреб, можливостей, активності, інтелекту.

Електронні освітні ресурси та нова ІОС, що формується на їх базі, підвищують якість навчання. Однак підвищення якості навчання буде реалізовано повною мірою лише в тому випадку, якщо навчання буде орієнтоване на інноваційну модель, найважливішими характеристиками якої є особистісна спрямованість, встановлення на розвиток творчих здібностей здобувачів. ІОС, що розвивається, необхідна для формування та самореалізації інтелектуально розвиненої особистості. Висока якість навчання, впровадження нових освітніх технологій та успішний перехід на ІОС нового покоління стають можливими завдяки певному рівню розвитку ІОС у закладах вищої освіти.

Таким чином, ІОС освітньої установи – це єдиний інформаційний простір, ефективна освітня система.

При цьому важливо розуміти, що якість освіти здобувачів підвищується за умови ефективного використання ресурсів та інструментів ІОС, оскільки саме ефективне використання інформаційно-комунікаційних технологій надає можливість та перспективи розвитку системи освіти загалом.

Освіта нової якості забезпечується наявністю інформаційного простору, який дозволяє кожній людині отримувати інформацію в тому обсязі, який необхідний для саморозвитку та самовдосконалення.

За сучасних умов воєнного стану в країні та розповсюдження мутацій штаму вірусу COVID-19 потрібно шукати нові можливості інформаційного освітнього середовища освітнього закладу.

Існує думка, що online освіта замінить класичну освіту, але це неможливо. Тільки поєднання класичної освіти та можливостей online освіти допоможе підвищити якість освіти.

ВИКОРИСТАННЯ АНАЛІТИЧНИХ ПРИЛАДІВ ТА СИСТЕМ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ

Оскільки Україна визнала на державному рівні вектор європейського розвитку, а також налагодження зв'язків із Європейським Союзом, однією з головних цілей виступає дотримання європейських вимог, що передбачає підвищення екологізації промисловості.

За сучасних умов воєнного стану в країні, що ведуть до посилення антропогенного навантаження на довкілля, загострення екологічних проблем, порушення стійкості еколого-економічної системи, питання присвячені розробкам та особливостям використання аналітичних приладів та систем, орієнтованих на вирішення екологічних задач набувають особливої актуальності.

Моніторинг якості повітря є однією з ключових складових охорони навколишнього середовища та забезпечення безпеки населення. Сучасні екологічні виклики, такі як забруднення атмосфери від впливу ракетних ударів, викидами від промислових підприємств та транспорту, вимагають застосування високоточних інструментів для контролю стану повітря.

Однією з провідних компаній в Україні, що спеціалізується на розробці та впровадженні аналітичних приладів для моніторингу якості повітря, є «Автоекоприлад». Аналітичні прилади «Автоекоприладу» базуються на сучасних технологіях вимірювання і забезпечують високу точність даних. Основним призначенням таких приладів є вимірювання концентрації різних хімічних речовин у повітрі, таких як оксиди азоту, сірки, вуглецю, дрібнодисперсні частки, а також інших шкідливих речовин.

Системи моніторингу якості повітря зазвичай занадто великі та складні для встановлення в місцях, де необхідний моніторинг, таких як транспортні розв'язки, а також завантажені магістральні дороги. У цьому сенсі абсолютна точність датчиків має другорядне значення для можливості довести достовірну інформацію про тренди та можливість розміщення в декількох місцях вздовж основних доріг.

AQMesh – це система контролю якості повітря з невеликими електрохімічними датчиками для вимірювання якості повітря в приміщеннях та на відкритому повітрі, що пропонує локалізовану інформацію

про якість повітря та аналіз даних у режимі реального часу. AQMesh вимірює ключові забруднювачі в атмосферному повітрі, використовуючи кращу технологію малих електрохімічних датчиків у поєднанні із запатентованою обробкою даних, отриманою внаслідок великих глобальних порівнянь даними. Продукт поєднує в собі надійну апаратну платформу з опціями бездротового зв'язку, GPRS-зв'язком, хмарною обробкою даних та безпечним онлайн-доступом. AQMesh має винятково високу якість, ґрунтуючись на багаторічному досвіді розробки обладнання для моніторингу навколишнього середовища в суворих умовах та відповідно до міжнародних стандартів.

AQMesh може застосовуватись у різних місцях (рис. 1). Оскільки цей тип продукту є настільки новим, фахівці-практики тільки починають цінувати способи, якими найкращі дані — висока тимчасова роздільна здатність і висока просторова роздільна здатність — можуть відкривати нові програми. Цей список лише початок недорогого моніторингу якості повітря.



Рис. 1 – Приклад застосування системи контролю якості повітря AQMesh

Широко підтверджена продуктивність та точність AQMesh у польових умовах порівняно з еталонним обладнанням

Аналітичні прилади та системи для моніторингу якості повітря, розроблені компанією "Автоекоприлад", є важливими інструментами для забезпечення екологічної безпеки та охорони здоров'я населення. Завдяки впровадженню автоматизованих систем моніторингу, значно покращується якість управління екологічними ризиками, а також підвищується рівень контролю за станом атмосфери. Компанія "Автоекоприлад" відіграє важливу роль у розвитку інфраструктури екологічного моніторингу в Україні, допомагаючи зробити повітря чистішим та безпечнішим для життя та здоров'я.

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ СПРЯЖЕНИХ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТУ З ТРИБОТЕХНІЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Зносостійкість обертових деталей є критично важливою для машинобудування, оскільки ці деталі зазнають постійних механічних навантажень, тертя і впливу агресивних середовищ під час роботи. Забезпечення високої зносостійкості спряжених деталей транспорту є ключовим фактором для підвищення надійності та тривалості експлуатації транспортних засобів. Триботехнічні характеристики визначають ефективність взаємодії поверхонь тертя та впливають на загальний ресурс деталей.

Використання високоміцних сплавів, композитних матеріалів та спеціальних покриттів може значно підвищити зносостійкість деталей. Наприклад, застосування титанових сплавів, які мають високу твердість і корозійну стійкість, дозволяє зменшити знос деталей у агресивних умовах експлуатації, особливо ефективними є матеріали з низьким коефіцієнтом тертя та високою твердістю. Композитні матеріали, що поєднують у собі метали, кераміку або полімери, забезпечують оптимальний баланс між вагою, міцністю та зносостійкістю.

Застосування сучасних методів обробки поверхонь: термічна, хіміко-термічна та механічна обробка дозволяють модифікувати поверхневі шари деталей, що підвищує їх зносостійкість. Азотування, карбонітрування та плазмова обробка забезпечують створення твердих і зносостійких поверхневих шарів. Застосування сучасних мастил, що зменшують тертя і знос, а також мають високу стабільність у широкому діапазоні температур, може значно подовжити термін служби спряжених деталей.

Нанесення спеціальних покриттів, таких як DLC (алмазоподібні вуглецеві покриття), титаново-нітридні, керамічні та металеві покриття, забезпечує зниження тертя, збільшення твердості та зносостійкості поверхонь деталей. Ці покриття не тільки захищають від механічного зносу, але й зменшують вплив корозії, окислення та підвищують стійкість до високих температур.

Усі процеси взаємодії на поверхні та руйнування є наслідком енергетичного та кінетичного впливу, що відбувається в межах трибоактивації або пасивації, і ці процеси мають спільну енергетичну

основу. Взаємодія між поверхнями, що контактують, супроводжується локальними змінами енергетичного стану матеріалів, що в свою чергу впливає на механохімічні властивості та стійкість поверхонь. При досягненні певного рівня енергії трибоактивація може викликати інтенсивне зношування через активацію атомів або молекул на поверхні, що підвищує їхню реактивність.

У разі, коли енергетичний вплив знаходиться на рівні, який забезпечує баланс між активацією та пасивацією, відбувається контрольоване зношування, яке не призводить до серйозних пошкоджень. Проте, якщо рівновага порушується, енергетичні процеси можуть призвести до прискореного руйнування поверхонь через утворення тріщин, мікроруїнувань та інших дефектів. Ці енергетичні зміни можуть також спричинити хімічні реакції на поверхні, що призводить до утворення нових сполук, які можуть або захищати поверхню від подальшого зношування, або навпаки, підвищувати її крихкість. Таким чином, розуміння і контроль енергетичних процесів на поверхнях трибоспряжень є ключовим для підвищення зносостійкості та довговічності деталей, що взаємодіють.

Використання наноматеріалів, модифікаторів тертя та плазмового осадження покриттів, відкриває додаткові можливості для значного підвищення зносостійкості спряжених деталей транспорту. Наноматеріали, завдяки своїм унікальним властивостям, зокрема високій міцності, жорсткості та термічній стабільності, здатні значно зменшувати знос поверхонь за рахунок створення захисного шару, який ефективно протидіє механічним та хімічним впливам. Крім того, наноструктуровані покриття можуть зменшувати коефіцієнт тертя, що знижує енергетичні втрати під час експлуатації.

Інтеграція наноматеріалів, модифікаторів тертя та плазмових покриттів у виробничі процеси є перспективним напрямом розвитку транспортного машинобудування, спрямованим на підвищення загальної ефективності і стійкості транспортних засобів. Завдяки цим матеріалам і покриттям знижується потреба в частих ремонтах і замінах деталей, що підвищує надійність техніки і знижує експлуатаційні витрати. Впровадження таких рішень у виробництво є важливим кроком до створення більш ефективних і довговічних транспортних засобів та машин.

Висновки. Розробка системної методики для оцінки триботехнічних параметрів у порівняльному та аналітичному аналізі тертя та зношування обертових спряжених пар деталей автомобілів опирається

на попередні досягнення в галузі триботехніки та механіки з метою визначення існуючих методик та критеріїв оцінки.

Регулярний моніторинг стану спряжених деталей та параметрів триботехнічних характеристик дозволяє вчасно виявляти і зміни та проводити відповідні коригувальні заходи, що сприяє збільшенню ресурсу деталей.

Розробка нанотехнологій та нового класу приладів наноелектромеханічних систем на основі існуючих наукових відкриттів у галузі нанотрибології відкриє нові можливості та конкурентні переваги.

Література

1. Аулін В.В. Фізика структурних перетворень матеріалу в зоні обробки концентрованими потоками енергії та тертя і зношування / В.В. Аулін // Проблеми трибології. – 2007. – №2 (44) – С. 57–59.

2. Варваров, В.В. Про фізичний сенс коефіцієнта тертя в умовах аномально низького тертя і зношування / В.В. Варваров // Зб. наук. праць УкрДУЗТ. – Харків : УкрДУЗТ, 2020. – вип. 189. – С. 6–13.

3. Яровий, Р.М. Застосування нанотехнологій в машинобудуванні / Р.М. Яровий, В.А. Дербаба // Молодь : наука та інновації : мат. XI Міжнарод. наук.-техн. конф. студ., асп. та мол. вч. – Дніпро : НТУ ДП, 2023. – Т. 1. – С. 125–126.

Лаврінченко В.І., Скрябін В.О. Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ,
Солод В.Ю., Тищенко В.А. Дніпровський державний технічний університет МОН України, Кам'янське, Україна

СУЧАСНІ ДОСЛІДЖЕННЯ В ПИТАННЯХ, ПОВ'ЯЗАНИХ ІЗ ОСОБЛИВОСТЯМИ ОБРОБКИ В'ЯЗКИХ ТА КРИХКИХ МАТЕРІАЛІВ

Як відомо, пластичні і крихкі матеріали мають різні механізми формування стружки. В пластичному в'язкому матеріалі стружкоутворення відбувається еластично і він пластично деформується до досягнення критичної товщини стружки, а надалі утворюється стружка і відсікається від заготовки. Для крихкого матеріалу процес стружкоутворення також починається з пружної і пластичної деформації, але з-за властивостей матеріалу ця фаза є набагато меншою, аніж пластичне

стружкоутворення [1, 2]. Це явище відбувається з-за зародження мікротріщин при крихкому стружкоутворенні, при якому видалений матеріал подрібнюється на дрібні шматочки. В даній роботі ми основну увагу приділяємо сучасним дослідженням (за 2023–2024 рр.), пов'язаних із особливостями обробки в'язких та крихких матеріалів, які є у науковій літературі [1–6].

Робота [1] присвячена застосуванню методу адитивного виробництва для виготовлення високопродуктивних шліфувальних кругів та застосуванню фотосмол з високою термостійкістю для шліфування як в'язких, так і твердих крихких матеріалів. Ця робота мала на меті дослідити зв'язки на основі акрилатної смоли з різними механічними та термічними характеристиками для друку шліфувальних кругів. Виявлено, що використання зв'язки з вищими механічними та термічними характеристиками може забезпечити високе утримання зерна при підвищених температурах та зменшує зусилля шліфування (до 58 і 18% у випадку м'яких і твердих металів відповідно). Шорсткість шліфованої поверхні значно покращилася завдяки використанню смоли, стійкої до високих температур. Показано зменшення значень шорсткості на 33 і 30% для алюмінію і загартованої сталі, відповідно, порівняно з тими, що були відшліфовані зі смолою, стійкою до нижчих температур.

Перехід від пластичного до крихкого в режимі різання є важливим явищем у надточній обробці та обробці поверхні крихких матеріалів. В роботі [2] за допомогою методу молекулярної динаміки досліджено вплив глибини різання (depth of cut – DoC) на режим різання та еволюцію шорсткості. Таке моделювання продемонструвало, що модель перехідної глибини різання (transitional depth of cut – TDoC) точно передбачає механізми видалення матеріалу, на які впливають як властивості матеріалу, так і глибина різання. Коли глибина різання збільшується, робочий механізм переходить від утворення зубчастої стружки, спричиненої зсувом, до сколювання стружки (рис. 1). Дослідження середньоквадратичної шорсткості продемонструвало, що шорсткість є прямим результатом механізму утворення стружки і, як правило, вона є вищою, коли відбувається поломка стружки.

Розтріскування дуже впливає на видалення матеріалу і цілісність поверхні під час абразивної обробки крихких матеріалів. Абразивну обробку можливо спростити, представив серію подряпин інденторами різної форми. В статті [3] побудована модель поля напружень, викликаних подряпинами, для аналізу поведінки розтріскування при дряпанні крихких матеріалів. Модель враховує конічні, пірамідальні і сферичні (CPS) індентори. Результати свідчать, що навантаження при

дряпанні знижується при застосуванні більш гострого індентора або сферичного індентора з меншим радіусом. Чим більшою є глибина подряпини, тим легше виникають радіальні, серединні і бокові (RML) тріщини. Бокова тріщина легко виникає, коли індентор стає гострим. Зародження радіальної тріщини змінюється з положення перед індентором на положення за ним по мірі збільшення глибини подряпини або зменшення кута при вершині. Розміри тріщин RML збільшуються із збільшенням глибини подряпини або кута при вершині. Дослідження дає рекомендації по вибору геометрії абразивних зерен для збільшення швидкості зйому матеріалу і зменшення тріщин в процесі абразивної обробки крихких матеріалів.

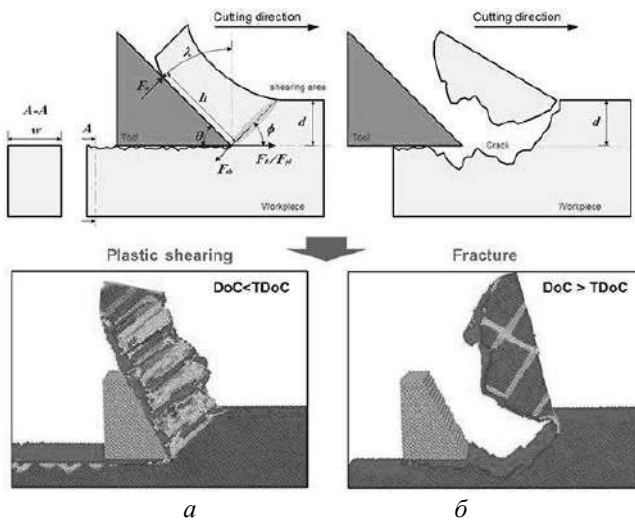


Рис. 1 – Моделювання утворення стружки у режимі пластичного (а) та крихкого (б) різання [2]

Насамкінець розглянемо особливості обробки м'яких матеріалів.

В дослідженні [4] застосований механізм пластичності з градієнтом деформації, для вивчення розмірного ефекту у поведінці монокристалічної міді при дряпанні. Результати цього дослідження показали суттєвий вплив розміру на значення твердості за подряпинами і величину нашарувань. Цікавим є те, що це свідчить про те, що степінь і характер залежності цих двох параметрів від розміру суттєво і протилежно різняться в залежності від напрямку дряпання. Наприклад, хоча напрямок [001] демонструє найбільшу степінь розмірного впливу на твердість при дряпанні, він демонструє найменший розмірний ефект

бічних нашарувань. Такий протилежний ефект пояснюється внеском різних систем ковзання в опір дислокаціям і наклепу. Також показано, що твердість при дряпанні, яка враховує як розмірний ефект, так і залежність від кристалографічного напрямку, є придатною властивістю матеріалу для оцінки зношування.

Хіміко-механічне полірування (СМР) може створити мікроподряпини на мідній поверхні, що створює суттєву проблему для розробки передових технологічних вузлів. Дослідження [5] використовувало макроскопічне СМР та мікроскопічну атомно-силову мікроскопію для дослідження механізму утворення мікроподряпин на міді при СМР з точки зору абразивних частинок. У майже нейтральній суспензії, що містить низьку концентрацію H_2O_2 , мідь може бути окислена до оксиду міді та/або оксиду міді, утворюючи крихкий оксидний шар, який можна видалити абразивними частинками кремнезему. Видалені оксиди міді можуть прилипати до абразивних частинок кремнезему за допомогою електростатичного притягання, змінюючи стан поверхні (рис. 2). Приліплені оксиди міді мають нерівності та високу твердість, що, ймовірно, спричиняє високі локальні контактні напруження та призводить до мікроподряпин на поверхні міді, що піддається поліруванню. Тобто, проведене дослідження засвідчило, що слід уникати налипання оксидів міді на частинки кремнезему.

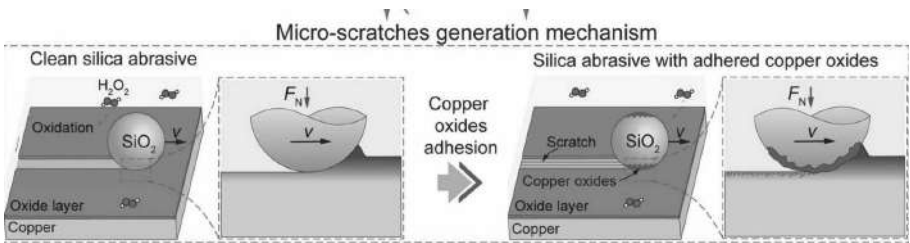


Рис. 2 – Прилипання видалених оксидів міді до абразивних частинок кремнезему за допомогою електростатичного притягання

Наявність грубої та неоднорідної зернистої структури створює суттєву перешкоду для досягнення зменшення шорсткості поверхні на відбивному дзеркалі після одноточкового алмазного точіння. У дослідженні [6] було проаналізовано механізм подрібнення зерна алюмінієвого сплаву 6061 під час різноспрямованого кування в діапазоні температур від $-196\text{ }^\circ\text{C}$, $25\text{ }^\circ\text{C}$ до $510\text{ }^\circ\text{C}$. Алюмінієвий сплав демонструє посилене мікроструктурне ущільнення під час пластичної деформації

при $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ (LT), перевищуючи рівні, що спостерігаються як при кімнатній температурі (RT), так і при високих температурах (HT). Примітно, що пластична деформація алюмінієвого сплаву при ультранизькій температурі ефективно перешкоджає динамічному відновленню, що призводить до посилення розбіжностей орієнтації сусідів і зменшення відстані орієнтації сусідів. Динамічна рекристалізація відбулася при температурі деформації $510\text{ }^{\circ}\text{C}$ із середнім розміром зерен приблизно $30\text{ }\mu\text{m}$. При температурі деформації $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ утворилися більш щільні осередки дислокації разом із меншими областями, що демонструють різну орієнтацію. Коли діапазон різниці в сусідній орієнтації менший, ніж подача на лезо, анізотропія матеріалу протидіє певній механічній реакції під час обробки, що призводить до загального збільшення середнього ефекту. Отже, відхилення поверхні від рівноважної зменшилося з діапазону від 5 до $8\text{ }\text{nm}$ до $2\text{--}4\text{ }\text{nm}$. Орієнтація кристалічних зерен суттєво впливає на шорсткість поверхні алюмінієвого сплаву після алмазного точіння. Так, зниження температури деформації з 510 до $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ приводить до значного зниження шорсткості поверхні після алмазного точіння з $13,7\text{ }\text{nm}$ до $1,3\text{ }\text{nm}$.

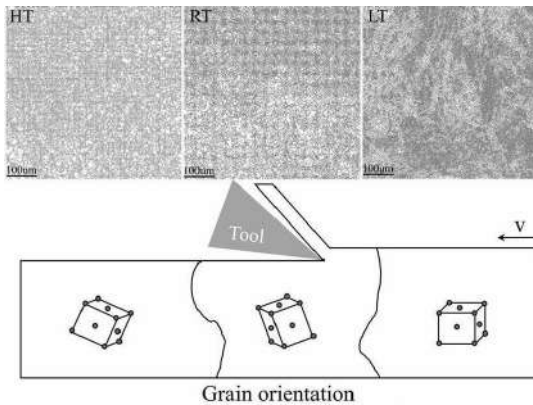


Рис. 3 – Мікроструктура алюмінієвого сплаву та орієнтація зерна в ній при зниженні температури від 510 до $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ [6]

Література

1. Barmouz, Mohsen. Influence of bond thermal and mechanical properties on the additively manufactured grinding wheels performance: Mechanical, wear, surface integrity, and topography analysis / Mohsen Barmouz, Felix Steinhäuser, Bahman Azarhoushang, Jahangir Khosravi // Wear. – 2024. – Vol. 538–539. – 205215.

2. Zheng, Wenbin. Numerical assessment of transition in cutting mode and its effect on roughness creation / Wenbin Zheng, Li Ma, Shiyuan Pei, Ramin Aghababaei // Inter. J. of Mech. Sci. – Vol. 261. – 108666.

3. Xiao, Huapan. Cracking behavior during scratching brittle materials with different-shaped indenters / Huapan Xiao, Shenxin Yin, Chi Fai Cheung, Chunjin Wang // Inter. J. of Mech. Sci. – 2024. – Vol. 268. – 109041.

4. Zhu, Jinxuan. On the size effect in scratch and wear response of single crystalline copper / Jinxuan Zhu, Ramin Aghababaei // Tribol. Inter. – 2023. – Vol. 186. – 108573.

5. Chen, Yushan. Micro-scratches generation mechanism by copper oxides adhered on silica abrasive in copper chemical mechanical polishing / Yushan Chen, Liang Jiang, Linmao Qian // Tribol. Inter. 2024. – Vol. 194. – 109434.

6. Fu, Yunfan. Mechanism of the effect of plastic deformation at different temperatures on the surface roughness of machined aluminum mirrors / Yunfan Fu, Shiquan Huang, Youping Yi, Hailin He, Juncheng Mao // Materials & Design. – 2024. – Vol. 239. – 112784.

Лаврінченко В.І., Смоквина В.В., Бологов П.І. Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ,
Солод В.Ю., Кашинський І.С. Дніпровський державний технічний університет МОН України, Кам'янське, Україна

СУЧАСНІ НАПРАЦЮВАННЯ В РОЗРОБКАХ СПЕЦІАЛЬНИХ АБРАЗИВНИХ ТА АЛМАЗНИХ КРУГІВ

Для вирішення конкретних питань продуктивної та якісної обробки сучасних інструментальних та композиційних матеріалів дослідники у багатьох випадках застосовують розробку спеціальних абразивних кругів. В даному повідомленні нами зупинена увага на сучасних (переважно 2024 р.) публікаціях, пов'язаних із новими конструкціями кругів, їх функціональним робочим шаром та новітніми адитивними технологіями їх отримання.

Щоб пом'якшити проблеми низької якості обробки, короткого терміну служби інструменту та низької ефективності обробки при обробці 2,5D гол частих C/SiC композитів, у дослідженні [1] для розробки нового одношарового гальванічного впорядкованого інструменту було прийнято біонічну ідею (рис. 1). Було досліджено вплив упорядкованих шліфувальних кругів на шорсткості поверхні, мікроструктуру, силу

шліфування, температуру шліфування та умови зносу. Результати продемонстрували, що результати моделювання сумісні зі слідами шліфування, залишеними двома типами впорядкованих шліфувальних кругів. Шорсткість поверхні, сила шліфування та температура були значно покращені з обома типами замовлених шліфувальних кругів. Порівняно з невпорядкованим шліфувальним кругом, впорядковані шліфувальні круги типу А та типу В можуть зменшити шорсткість поверхні нижньої поверхні канавки з композиту C/SiC на 40,7 та 35,8% відповідно. Крім того, вони можуть зменшити силу шліфування F_u до 68,3 і 53,2% відповідно, а силу шліфування F_z до 70,4 і 46,9% відповідно.

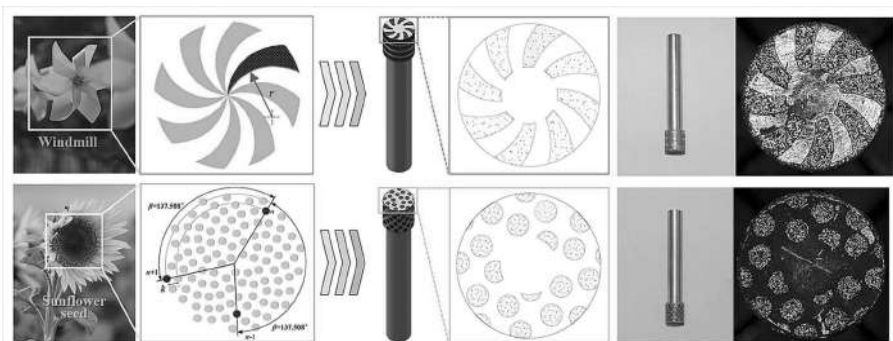


Рис. 1 – Варіанти впорядкованого торцевого шару одношарового гальванічного інструменту на основі біонічної ідеї [1]

Шліфування м'яким інструментом є відоме своїми перевагами, такими як великі площі контакту, відповідність криволінійним поверхням на основі деформації та ефективного поглинання вібрації, що забезпечує підвищену ефективність і гарну якість поверхні. Разом з тим, через недостатнє врахування м'якості інструменту та складного зв'язку параметрів шліфування існуючі методи не можуть чітко пояснити механізм видалення матеріалу та точно розрахувати глибину знімання матеріалу (MRD). Щоб усунути цю прогалину, у статті [2] пропонується модель пружної екструзії, розроблена для розрахунку розподілу тиску між м'якими інструментами та твердими складними поверхнями (рис. 2). Моделювання та експерименти демонструють значні покращення запропонованих методів порівняно з традиційними методами, зменшуючи похибки більш ніж на 49% для контактної моделі та більш ніж на 55% для моделі MRD. Запропоновані методи закладають нові основи для налаштування параметрів при точному шліфуванні м'яким інструментом.

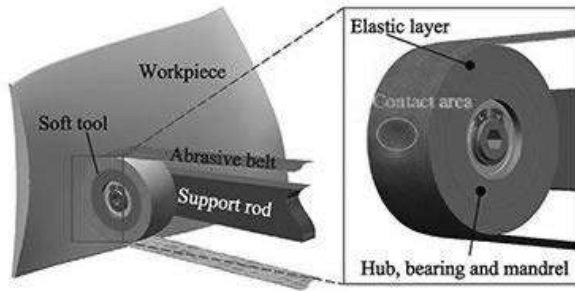


Рис. 2 – До еластичної моделі пружної екструзії в контакті між м'якими інструментами та складними твердими поверхнями [2]

В роботі [3] було застосовано новий виробничий процес для розробки одношарового алмазного круга з використанням, як матриці об'ємного металевого скла (BMG) та алмазних частинок, як абразивів. BMG ефективно запобігає графітизації та пошкодженню алмазних абразивів завдяки низькій температурі виробництва та уникненню флюсу для пайки (рис. 3). Покриття з титану (Ti) на поверхні алмазних абразивів сприяло формуванню розділеної межі розчинення-дифузії між двома компонентами, створюючи механічну оклюзію на межі розділу BMG-алмаз. Міцна і щільна поверхня з'єднання забезпечувала міцність алмазного абразивного закріплення до 112,59 Н, причому основним типом руйнування при зсуві було транскристалічне руйнування замість руйнування відривом. Крім того, виготовлений одношаровий алмазний круг, з'єднаний BMG, під час шліфування кераміки Al_2O_3 переважно рівномірно зношувався замість випадання абразивів. У порівнянні з сучасними шліфувальними кругами з гальванічним покриттям, розроблений алмазний круг продемонстрував зниження нормальних і тангенціальних сил шліфування на 32,64 і 35,86% відповідно, а також збільшення коефіцієнта шліфування на 28,22%, що робить його чудовим рішенням для умов шліфування твердих і крихких матеріалів.

У статті [4] представлено нове рішення для отримання алмазних інструментів у відповідності з кристалічною структурою за допомогою 3D-друку (рис. 4). Результати засвідчили, що саме кристалічна структура забезпечує макроскопічну жорсткість інструментів і має мікроскопічну анізотропію податливості. Кристалічна структура привела до зменшення коефіцієнта випадання зерен більш ніж на 82%, а також полегшила адгезію гнучких підкладок і запобігла відпаданню абразивного шару, що привело до подовження терміну служби інструменту. Крім того, шліфувальні інструменти з кристалічною структурою дося-

гли кращої здатності видалення матеріалу, меншої шорсткості поверхні та вищої енергоефективності. Крім того, вони використовували лише від 29 до 36% матеріалів, спожитих у виробництві. Примітно, що швидкість видалення матеріалу інструмента зі зірчастою структурою може досягати 94,7% інструмента з твердою структурою. При цьому спостерігався найнижчий рівень Ra , що супроводжувалося також зниженням температури шліфування на 19,4 °C.

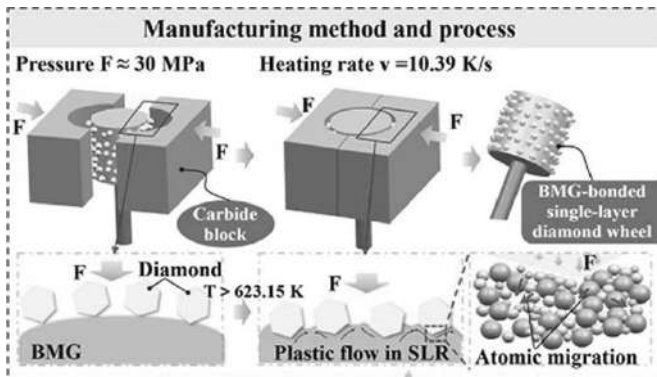


Рис. 3 – Схема виробничого метода отримання одношарового алмазного круга з застосуванням об'ємного металевих скла [3]

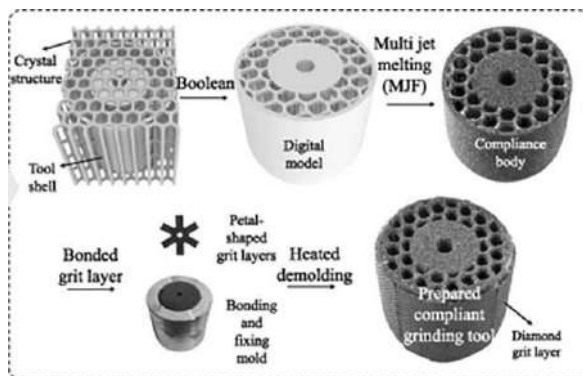


Рис. 4 – Схематична послідовність отримання алмазного інструменту кристалічної структури методом 3D-друку [4]

Шліфування залізничних рейок може ефективно усунути їх дефекти, наприклад, тріщини та гофри, щоб забезпечити безпеку та стабільність залізничних транспортних засобів, оскільки тепло, що утворюється під час шліфування, стає критичною причиною попередньої втоми або опіку на поверхні рейок. В роботі [5] були виготовлені рейкошліфу-

вальні круги з різною пористістю. Результати показують, що структура пор може зменшити попередню втому, спричинену шліфуванням. Важливо, що ефективність подрібнення покращується, а зусилля/тепло подрібнення зменшується зі збільшенням пористості (рис. 5).

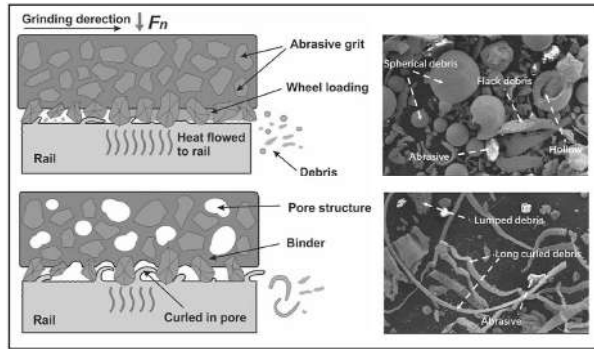


Рис. 5 – Порівняння структури та відмінності стружки при застосуванні пористих і суцільних кругів для шліфування рейок [5]

Література

1. Guo, Ye Experimental study on grinding 2.5D C/SiC composites by electroplated grinding wheel with ordered abrasive clusters / Ye Guo, Bing Chen, Xiaojing Fu, Hu Xu, Shiwei Sun // *Diamond and Related Mat.* – 2024. – Vol. 142. – 110838.
2. Zhou, Haoyuan. Accurate modeling of material removal depth in convolutional process grinding for complex surfaces / Haoyuan Zhou, Huan Zhao, Xiangfei Li, Zairan Xu, Han Ding // *Inter. J. of Mech. Sci.* – 2024. – Vol. 267. – 109005.
3. Wu, Dandan. Development of a novel bulk metallic glass bonded single-layer diamond wheel / Dandan Wu, Zijun Liu, Yufu Yan, Qiaosen Liang, Liyan Luo, Chengyong Wang // *Inter. J. of Machine Tools and Manufact.* – 2024. – Vol. 197. – 104146.
4. Li, Mingcong. A novel 3D printed compliant ball-end grinding tool with crystal structure: Feasibility and performance analysis / Mingcong Li, Yun Huang, Wenxi Wang, Shengbo Yan, Yingjie Liu, Lai Zou // *Mat. & Design.* – 2024. – Vol. 237. – 112591.
5. Yuan, Yongjie. Porous grinding wheels toward alleviating the pre-fatigue and increasing the material removal efficiency for rail grinding / Yongjie Yuan, Wulin Zhang, Pengfei Zhang, Xiaoqiang Fan, Minhao Zhu // *Tribol. Inter.* – 2021. – Vol. 154. – 106692.

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ШЕСТИПУАНСОННОГО АПАРАТА ВИСОКОГО ТИСКУ ПРИ ЗМІНІ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОПОРУ ЗРАЗКА cBN–Al ПРИ СПІКАННІ

На сьогодні актуалізувалось питання синтезу зразків полікристалічного кубічного нітриду бору (PCBN) порівняно великого розміру, які можна використовувати як конструкційний матеріал для екстремально навантажених частин апарата високого тиску (АВТ). Для отримання PCBN реакційним спіканням в умовах високого тиску і температури використовують, зокрема, шихту на основі 90% cBN–10% Al (за масою) [1].

Для розробки методики спікання надтвердого композита PCBN у шестипуансонному АВТ попередньо проводили тестові розрахунки методом скінченних елементів термоелектричного стану кубічної комірки високого тиску.

За результатами моделювання на рис. 1 наведено розрахункову схему пресової установки з коміркою для спікання PCBN (1/8 частина у стисненому стані).

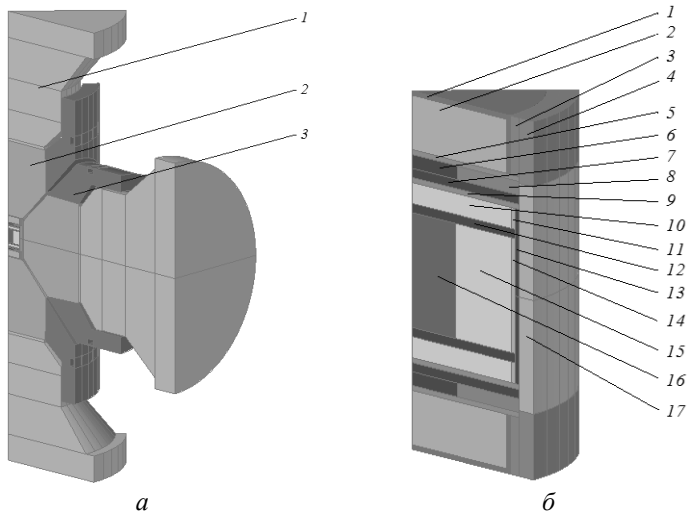
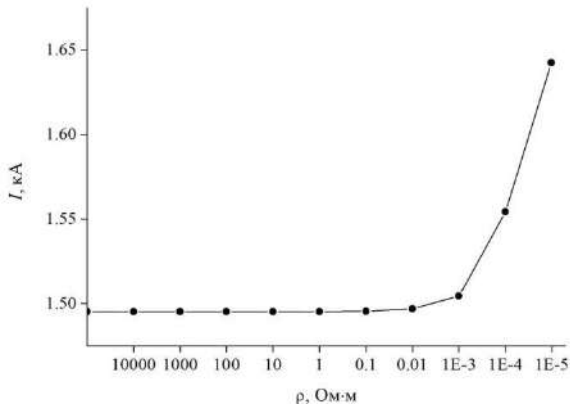
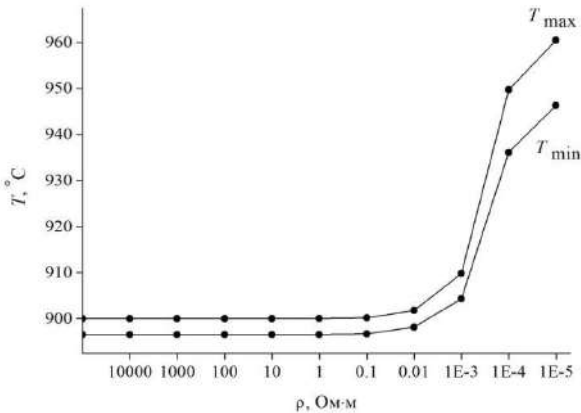


Рис. 1 – Схема шестипуансонного АВТ (а) з коміркою високого тиску (б)

На рис. 1, а показано: 1 – опорні плити (сталь), 2 – пуансон (твердий сплав), 3 – система водяного охолодження (сталь); На рис. 1, б: 1 – стакан (нержавіюча сталь), 2 – диск (доломіт), 3, 4, 8 – кільця (пірофіліт), 5, 9 – диски (титан), 6, 7 – диски (графіт), 10, 15 – диск і кільце (оксид алюмінію Al_2O_3), 11 – кільце (доломіт), 12 – диск (графініт), 13 – нагрівач (графіт), 14, 17 – втулки (доломіт), 16 – досліджуваний зразок 90 % cBN–10 % Al (за масою)

Однією з особливостей реакційного спікання є перехід досліджуваного зразка від діелектричного до провідного стану при початковому нагріванні до температури ~ 900 °С. В результаті проведених розрахунків побудували графіки (рис. 2) залежності температури у зразку T (максимальної і мінімальної), сили струму I і напруги U в АВТ від електричного опору зразка за умови незмінної потужності струму нагрівання (6,59 кВт). Зміну опору зразка cBN–Al задавали в інтервалі $1 \cdot 10^5$ – $1,02 \cdot 10^{-5}$ Ом·м, тобто від його ізоляційного до провідного стану.



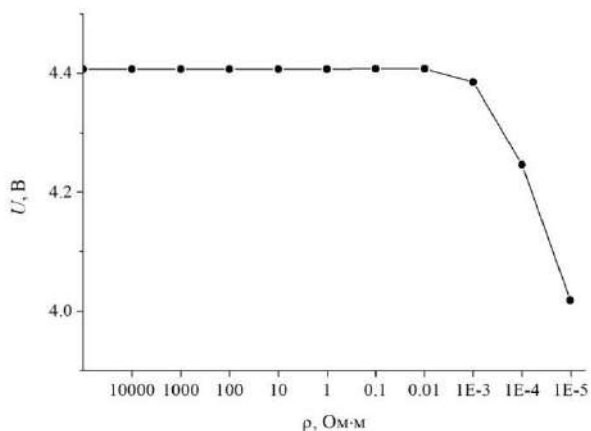


Рис. 2 – Динаміка зміни термоелектричних параметрів в АВТ в процесі просочування розплавом Al зразка PCBN на першому етапі реакційного спікання

Як видно з рис. 2, за значення опору зразка cBN–Al у $1 \cdot 10^{-3}$ Ом·м відбувається різке зростання сили струму і температури з одночасним падінням напруги. Величина розрахованого перепаду температури у зразку у 14°C за його опору у $1,02 \cdot 10^{-5}$ Ом·м забезпечує доволі однорідний тепловий стан на першому етапі реакційного спікання.

За допомогою комп'ютерного моделювання термоелектричного стану шестипуансонного АВТ оптимізовано схему складання кубічної комірки для подальшого проведення дослідів зі спікання PCBN.

Література

1. Коновал, С.М. Реакційне спікання кубічного нітриду бору з алюмінієм і тугоплавкими сполуками при високому тиску / С.М. Коновал, Т.О. Гарбуз, М.П. Беженар, С.А. Божко, П.А. Нагорний, Н.М. Білявина, В.Я. Марків // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения : сб. науч. тр. – К. : ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2009. –вып. 12. – С. 235–244.

ПРОБЛЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРИЙОМУ ТА МОТИВАЦІЇ ТЕХНІЧНИХ ЕКСПЕРТІВ У ЗВАРЮВАЛЬНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Основним суб'єктом, що визначає якість, є споживач. З іншого боку, його оцінка якості базується на поінформованості щодо характеристик продукції та їх підтвердженні під час випробувань, неруйнівного контролю і технічної діагностики (НК і ТД), на можливості об'єктивного зіставлення з іншою аналогічною продукцією та вимогами нормативних документів.

Розглядаючи питання конкурентоспроможності та якості, слід підкреслити такі суттєві цінності великого капіталу для України:

- глобалізація;
- динамічність зміни вимог та короткочасність життєвого циклу продукції;
- прозорість (основа економічного розвитку);
- розвиток ринку високотехнологічної продукції;
- застосування комунікаційних технологій, швидкоплинність оновлення інформації про продукцію;
- відповідальність (постійне розширення межі своєї відповідальності);
- переважання пропозиції над попитом;
- забезпечення вимог екології виробництва та безпеки;
- формування потреб стабільного розвитку суспільства;
- мотивація персоналу та висування вимог соціальної відповідальності, насамперед до виробників;
- ставка на модернізацію та інновації;
- прагнення рівномірності розподілу доходів, сприяння становленню середнього класу;
- нова якість навчання (освіта) та відбору персоналу.

У умовах позиціонування продукції і послуг НК і ТД у зварювальному виробництві на ринку та визначення її конкурентоспроможності розгортається у тріаді «якість – вартість – час», тобто, необхідно вирішувати триєдине завдання – вводити в ринковий обіг високоякісну продукцію, послуги та персонал за прийнятною для споживача ціною у певний період часу та на відповідному сегменті ринку. Досягти конкурентоспроможності – значить задовольнити вимоги та очікуван-

ня споживачів краще за конкурентів, скорочувати час виконання замовлень, щоб персоналу бути мобільнішим, скорочувати витрати, щоб запропонувати кращу ціну.

Існує особливий тип персоналу – джерела неприємностей через які підприємство починає втрачати тямущих співробітників.

Також існує тип – продуктивні, але не люблять рекламувати себе. При наймі вони стверджують – "Ну... працювати вмію... Ніби ніхто не скаржився...".

Наступний тип персоналу – "молоді без досвіду роботи". У цей тип можна інвестувати кошти, якщо зробити правильний вибір особистості та приставити цього фахівця до компетентного наставника, і тоді буде позитивний результат. Якщо буде припущена помилка при виборі, то навіть найкращий наставник не врятує ситуацію і цей тип буде "обузою".

Відповідно до теорії мотивації, запропонованої професором Фредеріком Герцбергом з університету Чикаго в 1969 році, на мотивацію впливає два різних типи факторів, які він назвав задоволенням і незадоволенням.

Існує новий тип персоналу – перформер (performer) – категорія продуктивних працівників. Це фахівець, який у межах своєї сфери відповідальності:

1. Сам може побачити те, що потребує поліпшення.
2. Сам може знайти рішення, як це зробити.
3. Сам може втілити це рішення у життя.
4. Він робить це без будь-якого тиску.

Існує також тип співробітника – діяч (doer) – продуктивні працівники, виконавці. Це спеціалісти, які бажають працювати. Ступінь бажання є основою (ключом). Діячу потрібно поставити завдання – сказати "що" робити. При цьому перформеру зазвичай цього не потрібно. А добрий діяч усе виконує з великим бажанням. На противагу йому – поганий діяч роботу робить з малим бажанням.

У більшості джерел, присвячених питанням мотивації теорія Герцберга розглядається як двофакторна теорія, що складається з гігієнічних факторів та мотиваційних факторів.

Наприклад, персонал НК та ТД відчуває незадоволення через такі речі, як низька заробітна плата, задушна, шумна робоча обстановка; тому дуже важливо його усунути за допомогою підвищення зарплати, застосування кондиціонерів чи покращення умов праці та робочих місць. Однак само по собі усунення джерел нашої незадоволеності не призведе автоматично до мотивування до роботи.

Для мотивації важливо забезпечити наявність у повсякденній роботі факторів іншого типу – факторів, що задовольняють. Особливо важливі для мотивації людей фактори, що включають залучення працівників у розробку робочих процедур і методик, постановку цілей роботи і постійне визнання і заохочення одержуваних ними результатів праці.

Тим часом, д-р Е. Нісіборі підкреслює, що людська праця завжди повинна включати три наступні елементи:

- творчий підхід (радість від розумової діяльності);
- фізичну активність (радість від фізичної праці);
- можливість спілкування (радість від переживання радощів та невдач з колегами).

Для того щоб людина відчувала практично болше почуття відповідальності за свою роботу та досягнення поставленої мети, необхідно виконати такі умови:

- чітко сформулювати цілі роботи;
- надати йому достатню свободу у виборі коштів та методів досягнення поставленої мети.

Найбільш важливим завданням з надання технічних послуг з НК і ТД у роботі – незалежно від того, чи виконуємо ми її самі чи доручаємо своїм колегам чи підлеглим, – є досягнення реальних цілей діяльності. Одна з головних умов успіху – обов'язкове залучення виконавця та ясне розуміння ним поставлених цілей та важливість їх досягнення – безпека зварних конструкцій.

Аналіз показав, що якщо на підприємстві є компетентний керівник, який чітко скаже, що необхідно робити, можна сміливо ставити діяча чи перформера і результат буде досягнуто.

Однак, незважаючи на різноманіття підходів, усі їх можна розділити на дві категорії:

- використання людей замість машин;
- використання людей для роботи машин.

Перший із цих підходів спирається на машини, а другий – на людей.

На етапі планування роботи усвідомлюються її реальні цілі та даються інструкції (методики) щодо використання прийнятних засобів та методів для досягнення цих цілей. Однак при використанні першого зі згаданих вище підходів необов'язково повідомляти людей про справжні цілі роботи. Більш важливо інструктувати їх про передбачені до використання засоби та методи роботи, ніж роз'яснити цілі, які потрібно досягти; проте в дійсності без роз'яснення цілей не обійтися.

Лопата Л.А., Калініченко В.І. Інститут проблем
міцності імені Г.С. Писаренка НАН України, Київ,
Солових Е.К. Центральнoукраїнський технічний
університет, Кропивницький,
Шамрай В.Б. Національний авіаційний
університет, Київ, Україна

ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ «ВАЛ» ДИСКРЕТНИМИ ПОКРИТТЯМИ, ОТРИМАНИМИ ЕЛЕКТРОКОНТАКТНИМ МЕТОДОМ

В результаті проведених досліджень розроблено спосіб відновлення деталей типу «вал» дискретними покриттями (ДП), отриманими електроконтактним методом. Проведено порівняння розподілу тиску та температури для суцільного та дискретного покриття (рис. 1, *а–б*). Досліджено зносостійкість, адгезійно-когезійну міцність, пористість, мікротвердість покриттів, отриманих за розробленою технологією (рис. 1, *в–г*).

Електроконтактний метод отримання покриттів дискретної та суцільної структури здійснювався на установці, виконаній на базі машини для шовного зварювання. Дискретність структури покриття, його уривчастість утворюється у напрямі дії максимального осьового напруження, що виникає при експлуатації валу.

Розрахунок напружено-деформованого стану композиції «основа-покриття» проводили методами чисельного аналізу в ліцензійному кінцево-елементному комплексі MSC VisualNastran for Windows 2003 [1]. Методика розрахунку напружень полягає в тому, що будується кінцево-елементна модель композиції «основа-ДП» з розподілом еквівалентних напружень по Мізесу, задаються необхідні фізико-механічні властивості матеріалів основи та покриття, а також граничні умови у вигляді силового навантаження та закріплення. Для спрощення розрахунків використовуються моделі із упорядкованою схемою розташування дискретів. Оскільки модель має вісь симетрії, аналіз проводили для половини розрахункової схеми. Кількість елементів моделі з ДП становить 2750, вузлів – 2865. Фізико-механічні властивості основи: $E_0 = 2$ ГПа, $\mu = 0,25$; покриття: $E_p = 1,5$ ГПа, $\mu = 0,3$. Базові параметри покриття $b = 10$ мм, $h = 1,5$ мм, $d = 2$ мм взяті згідно з умовами експлуатації, за яких покриття працює на основі, що деформується [1].

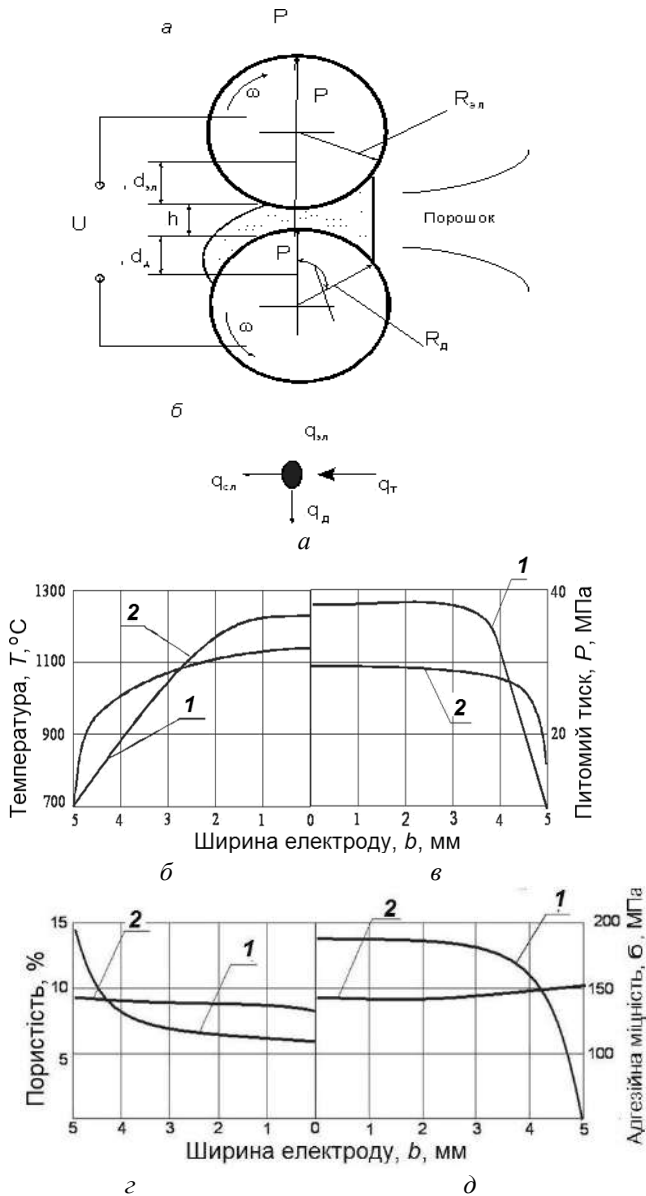


Рис. 1 – Фізична модель електроконтактного методу відновлення деталей типу «вал» (а) та розподіл за шириною покриття: температури (б); питомого тиску (в); пористості (г); адгезійної міцності (д)

1 – суцільне покриття, 2 – дискретне покриття

Проектування ДП з оптимальним співвідношенням геометричних параметрів дозволяє забезпечити стійкість конструкцій, що працюють в умовах високих контактних навантажень та тертя.

Процес отримання покриттів електроконтактним методом визначається особливостями його ущільнення і нагрівання та включає:

- формування (ущільнення) покриття під тиском $P \geq 10$ МПа при температурі від кімнатної $T_{\text{ком}}$ до $(0,1-0,2)T_{\text{пл}}$;
- спікання під тиском $P \geq 20-40$ МПа при пропусканні електричного струму $T \leq 0,6-0,8 T_{\text{пл}}$;
- припикання спеченого покриття до основи при $P \geq 40-100$ МПа та $T \leq (0,8-0,9)T_{\text{пл}}$.

Матеріал покриття вибирали з урахуванням його роботи у системі «матеріал покриття – матеріал основи». При виборі матеріалів основи та покриття враховували здатність їх адгезійної взаємодії. Важливою умовою працездатності системи «покриття – основа» є узгодженість їх термомеханічних характеристик. Матеріали деталі та покриття повинні мати мінімальну різницю коефіцієнтів термічного розширення та максимальну міцність зчеплення між собою, тобто. система «покриття – деталь» повинна мати експлуатаційну сумісність. Науково-технологічною основою вибору матеріалу покриття було:

1. встановлення фізико-хімічної узгодженості в системі «покриття-основа»;

2. встановлення взаємозв'язку в системі «технологія-склад-структура-властивості». Коли склад матеріалу для покриття заданий, на перший план виходять три основні критерії:

- енергонасиченість;
- формуємість матеріалу;
- фазовий стан, що забезпечує задані функціональні властивості виробу.

У дослідженнях використовували як матеріал покриття:

- композицію карбід хрому-нікель у різному відсотковому співвідношенні у вигляді механічної суміші порошків (70–90% $\text{Cr}_2\text{C}_3 + 10-30\%$ Ni) дисперсністю 40 мкм та карбід хрому (70–90% $\text{Cr}_3\text{C} + \text{Ni-Cr } 80/20$);
- композиційний матеріал КХН (85% $\text{Cr}_2\text{C}_3 + 15\%$ Ni), (70% $\text{Cr}_2\text{C}_3 + 30\%$ Ni) і (70% $\text{Cr}_2\text{C}_3 + 30\%$ Ni) у вигляді порошку дисперсністю 40–100 мкм.

Було виконано оптимізацію, розроблено математичні моделі та технологічний процес відновлення валів ДП електроконтактним методом.

Принцип покриттів дискретної структури дозволяє вирішити основне протиріччя, що виникає при використанні надтвердих поверхневих шарів – подолати їхню крихкість. У шарах ДП забезпечується об-

меження зростання напружень і процесу тріщиноутворення, що підвищує їхню міцність і довговічність, повністю виключаючи їх когезійне розтріскування та адгезійне відшарування [1, 2].

Покриття дискретної структури дозволили по-новому підійти до технології відновлення зношених деталей. Особливістю зношених деталей є локальний характер і нерівномірність зносу. Враховуючи цю особливість, розроблено технологію відновлення шляхом нанесення ДП змінної товщини відповідно до епюри нерівномірного зносу. Режимми електроконтактного методу забезпечують заданий розмір та чистоту поверхні. Повністю відпадає необхідність фінішної механічної обробки. Відновлення та зміцнення може здійснюватися ДП змінної суцільності відповідно до епюри зносу шляхом зміни швидкості переміщення інструменту (електроду).

У результаті досліджень отримано такі результати:

1. Виконано наукове обґрунтування доцільності застосування електроконтактного методу для нанесення ДП з металевих та металокерамічних порошків та їх сумішей для відновлення, зміцнення та виготовлення деталей, що включає визначення їх міцностних і експлуатаційних властивостей та розроблення технологічного процесу їх нанесення.

2. Запропоновано спосіб відновлення деталей типу «вал», який полягає у нанесенні ДП підвищеної товщини та адгезійної міцності електроконтактним методом, який забезпечує підвищений рівень фізико-механічних властивостей робочих поверхонь.

3. Встановлено переваги ДП порівняно з суцільними, що полягають у рівномірному їх ущільненні, нагріванні та отриманні покриттів із рівномірними властивостями.

Література

1. Лопата, Л.А. Отримання зносостійких дискретних покриттів електроконтактним припіканням / Л.А. Лопата, Б.А. Ляшенко, В.І. Калініченко // Проблеми тертя та зношування. – 2009. – №51. – С. 139–148.

2. Ляшенко, Б.А. Підвищення зносостійкості деталей суднових машин та механізмів покриттями дискретної структури. Технологічне забезпечення покриття дискретної структури електроконтактним припіканням / Б.А. Ляшенко, Л.А. Лопата / Проблеми тертя та зношування. – 2015. – №2(67). – С. 110–126.

Лопата О.В., Качинська І.Р. Інститут проблем міцності
імені Г.С. Писаренка НАН України, Київ,
Лопата В.М. Інститут електрозварювання
імені Є.О. Патона НАН України, Київ,
Солових А.Є., Катеринич С.Є. Центральноукраїнський
національний технічний університет,
Кропивницький, Україна

ВИКОРИСТАННЯ СТРУКТУРНО-ФАЗОВИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ ТА МОДИФІКУВАННЯ ПРИ ЕЛЕКТРОКОНТАКТНІЙ ОБРОБЦІ СТАЛЬНИХ ГАЗОТЕРМІЧНИХ ПОКРИТТІВ

Незважаючи на велику кількість розробок у галузі підвищення твердості та зносостійкості газотермічних покриттів, в даний час дослідження набули спрямованості на активування процесів напилення та (або) їх модифікування (рис. 1) [1]. Реалізуються такі прийоми активування процесу напилення: інтенсифікація процесу змішування робочих газів; повідомлення додаткової енергії частинкам матеріалу, що ропилується, шляхом їх нагрівання та прискорення; повідомлення додаткової енергії поверхні, що зміцнюється (основи), шляхом її попереднього нагріву; зменшення середнього розміру розпилюємих частинок; підвищення активності поверхні частинок та основи механічним (підвищення шорсткості) або хімічним (відновлення оксидів) шляхом тощо; нанесення покриттів при зовнішній дії (ультразвукові коливання, електромагнітне поле тощо); подальша термообробка (ТО).

Методи активування процесу газополуменевого напилення (ГПН), такі як борування, карбонітрування та ін. дозволили розробити технології для нанесення високощільних зносостійких покриттів з матеріалів з низькою теплопровідністю та легкоплавких полімерів [2].

При активованому електродуговому напиленні (АДН) як розпилюючий газ використовуються продукти згоряння пропано-повітряної суміші, що дозволяє значно знизити окислення металу, що напилюється, і вигоряння легуючих елементів [2]. Так кількість вуглецю в покритті, отриманому з дроту 40X13, практично не відрізняється від його вмісту в вихідному дроті. Процес АДН характеризується зниженням середнього розміру частинок у 4–7 разів і підвищенням міцності зчеплення покриттів в 1,8–2,2 рази [2] в порівнянні з традиційним електродуговим напиленням (ЕДН).

Поєднання нанесення покриттів з модифікацією поверхні дозволяє створити комбіновані методи інженерії поверхні (інтегровані

технології), перевагами яких є високий рівень фізико-механічних властивостей [3]. Модифікування поверхні деталей, можливо, проводити як зміною структури поверхневих шарів, так і зміною хімічного складу. Підвищують зносостійкість і властивості міцності напилених покриттів лазерної (ЛО), ультразвукової (УЗО) та ін. методами обробки (рис. 1). Завдяки ЛО отримують дрібнокристалічну безпористу структуру напилених покриттів з рівномірним розподілом хімічних елементів, що суттєво підвищує зносостійкість в умовах граничного тертя та абразивного зношування та стійкість до високотемпературної корозії. Оплавлення газотермічних покриттів здійснюють струмами високої частоти (СВЧ), високошвидкісним імпульсно-плазмовим струменем (див. рис. 1). Істотний ефект підвищення мікротвердості та зносостійкості забезпечує електронно-променева обробка (ЕПО) напилених покриттів (див. рис. 1). Аналіз структури показав, що після ЕПО, середній розмір зерен у покритті зменшується від сотень мікрметрів до сотень нанометрів, а мікротвердість та зносостійкість збільшуються у 5 раз при підвищенні на 60–80% межі витривалості та в 2,5–3,5 разів міцності зчеплення. Ефективне застосування ХТО після напилення. Після борування зносостійкість напилених покриттів із сталі Св-08 при сухому терті підвищилася у 10 разів. Іонне азотування (ІА) напилених покриттів із сталей 40Х13 та Х18Н10Т забезпечує мікротвердість від 6,5 до 15 ГПа, при цьому зносостійкість збільшилася у 8 разів. Засобами для досягнення необхідної структури і властивостей газотермічних покриттів є різні види ТО, поверхнево-пластичного деформування (ППД), УЗО та ін. УЗО забезпечує отримання напилених покриттів із щільністю близькою до щільності компактного матеріалу. Застосування розглянутих вище методів збільшення міцності та зносостійкості газотермічних покриттів обмежена через ряд недоліків [3]. Зокрема, ЛО та ЕПО призводять до неоднорідної макроструктури поверхні, ХТО характеризується великою тривалістю процесу.

При обробці напилених покриттів необхідно прагнути до використання способів із мінімальним нагріванням (високі температури негативно позначаються на «об'ємних» властивостях зміцнюємих деталей) і малими величинами припусків на фінішну обробку.

Високу зносостійкість, твердість та інші властивості напилених покриттів можна забезпечувати такими методами модифікування, як механо-термічне зміцнення (МТЗ), що пояснюється позитивною роллю механічного фактора (взаємодія матеріалів у твердій фазі активується як температурою, так і тиском). Найбільшого поширення серед методів

МТУО набула схема електроконтактного нагріву при прокатці покриттів роликотом [3]. При цьому максимальна зносостійкість може бути досягнута за умов, що забезпечують найбільшу дисперсність та мікроспотворення кристалічної структури, а структура покриття буде залежати від температурно-силових властивостей процесу [3].



Рис. 1 – Основні напрямки підвищення зносостійкості газотермічних покриттів

Електроконтактна обробка (ЕКО) забезпечує зміцнюючий ефект при збереженні вихідних «об'ємних» механічних властивостей деталей та дозволяє: замінити високолеговані дефіцитні матеріали для покриттів дешевшими; фінішну МО на ППД до потрібних розмірів деталі та чистоти поверхні [3]. Висока якість покриттів при ЕКО забезпечується імпульсним характером процесу. Імпульсні методи характеризуються великими енергетичними можливостями та економічністю [4].

При проектуванні комбінованої технології створення покриттів напильником із ЕКО доцільно використовувати підхід, в основі якого лежить створення та цілеспрямоване кероване використання деформаційних структурно-фазових перетворень, що забезпечують комплексне

покращення їх фізико-механічних та експлуатаційних властивостей. Головною особливістю цього підходу є здатність матеріалів покриттів до певних фазових перетворень та структурних змін при їх нанесенні та обробці [1]. Як такі матеріали для зносостійких покриттів було запропоновано використовувати найбільш доступні та низьковартісні сталі мартенситного та феритного класів, головною особливістю яких є здатність до структурно-фазових перетворень при термодформаційному впливі. При термодформаційному впливі в цих сталях відбувається аустенітно-мартенситне перетворення, яке впливає на твердість, опір деформації та зносостійкість. Процес перетворення аустеніту на мартенсит деформації, і супутні цьому явища, поглинають велику кількість енергії. Зростання здатності металу до поглинання енергії призводить до підвищення опору зношуванню.

В результаті аустенітно-мартенситного перетворення в структурі сталі, поряд з мартенситом, є і залишковий аустеніт. При термодформаційному впливі пластично деформований аустеніт знаходиться в метастабільному стані та характеризується зміною багатьох його параметрів: збільшенням опору деформації, структурними перетвореннями і т.п. Тому максимальна зносостійкість досягається у випадках, коли в структурі сплавів міститься метастабільний аустеніт, здатний до деформаційних перетворень.

Таким чином, вирішити проблему створення деталей машин із низьковуглецевих сталей із зносостійкими покриттями можна шляхом активування процесів напилення сталей феритного та мартенситного класів та їх подальше модифікування за допомогою ЕКО з використанням підходу, в основі якого лежить створення та цілеспрямоване кероване використання деформаційних структурно-фазових перетворень метастабільних станів, що забезпечують комплексне покращення фізико-механічних та експлуатаційних властивостей поверхонь деталей з покриттями.

Література

1. Черновол, М.І. Структурно-фазові перетворення в газотермічних сталевих покриттях у процесі їх напилення та подальшої електроконтактної обробки / М.І. Черновол, Т.В. Ворона, О.О. Мікосянчик, Л.А. Лопата // Проблеми тертя та зношування. – 2015. – № 2(67). – С. 99–109.
2. Ляшенко, Б.А. Підвищення довговічності деталей робочих органів сільськогосподарської техніки, що швидко зношуються, інтегрованими технологіями зміцнювальних захисних покриттів / Б.А. Ляшенко, Л.А. Лопата, Є.К. Солових, А.Є. Солових / Конструю-

вання, виробництво та експлуатація сільськогосподарські машин : збіу наук. праць. – Кіровоград : КНТУ, 2011. – вип. 41, ч. 2. – С. 73–79.

3. Корж, В.Н. Комбіновані методи інженерії поверхні / В.Н. Корж, Т.В. Ворона, А.В. Лопата // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем : мат. 4-ї міжнарод. наук.-практ. конф., 19–21.05.2014. – Чернігів : ЧНТУ, 2014. – С. 159–163.

4. Черновол, М.И. Повышение износостойкости газотермических покрытий из железо-углеродистых сплавов электроконтактной обработкой / М.И. Черновол, Т.В. Ворона, Л.А. Лопата // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузове машинобудування, автоматизація : зб, наук. праць. – Кіровоград : КНТУ, 2015. – вип. 28. – С. 230–236.

*Манохін А.С., Клименко С.А., Мельничук Ю.О.,
Чумак А.О., Клименко С.А., Копейкіна М.Ю.* Інститут
надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля
НАН України, Київ, Україна

МІЦНІСТЬ БАГАТОШАРОВОГО PVD-ПОКРИТТЯ TiN/CrN

Перспективним методом підвищення стійкості різальних інструментів із PсBN є нанесення на їх робочі поверхні покриттів. У більшості випадків формування високоякісних покриттів на таких інструментах виконується методом PVD, який забезпечує високу однорідність по товщині та щільну структуру покриття.

Необхідно відзначити, що за умов високих контактних навантажень, характерних для обробки різальним інструментом важкооброблюваних сталей і сплавів, покриття повинно мати значну міцність. У цієї роботи границя міцності під час розтягування, була визначена на прикладі вакуумно-дугового багатошарового нитридного покриття TiN/CrN, нанесеного на основу з PсBN марки «Борсиніт».

Визначити напруження в зоні руйнування покриття можна шляхом вирішення модельної задачі, необхідні дані для постановки граничних умов якої встановлюються емпіричним шляхом. Наприклад, для вакуум-дугового наношарового покриття TiN/CrN дані наведено в роботі [1].

Значна різниця пружних властивостей складових фаз (модулі зсуву та модулі Юнга для TiN та CrN становлять близько 180 ГПа, 135 ГПа та 350 ГПа, 400 ГПа відповідно) зумовлює ефекту гетеромодульного зміцнення, властивого саме для наношарових покриттів, коли неодно-

рідні поля внутрішніх напружень створюють перешкоди для переміщення дислокацій на міжфазних границях та дисипації енергії розвитку тріщин між окремими шарами покриття. Покриття з таким складом є досить ефективним для використання в інструменті при обробці важкооброблюваних матеріалів, а умови його отримання, фізико-механічні та експлуатаційні властивості вивчалися в [2].

При вирішенні МСЕ задачі мікромеханіки пружної деформації покриття, розглядалося крихке руйнування шляхом утворення та розвитку тріщини у кантилевері з масиву покриття.

При вивченні руйнування матеріалу покриття використана модель когезійної зони (CZM model) [3], яка передбачає об'єднання силового та енергетичного критеріїв руйнування та описує механізм, як появи так і розвитку тріщини. Така модель характеризує співвідношення між силою зчеплення T на інтерфейсі та відповідним зміщенням δ поверхонь [4, 5]. Параметри, які визначають властивості матеріалу згідно моделі типу CZM заздалегідь невідомі, але вони можуть бути визначені співставленням розрахункових та емпіричних даних щодо руйнування зразків.

З використанням методики планування експерименту отримані регресійні залежності для визначення залежності сили F_{\max} , необхідної для деформації кінця балки на величину dY , від величини максимального нормального когезійного зчеплення T^{\max} , нормального зміщення при повному когезійному розділенні поверхонь δ_n^c та відношення δ_n^*/δ_n^c (δ_n^* – зміщення, яке відповідає T^{\max}):

$$dY = -0,0269 + 0,000127 \cdot T^{\max} - 1,39 \cdot 10^{-8} \cdot T^{\max 2} + 14,72 \cdot \delta_n^c - 255,754 \cdot \delta_n^{c2} + 0,00328 \cdot T^{\max} \delta_n^c ;$$

$$F_{\max} = 0,00236 + 0,0000341 \cdot T^{\max} - 3,3226 \cdot 10^{-9} \cdot T^{\max 2} + 2,171 \cdot \delta_n^c - 66,026 \cdot \delta_n^{c2} - 0,048 \cdot \delta_n^*/\delta_n^c + 0,00096 \cdot T_{\max} \delta_n^c .$$

З цих рівнянь, за експериментальними даними величин сили та прогину балки, визначимо невідомі значення параметрів T^{\max} , δ_n^c (відношення $\delta_n^*/\delta_n^c \sim 0,1$), необхідні для моделі покриття TiN/CrN. Розв'язок рівнянь за умови $F_{\max} = 0,14$ мН, $dY = 0,49$ мкм має наступні значення: $T^{\max} = 2690$ МПа, $\delta_n^c = 1,48 \cdot 10^{-2}$ мкм. Критична енергія руйнування G_c відповідно становить $19,91$ Дж/м².

Як отримано з розрахунку залежності сили F , необхідної для переміщення точки 0 кантилеверу, від величини переміщення dY осі OY , при досягненні максимального значення силою F з боку індентора в подальшому відбувається стрімке зниження величини сили при руйнуванні кантилеверу. За розрахунком максимальне її значення стано-

вить 0,132 мН при $dY = 0,50$ мкм, похибка визначення сили у порівнянні з експериментом становить 5,7%. Лінійна залежність між деформацією та силою зберігається до $dY = 0,3$ мкм, після чого починається утворення тріщини.

Аналіз розподілу перших головних напружень S_1 в околі надрізу і вершини тріщини в момент досягнення силою F ($dY = 0,485$ мкм), що діє на кантилевер збоку індентору, максимального значення, тобто перед початком катастрофічного руйнування, показує що максимальне значення S_1 досягає величини 2,6 ГПа. Значення K_{1c} , визначене за допомогою функції опції K_1 функції CINT становить $1,96 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{0,5}$, значення першої головної деформації дорівнює при цьому 0,68%.

Розрахункова залежність першого головного напруження у вершині тріщини, точка якої визначається елементом, розташованим на початку траєкторії тріщини, завданої при постановці граничних умов, показує, що максимальне значення напружень $S_1 = 2,56$ ГПа досягається при головній пружній деформації $2,17 \cdot 10^{-6}$ та при переміщенні точки 0 на $dY = 0,3$ мкм.

Аналогічно було визначено границі міцності під час розтягування у випадках, коли період покриття становить 18 нм ($S_1 = 2,38$ ГПа) та 1,8 нм ($S_1 = 1,74$ ГПа). Залежність механічних властивостей покриття від товщини окремих шарів має екстремум при величині періоду 6 нм. Тобто, максимальною величиною границі міцності під час розтягування характеризуються покриття з періодом від 6 до 18 нм.

Таким чином, застосування розрахунково-експериментального методу визначення міцнісних властивостей покриттів з використанням моделювання МСЕ і даних мікромеханічних досліджень з руйнування покриття дозволяє оцінити границю міцності під час розтягування даного класу матеріалів – вказаний параметр становить величину $\sim 2,6$ ГПа при товщині бішару 6,2 нм.

Література

1. Hahn, R. Superlattice effect for enhanced fracture toughness of hard coatings / R. Hahn, M. Bartosik, R. Soler, C. Kirchlechner, G. Dehm, P.H. Mayrhofer // Scripta Mat. – 2016. – Vol. 124. – P. 67–70.
2. Lotfi-Khojasteh, E. A study of the electrochemical and tribological properties of TiN/CrN nano-layer coating deposited on carburized-H13 hot-work steel by Arc-PVD technique / E. Lotfi-Khojasteh, M. Sahebazamani, H. Elmkhah, M. Nouri, O. Imantalab, A. Fattah-Alhosseini // J. of Asian Ceramic Soc. – 2020. – 9(1). – P. 270–282.

3. Nekkanty, S. A Cohesive Zone Finite Element Approach to Model Tensile Crack in Thin Film Coatings / S. Nekkanty // J. of Mech. of Mat. and Struct. 2007. – Vol.2, №7.

4. Akhavan-Safar, A. Cohesive Zone Modelling-CZM. In: Cohesive Zone Modelling for Fatigue Life Analysis of Adhesive Joints / A. Akhavan-Safar, E.A.S. Marques, R.J.C. Carbas, L.F.M. da Silva // Springer Briefs in Appl. Sci. and Technol. – 2022.

5. Liu, J. The Cohesive Zone Model for Fatigue Crack Growth / J. Liu, J. Li, B. Wu // Adv. in Mech. Eng. – 2013. – 5.

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»)

Мельничук Ю.О., Петуша І.А., Осінов О.С.
Інститут надтвердих матеріалів
ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ, Україна

ІНСТРУМЕНТАЛЬНИЙ КОМПОЗИТ НА ОСНОВІ КНБ ДЛЯ ВИСОКОШВИДКІСНОЇ ОБРОБКИ З ВИСОКИМИ ПОДАЧАМИ

На сьогодні значний науковий і практичний інтерес представляють розробки композитів, варіювання складом, структурою і властивостями яких дозволяє суттєво покращувати функціональні характеристики інструментальних матеріалів. Композити на основі кубічного нітриду бору (КНБ) є найбільш ефективним інструментальним матеріалом для лезової обробки залізвуглецевих сплавів високої твердості (55–64 HRC), частка використання яких в промисловості постійно зростає.

При обробці з невисокими швидкостями різання зношування інструменту на основі КНБ відбувається переважно по задній поверхні і визначається інтенсивністю протікання процесів абразивної і адгезійної взаємодії контактуючих матеріалів. З її збільшенням стійкість інструменту істотно знижується. Особливо інтенсифікується процес зношування інструменту при швидкості різання понад 120 м/хв. Це пов'язано з тим, що із збільшенням швидкості різання збільшується контактна тем-

пература, що визначає зростання інтенсивності хімічної взаємодії контактуючих матеріалів. Попередньо проведені дослідження показують, що при використанні традиційних композиційних інструментальних матеріалів групи ВН (high-cBN grades) з високим вмістом КНБ (90–97%) при обробці заготовок із загартованої сталі твердістю 60–62 HRC збільшення швидкості різання вище 110 м/хв недоцільно у зв'язку з низькою стійкістю інструменту.

Застосування розроблених композитів групи ВЛ (low-cBN grades) із низьким вмістом КНБ (50–60%) дозволяє високоефективно проводити чистове точіння із швидкостями різання 220–250 м/хв, що значно підвищує продуктивність обробки. Проте такі матеріали мають підвищений знос по задній поверхні та інтенсивне руйнування при важкому переривчастому точінні.

Для визначення технологічних можливостей інструменту, оснащеного композитами групи ВЛ, було проведено обробку загартованої сталі ХВГ (62 HRC) із підвищеними подачами. Для порівняння було обрано матеріали, що мають високі експлуатаційні властивості при чистовому точінні: композит № 1 КНБ-ТіС (вміст 55% та 45% відповідно) (ІНМ НАНУ) та композит СВN100 (фірма Seco, Швеція). Як показали проведені випробування, інструменти, оснащені такими матеріалами, при точінні загартованої сталі ХВГ (62 HRC) із подачею $S = 0,19$ мм/об з підвищенням швидкості до $v = 215$ м/хв ($t = 0,2$ мм) втрачали свою працездатність вже після 6 хвилин роботи. Для СВN100 характерним є інтенсивний знос по задній поверхні, для композиту № 1 – мікросколювання різальної кромки в контактній зоні.

Подальші дослідження показали, що перспективним напрямком підвищення стійкості інструменту при точінні з високими навантаженнями на різальний клин є створення композитів із вмістом cBN 70–75 об.%. В ІНМ НАН України було створено композит № 2 КНБ-ТіС (вміст 75% та 25% відповідно), з якого виготовлено різальні пластини RNMN 09T300 (круглої форми діаметром 9,52 мм, товщиною 3,97 мм). Стійкість такого інструменту при високопродуктивному точінні загартованої сталі ХВГ (62 HRC) із режимами різання: $v = 215$ м/хв, $S = 0,19$ мм/об, $t = 0,2$ мм складає 12,5 хв при величині зносу $h_3 = 0,35$ мм. На контактних поверхнях пластини не спостерігається сколювання інструментального матеріалу.

Вимірювання параметрів шорсткості обробленої поверхні після кожного проходу інструменту показало, що її якість залишається достатньо високою протягом всього процесу обробки до настання величини зносу $h_3 = 0,35$ мм. Параметр шорсткості Ra змінюється в межах 0,48–0,67 мкм. На наступних проходах з'являється вібрація, що

пов'язано із значним зростанням радіальної сили різання, рівень якої за таких умов обробки досягає $P_y = 1200$ Н.

При обробці матеріалів меншої твердості (сталь ХВГ (57 HRC) стійкість інструменту із композиту № 2 підвищується до 25–30 хв.

Композити групи ВЛ із вмістом КНБ 70–75 об.% за інтенсивністю зношування при чистовому точінні високотвердих (60–64 HRC) залізобіацевих сплавів із високими швидкостями різання $v = 180$ – 270 м/хв поступаються на 25–30% аналогічним композитам із низьким вмістом КНБ (50–55 об.%), проте дозволяють проводити обробку при незначних динамічних навантаженнях на інструмент, що відповідає умовам напівчистового точіння. В таких умовах обробка композитами із низьким вмістом сВН (50–55 об.%) призводить до швидкого руйнування різальної вершини інструменту шляхом утворення мікро- та макросколювань інструментального матеріалу. Точіння різальними пластинами із композитів з вмістом КНБ 70–75 об.% може проводитись із підвищеними подачами ($S = 0,2$ – $0,3$ мм/об) при високій стійкості інструменту (25–30 хв), що значно розширює сферу застосування композитів групи ВЛ інструментального призначення.

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

*Олійник Н.О., Ільницька Г.Д., Петасюк Г.А.,
Базалій Г.А., Заболотний С.Д. Інститут надтвердих
матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України
Сизоненко О.М. Інститут імпульсних процесів
і технологій НАН України, Київ, Україна*

СУЧАСНІ МЕТОДИ ПОКРАЩЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ШЛІФПОРОШКІВ СИНТЕТИЧНОГО АЛМАЗУ АБРАЗИВНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Забезпечення якості та конкурентоспроможності порошоків синтетичного алмазу (ПСА) на внутрішньому і зовнішньому ринку для використання в абразивному інструменті потребує створення апробованих багатоваріантних методів покращення фізико-механічних характеристик ПСА.

Проведено дослідження та порівняльний аналіз характеристик ПСА вихідного шліфпорошку та продуктів його розділення в магнітному полі та при флотації, які отримано без та з попередньою підготовкою різними методами. Для розділення в магнітному полі використовували попередню підготовку порошку, яку проводили обробленням порошку в рідині ультразвуковими хвилями з нанесенням феромагнітних частинок на дефектні ділянки поверхні зерен з наступним сушінням порошку [1]. Розділення порошку проводили за допомогою електромагнітного сепаратору типа 138 Т при напруженості 5–20 А/м з отриманням двох фракцій, які розрізняються за показниками магнітних характеристик.

Для проведення флотаційного розділення використовували попередню підготовку обробленням шліфпорошку високовольтними електричними розрядами (ВЕР). Оброблення проводили в експериментальному стенді, який має енергетичні та технологічні частини. На стенді можливо варіювання напругою заряду накопичувача, частотою проходження імпульсів, енергією одиничного розряду, швидкістю введення енергії в розрядний проміжок і числом розрядів [2].

В якості підготовки порошку до розділення також застосовували метод хімічного оброблення рідинофазним окисненням порошку [3].

Флотаційне розділення ПСА на дві фракції (пінну і камерну) здійснювали у водному середовищі. Розділення шліфпорошку проводили за допомогою імPELLерної флотомашини із застосуванням ультразвукових хвиль, направленої подачі повітря та обертанням імPELLера флотомашини. Для підвищення вибірковості та контрастності властивостей зерен порошку застосовували флотореагенти (розчин солі Мора, емульсія жирної кислоти).

Дослідження проводили на шліфпорошках алмазу марок АС32-АС6 зернистостей 160/125-80/63 з використанням відомих методик, розроблених в ІНМ ім. В.М Бакуля НАН України. При дослідженні застосували прилад DiaInspect.OSM та прилад ДА-2.

Експериментально встановлено, що застосування метода оброблення шліфпорошку алмазу, який передбачає обробку порошку ультразвуковими хвилями, нанесення феромагнітних частинок на ділянки дефектної поверхні порошку та розділення в магнітному полі, дозволяє отримувати порошки, які відрізняються між собою за міцністю, дефектністю поверхні, мають підвищений рівень однорідності за міцністю та за магнітними властивостями.

Застосування попередньої підготовки порошку обробленням ВЕР та наступного флотаційного розділення алмазного порошку, в порів-

нянні з вихідним порошком, дає можливість отримати порошок з підвищеним на 23,8% показником міцності при статичному стиску, збільшеною на 25,0% однорідністю за міцністю, а також суттєво зниженою кількістю включень, отримувати більш однорідні за морфометричними характеристиками порошки, які мають більшу кількість різальних кромek та більший кут їх загострення, що забезпечує більш високу абразивну здатність.

Застосування попередньої підготовки порошку хімічним обробленням та наступного одностадійного та двостадійного флотаційного розділення алмазного шліфпорошку дає змогу отримати шліфпорошки з покращеними показниками за фізико-механічними та фізико-хімічними характеристиками, порошків, які мають менший вміст об'ємних дефектів в порівнянні до показників характеристик вихідного порошку. Зокрема, з пінних фракцій виготовлено шліфпорошки синтетичного алмазу з покращеними в 1,9 рази показниками однорідності за міцністю; зі збільшеним показником міцності при статичному стиску на 5,2%.

Таким чином, показано, що для підвищення якості шліфпорошків алмазу апробована багатоваріантність комплексного послідовного застосування процесів підготовки та розділення порошків алмазу.

Для виготовлення порошків марок АС32-АС6 зернистостей 160/125-80/63 з покращеними фізико-механічними характеристиками розроблено технологічну інструкцію ТІ 25000.00861 «Виготовлення алмазних синтетичних шліфпорошків підвищеної однорідності за міцністю з використанням підготовки порошку до флотації в ультразвуковому полі» та виготовлено експериментальну партію шліфпорошків алмазу.

Література

1. Ільницька, Г.Д. Спосіб розподілу порошків синтетичного алмазу за дефектністю поверхні зерен / Г.Д. Ільницька, Н.О. Олійник, В.І. Лаврінченко, І.М. Зайцева, Г.А. Базалій // Патент на корисну модель №152723 Україна. – 2023. – Бюл. №14.

2. Syzonenko, Olha. Synthetic diamond grinding powders with increased abrasive ability for grinding tools / Olha Syzonenko, Andrii Torpakov, Nonna Oliinyk, Halyna Ilnytska, Gregory Petasyuk, Galyna Bazaliy // Proceed., year VII, Iss. 2 (29), Varna, Bulgaria. – 2024. – Vol. II: Mach., Technol., Mat. – P. 312-313.

3. Олійник, Н.О. Дослідження впливу методів отримання порошку алмазу абразивного призначення на показники його фізико-механічних характеристик / Н.О. Олійник, Г.Д. Ільницька, Г.А. Петасюк, О.М. Сизоненко, Г.А. Базалій, С.Д. Заболотний // Інструменталь-

не матеріалознавство : зб. наук. праць. – К. : ІНМ ім. В. М. Бакуля
НАН України, 2023. – вип. 26. – С. 170–179.

*Петасюк Г.А., Бочечка О.О., Лавріненко В.І.,
Полторацький В.Г., Білоченко В.П. Петасюк О.У.*
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля
НАН України, Київ, Україна

МЕТОДИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ СТУПЕНЯ ПОКРИТТЯ АБРАЗИВНИХ ШЛІФПОРОШКІВ НАДТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ, НАНЕСЕНОГО РІДИННО-ФАЗОВИМ СПОСОБОМ

Покриття є одним із відомих способів модифікування поверхні зерен порошків надтвердих матеріалів (НТМ) абразивного призначення. Важливою ознакою якості модифікованих таким чином шліфпорошків є ступінь їхнього покриття. Крім самостійного значення як ознаки якості, ступінь покриття має і ще одне прикладне застосування. Воно стосується використання показника ступеня покриття як складової сукупності початкових даних, необхідних для опосередковано-аналітичного визначення ще одного не менш важливого атрибуту якості таких шліфпорошків – товщини покриття.

Показник ступеня покриття у сфері абразивних порошків загально-прийнято визначати як виражене у відсотках відношення маси матеріалу покриття до маси абразивного порошку, який підлягає модифікації [1, 2]. Таке його визначення можна падати наступною формулою

$$\mu_{\tau} = \frac{m_{\text{п}}}{m_{\text{а}}} \times 100, \quad (1)$$

де $m_{\text{а}}$, $m_{\text{п}}$ – відповідно маси початкового шліфпорошку та матеріалу покриття, призначеного для нанесення на зерна початкового шліфпорошку. Такий спосіб визначення ступеня покриття умовно можна назвати апіорним. Подібна назва відображає ту обставину, що він передбачає визначення ступеню покриття до його нанесення. Недоліком подібного способу визначення ступеня покриття є те, що він не враховує реальних геометричних параметрів та морфометричних характеристик ні початкового, ні модифікованого шліфпорошків. Зазначений недолік може негативно відобразитися на достовірності опосередко-

вано-аналітичного визначення товщини покриття, оскільки ступінь покриття входить в перелік початкових даних для опосередковано-аналітичного визначення товщини покриття і тому впливає на похибку її визначення. З метою уникнення такої ситуації в роботі [3] запропоновано пікнометрично-адитивний метод визначення ступеня покриття шліфпорошків надтвердих матеріалів з використанням екстраполяційно-афінної 3D-моделі зерна. Цей метод умовно можна назвати апостеріорним, оскільки ступінь покриття за ним визначається після нанесення покриття та із врахуванням реальних геометричних параметрів та морфометричних характеристик як початкового, так і модифікованого шліфпорошків. Головна ідея такого методу полягає у переході у формулі (1) від мас до об'ємів. Це можна здійснити, якщо скористатися відомим із фізики фундаментальним пікнометричним співвідношенням між масою, об'ємом і густиною твердого тіла та адитивною властивістю самого об'єму. З урахуванням цього формула (1) була трансформована до такого виду [3]

$$\mu = \frac{\rho_n}{\rho_a} \left(\frac{V_n}{V_a} - 1 \right), \quad (2)$$

де V_a , V_n – відповідно середні значення об'ємів зерна шліфпорошку початкового та після нанесення на поверхню його зерен покриття (мкм^3), ρ_n , ρ_a – відповідно густина матеріалу покриття та НТМ (г/см^3). Об'єми V_a і V_n можуть бути вираховані на підставі результатів сучасного автоматизованого діагностування (наприклад, за допомогою приладу DialInspect.OSM [4]) морфометричних характеристик початкового і модифікованого шліфпорошків та виходячи із прийнятої 3D моделі їхніх зерен. При цьому приймається також допущення стосовно однотипності просторово-геометричної форми зерен порошків початкового та модифікованого.

Для підвищення достовірності визначення ступеню покриття пропонується [3] виконувати ситове розділення початкового шліфпорошку з виділенням його основної фракції. Це можна здійснити або шляхом прямого ситового розділення, або ж опосередкованим методом із використанням алгоритму комп'ютерного сита [5]. Як відзначається в [3], більш ефективним є другий варіант. Потім від виділеної в результаті ситового розділення початкового шліфпорошку основної його фракції відбирають пробу у кількості 1500–2000 штук зерен, за допомогою приладу DialInspect.OSM проводять вимірювання морфометричних характеристик (максимальний і мінімальний діаметри Фере, площа та периметр проекції зерна, його висота) цієї проби, знаходять

середні значення вимірюваних величин. Потім в тій же послідовності і в тому ж обсязі аналогічні процедури виконуються і для шліфпорошка із нанесеним на його зерна покриттям. Приймають певну 3D модель просторово-геометричної форми зерна шліфпорошку початкового та після нанесення на нього покриття. В роботі [3] пропонується використовувати для цього екстраполяційно-афінну 3D модель зерна. Базуючись на цьому знаходять середні значення об'єму зерен шліфпорошків початкового та з нанесеним на його зерна покриттям, а ступінь покриття (μ) вираховують за залежністю (2).

У зв'язку з наявністю двох формул для апріорного і апостеріорного визначення ступеню покриття, цікавим є порівняльний аналіз результатів такого визначення ступеню покриття за формулами (1) та (2) відповідно. Нижче подаються отримані нами результати порівняльного дослідження співвідношення апріорного і апостеріорного визначення показників ступеня покриття абразивних шліфпорошків надтвердих матеріалів. Як абразивні шліфпорошки у виконаних дослідженнях використовувалися стандартні за ДСТУ 3292-95 шліфпорошки синтетичного алмазу АС20 125/100 та АС15 160/125 масою 8 г кожний з нанесеними на їхні зерна трьохкомпонентними покриттями.

Нанесення покриттів здійснювалося рідинно-фазовим способом і проводилося у відділі № 14 Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України. Матеріалом покриття слугували борний ангідрид (B_2O_3), мікропорошок кубічного нітриду бору КМ 3/2. Третьою компонентою покриття слугували силікат натрію (Na_2SiO_3) у випадку шліфпорошка АС20 125/100 та желатин харчовий марки «П-19 Своя Лінія (ТУ У 20.5-40196004-003:2019)» у випадку шліфпорошка АС15 160/125. Інформація щодо використаних у цьому дослідженні початкових і модифікованих шліфпорошків, перелік і маси складових компонентів покриття подається у табл. 1.

Таблиця 1 – Початкові (П1, П2) та модифіковані (М1, М2) шліфпорошки та їхні маси, матеріали покриття і маси складових компонентів покриття

Шліфпорошки	Модифікатор		Апріорне значення ступеня покриття
	склад і маси складових	загальна маса	
АС20 125/100, П1, 8г	–	–	
АС15 160/125, П2, 8г	–	–	
АС20 125/100, М1	B_2O_3 (0,44 г)+КМ 3/2, (1 г) + Na_2SiO_3 (0,5 г)	1,94 г	24,5,%
АС15 160/125, М2	B_2O_3 (0,44 г)+КМ 3/2 1 г +харчовий желатин 0,5 г	1,94 г	24,5, %

За допомогою приладу DialInspect.OSM для кожного початкового шліфпорошку проводили вимірювання морфометричних характеристик, які необхідні для визначення об'ємів. На підставі цих морфометричних характеристик та приймаючи екстраполяційно-афінну 3D модель просторово-геометричної форми зерна, вираховували середній об'єм (V) зерен початкових шліфпорошків методом, описаним в [5]. Потім в тій же послідовності і в тому ж обсязі аналогічні процедури виконувалися і для шліфпорошків із нанесеним на їхні зерна покриттям. Результати подаються у табл. 2. У цій же таблиці подаються також значення густини матеріалу початкових порошків, матеріалів складових трьохкомпонентних покриттів та вираховані за ними узагальнені показники густини матеріалу покриття в цілому. Узагальнені показники густини матеріалу покриття в цілому вираховували за формулою

$$\rho = \frac{m_n}{v_n} = m_n \left[\frac{m_1}{\rho_{n1}} + \frac{m_2}{\rho_{n2}} + \frac{m_3}{\rho_{n3}} \right], \quad (3)$$

де v_n – загальний об'єм складових матеріалу покриття, $m_1, \rho_1; m_2, \rho_2; m_3, \rho_3$ – маса та густина першої, другої та третьої складових компонент матеріалу покриття відповідно. Зауважимо, що у випадку харчового желатину замість густини використовувався показник його насипної щільності. Експериментально визначене нами значення цієї характеристики зазначеного матеріалу виявилось рівним $0,7 \text{ г/см}^3$, що узгоджується із даними з електронного ресурсу за посиланням [6], де подається показник щільності харчового желатину, рівний $0,72 \text{ г/см}^3$.

Таблиця 2 – Початкові дані для апостеріорного визначення ступеня покриття (μ , %) за формула (2) та отримані його показники

Характеристики	AC20 125/100		AC15 160/125	
	початковий	з покриттям	початковий	з покриттям
$V/100, \text{ мкм}^3$	12626	15427	23348	28157
$\rho, \text{ г/см}^3$	3,51	2,94	3,51	1,65
ступінь покриття за формулою (2)	–	18,57	–	9,67

Далі з використанням значень об'ємів і показників густини (табл. 2) та мас початкових шліфпорошків і складових компонент матеріалу покриття (табл. 1) проводили визначення ступеня покриття за формулами (1) та (2). Для обох зразків $m_a = 8 \text{ г}$, $m_n = 1,94 \text{ г}$ і обчислення формулою (1) дає результат: $\mu = 24,25\%$. При обчисленні за формулою (2) для зразка 1 $\mu = 18,57\%$, для зразка 2 – $\mu = 9,67\%$. Отримані значення ступеня

покриття подаються у табл. 2. Як бачимо, результати визначення ступеню покриття відрізняються. Застосування формули (1) дає завищені у рази значення ступеня покриття у порівнянні із значеннями, отриманими за формулою (2) у 1,31 для першого та 2,51 рази для другого початкових шліфпорошків відповідно. Автори схильні дотримуватися припущення того, що більш достовірним значення ступеня покриття слід вважати те, яке доставляє пікнометрично-адитивний метод, тобто апостеріорне його значення. Правомірності (реалістичності) такому висновку додає той факт, що в процесі нанесення покриття рідинно-фазним способом може відбуватися часткова кристалізація матеріалу покриття, про що зазначалося, наприклад, в роботі [3]. Вона призводить до зменшення частки маси покриття, яке безпосередньо осідає на поверхню зерен шліфпорошка у процесі його модифікації. Це в свою чергу може призвести до завищення значення ступеня покриття, отриманого апріорно, що і спостерігається у нашому дослідженні. Тому при рідинно-фазному способі нанесення покриття визначення ступеня покриття доцільніше проводити на основі апостеріорного підходу його, застосовуючи пікнометрично-адитивний метод, тобто формулу (2).

Література

1. Прудников, Е.Л. Абразивосодержащие электрохимические покрытия / Е.Л. Прудников, Т.М. Дуда, А.С. Зарицкий. – К. : Наук, думка, 1985.– 216 с.
2. Qingzhu, Ge. Characterization of Cr Coating Obtained on Micrometer-Scale Diamond Particles Prepared by Molten Salt Method / Ge Qingzhu, Yan Meng, Jiang Yang, Wang Yonghong, Liu Junwu // J. of Superhard Mat. – 2022. – Vol. 44, №6. – P. 393–404.
3. Petasyuk, G.A. The Additive Pycnometric Method for Assessment of the Degree of Coating of Grinding Powders Made of Superhard Materials Using the Extrapolation-Affine 3D-Model of the Grain / G.A. Petasyuk, O.O. Bochechka, V.I. Lavrinenko, V.G. Poltoratsky, V.P. Bilochenko D.V. Sokolyuk // J. of Superhard Mat. – 2020. – Vol. 42, №3. – P. 199–202.
4. DiaInspect.OSM. Automated particle analysis for superabrasives and surface analysis 2010. Operation guide Version 1.2.8. – <https://vdiamant.de/languages/diainspect-osm.html>
5. Петасюк Г.А. Наукові основи комплексного оцінювання якості порошків синтетичного алмазу та КНБ для створення абразивного інструменту / Г.А. Петасюк : автореф. дис. д-ра техн. наук. – К. : 2015 – 37 с.
6. Source: FAO/INFOODS (2012). FAO/INFOODS Density Database Version 2.0. FAO, Rome.– Retrieved 2020-09-20.

СУТЬ КОМБІНОВАНИХ МЕТОДІВ ІНЖЕНЕРІЇ ПОВЕРХНІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Згідно з сучасними уявленнями, кількості відомих методів інженерії поверхні деталей машин можна умовно розділити на чотири класи: нанесення покриття, модифікування поверхневого шару, технологічне забезпечення топографії поверхні та комбіновані методи [1–4]. При цьому останні є найбільш перспективними, однак найменш вивченими. Прикладами комбінованих методів є поєднання нанесення покриттів з модифікуванням поверхні, механічна обробка покриттів чи модифікованих поверхонь тощо. Згідно з даними Інституту електрозварювання ім. Є.О.Патона НАН України у США та державах західної Європи так звані «гібридні» процеси інженерії поверхні отримують переважне фінансування поряд з лазерними технологіями та процесами зварювання тиском. Тому метою дослідження було вивчення фізико-технологічних основ комбінованого методу інженерії поверхні деталей машин, побудованого на модифікуванні заготовки холодним пластичним деформуванням і технологічним забезпеченням топографії поверхні, яке полягало в нанесенні на останню заданого мікрорельєфу (мережі канавок певного профілю). Доцільність такого поєднання різних методів інженерії поверхні деталей машин полягає у наступному. Широка номенклатура вузлів та деталей машин експлуатується в умовах тертя ковзання. Це, зокрема, виконавчі та силові органи гідросистем, колінчасті вали транспортних засобів, амортизатори, домкрати, підшипники та ін. У всіх випадках роботи таких пар тертя ключовою проблемою є оптимальні умови мащення деталей, що контактують, а також запобігання явищам адгезії (схоплювання). Крім того, осколкові боеприпаси, що широко застосовуються в оборонній справі, можуть бути виготовлені за допомогою комбінованих методів інженерії поверхні. У цьому випадку мережа канавок певного профілю може формуватись за допомогою деформуючих елементів. Переваги такого методу полягають в наступному. Сорочка осколкових боеприпасів від ручних гранат до авіаційних бомб на сьогодні виготовляється з трубного прокату. При цьому поділ цієї сорочки на окремі осколки виконується шляхом нарізання макрорельєфу за допомогою різального інструменту. Це пов'язано з певними труднощами, оскільки ця деталь виготовляється з високопластичних матеріалів (маловуглецевих і ни-

зьколегованих сталей, а також алюмінієвих сплавів), які відзначаються низькою оброблюваністю, тобто схоплюваністю.

Суть енергетичної гіпотези схоплювання полягає в наступному. Для утворення з'єднання кристалічних тіл недостатньо їх зближення на відстань порядку параметрів кристалічної решітки. Для цього необхідне перевищення певного для кожної пари матеріалів енергетичного порогу. Утворення зв'язків це бездифузійний процес, за характером близький до мартенситного або поліморфного перетворення. Площа місточків схоплювання, що виникають на плямах фактичного контакту, визначається рядом параметрів, зокрема прикладеним навантаженням. У випадку, коли це навантаження викличе напруження, що перевищують межу пружності одного з контактуючих матеріалів, почнеться пластична деформація, призведе до зростання площі місточка зварювання і збільшення його несучої здатності. Щоб запобігти цьому небажаному явищу можна застосовувати комбінований метод модифікування поверхні деталей машин ультразвуковим холодним пластичним деформуванням. Однак цей метод, який є досить ефективним при обробці деталей, оскільки місточки адгезії руйнуються ще на початку їх утворення завдяки коливанню деформуючого інструмента з амплітудою порядку кількох мікрометрів при частоті 18-20 кГц, важко реалізувати.

Виходячи із сказаного, нами була висунута робоча гіпотеза про те, що адгезійні явища можна суттєво пригальмувати або не допустити їх зовсім, якщо значно підвищити межу текучості контактуючого матеріалу, що є «слабкою ланкою» в парі за характеристиками пружності. Саме ця гіпотеза стала теоретичною передумовою дослідження.

В експериментах було використано оригінальні результати по створенню методу редукування порожнистих циліндричних деталей типу поршневих пальців ДВЗ. Холодне пластичне деформування, як об'ємне так і поверхневе, на відміну від термічної обробки, дозволяє ефективно керувати фізичними властивостями матеріалу деталі простими технологічними засобами. Для отримання макрорельєфу було застосовано метод редукування на фасонній оправці, суть якого полягає в тому, що на зібрану оправку 2 (рис. 1) із легованої інструментальної сталі, наприклад марки ХВГ, загартованої до твердості HRC 64–65, або твердих сплавів міцних марок, наприклад ВК15М, розміщуються в пазах оправки з можливістю радіального регулювання.

Матриця 1 робочою конічною частиною обтискує зовнішню поверхню втулки під дією штовхача 4, внаслідок чого виникає радіальне розтікання металу, в який заглиблюються лінійні індентори, утворюючи потрібний профіль і глибину канавки. Після проходження матриці

по всій твірній деталі процес зупиняється. Потім оправка виштовхується з робочої зони, залишаючи клини у втулці. При цьому суцільність канавки не порушується. Таким чином, за один прохід виробу через матрицю забезпечується отримання готової поверхні.

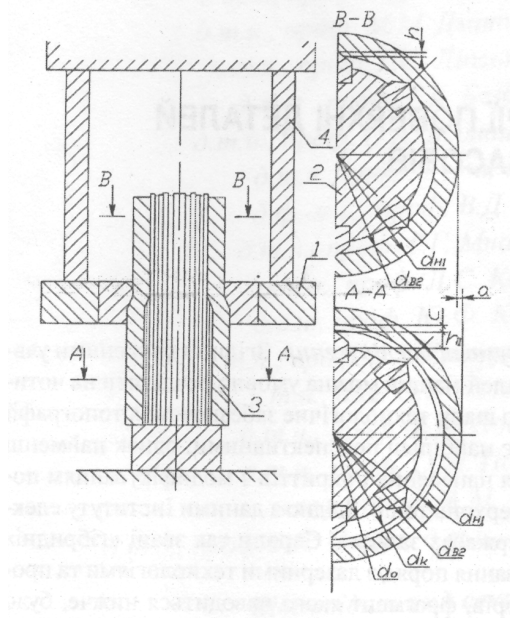


Рис. 1 – Схема комбінованого методу інженерії поверхні гільз «редукування-рельєфуотворення» і пристрою для його реалізації

Експерименти проводилися на гідравлічному пресі зусиллям 1100 кН, з пристроєм для реєстрації зусилля при швидкості деформування 0,02м/хв.

Межі зміни факторів експерименту наступні: втулки $D = 96_{-0,1}$ мм, $d = 80^{+0,1}$ мм, $L = 100_{-0,2}$ мм; матриці мали розміри робочих отворів – 93,97мм, 91,98мм, 89,73 мм; кути при вершинах клинів $2\alpha = 70-130^\circ$; радіуси скруглення при їх вершинах $\rho = 0,04-0,1$ мм; зазор $c = 0,04-0,1$ мм; для натягів $a = 1-3$ мм ступінь обтискання $\varepsilon = 3-7\%$; матеріали: армко-залізо (НВ=120), сталь 20 (НВ=150), сталь 45 (НВ=180). Осьова сила редукування (обтиску) знаходилася в межах 100–250 кН, сила випресовування – біля 15 кН.

Після редукування втулок їх видовження не перевищувало 5%. У процесі дослідження були визначені аналітичні залежності глибини канавки h від геометричних розмірів інструменту, оправки, вихідних

розмірів втулки, натягу [5]. Коли величина натягу a – менша сумарної величини $c + h_1$, (див. рис. 1), тоді поверхня заготовки буде взаємодіяти тільки з клиновим інденктором, а якщо вона більша від цієї величини, тоді внутрішня поверхня заготовки буде контактувати з поверхнею клинового інденктора і гладкою частиною оправки. Заглиблення клинового інденктора для випадку, коли $a > c + h_1$, може бути визначена співвідношенням

$$h = 0,5(d_{H1} - d_{B2}), \quad (1)$$

де d_{H1} – діаметр кола клинів; d_{B2} – внутрішній діаметр втулки після обтискання.

З урахуванням явища нестискання втулок до та після редукування отримана розрахункова формула величини заглиблення, виходячи з заданих початкових параметрів

$$h = \frac{1}{2} \left[d_{H1} - \sqrt{(d_{H1} - 2a)^2 - \frac{4t}{\beta} (d_{H1} - t)} \right] - t - c, \quad (2)$$

де a – величина натягу, яка визначається з рівняння:

$$a = \frac{1}{2} \left[(d_{H1} - d_{H2}) - U_d \right], \quad (3)$$

d_{H1} – зовнішній діаметр втулки до обтискання; d_{H2} – зовнішній діаметр втулки після обтискання; U_d – величина пружного повернення зовнішньої поверхні заготовки; t – товщина стінки.

Величину зазора між виступом клину і внутрішньою поверхнею циліндричної заготовки можна визначити так

$$C = 0,5(d_{B1} - d_H), \quad (4)$$

де d_{B1} – внутрішній діаметр заготовки після обтискання.

Величина зміни довжини заготовки після обтискання характеризується коефіцієнтом β , який дорівнює

$$\beta = l_0/l, \quad (5)$$

де l_0 – початкова довжина втулки; l – довжина втулки після обтискання.

Експериментальна перевірка отриманого рівняння показала відповідність між теоретичними та експериментальними даними (відхилення складала не більше 4%).

Таким чином на основі виконаного дослідження розроблено принципову схему комбінованого методу інженерії поверхні отворів деталей типу гільз, який поєднує наскрізне і поверхневе зміцнення стінки деталі з одночасним нанесенням мережі канавок. Такий метод дозволяє позбавитись шкідливих адгезійних явищ при експлуатації пар тертя ковзання механізмів, поліпшити їх змащування за рахунок

можливості заповнювати мастилом впадини регулярного макрорельєфу. Крім того цей метод дозволяє суттєво підвищити поділ осколкової сорочки при роботі боеприпасів.

Література

1. Посвятенко, Е.К. Передумови становлення науково-виробничого напрямку «Інженерія дискретних поверхонь»/ Е.К. Посвятенко, Н.І. Посвятенко, М.В. Головащук // Якість, стандартизація, контроль: теорія та практика : мат. 23-ї міжнарод. наук.-практ. конф., 27–28 вересня 2023р. – К. : АТМ України, 2023. – С.67–73.

2. Посвятенко, Е.К. Інженерія деталей, оброблених протягуванням / Е.К. Посвятенко, Я.Б. Немировський, С.Є. Шейкін та ін. – Кропивницький : Вид-ць Лисенко В.Ф., 2021. – 466 с.

3. Посвятенко, Е.К. Комбіновані методи інженерії поверхні деталей транспортних засобів / Е.К. Посвятенко, О.В. Мельник, В.В. Алексєєв // Вісн. Нац. трансп. ун-ту. – К. : НТУ, 2006. – вип.11. – С.13–16.

4. Шепеленко, І.В. Створення нових методів інженерії поверхні деталей машин і механізмів / І.В. Шепеленко, Е.К. Посвятенко // Мат. V міжнарод. наук.-практ. конф. «Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем», 13–15 квітня 2022 р. – Кропивницький : ЦНТУ, 2022. – С. 135–136.

5. Посвятенко, Е.К. Основи розрахунку комбінованого інструменту для процесів на базі протягування / Е.К. Посвятенко, Ю.М. Іванов // Резание и инструмент в технологических системах : сб. науч. тр. – 2001. – вип. 59. – С.171–175.

Рябченко С.В. Інститут надтвердих матеріалів
ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ, Україна
Аргиров Я., Мечкарова Т.
Технически Университет–Варна, Варна, България

ЕФЕКТИВНІСТЬ ОБРОБКИ НАПЛАВОК АЛМАЗНИМ ІНСТРУМЕНТОМ

Обробка наплавлених спеціальними сплавами поверхонь є актуальною проблемою виробництва та ремонту устаткування. Особливо проблематично забезпечення якості та фізико–механічного стану обробленої поверхні. Найбільш ефективним методом обробки наплавле-

них матеріалів є шліфування інструментом з синтетичними алмазами. Проведена оцінка ефективності обробки шліфуванням наплавленого матеріалу – дуплексного сплаву (типу 2507).

Для обробки наплавленого матеріалу використовували циліндричні головки діаметром 10 мм з синтетичного алмазу зернистістю 200/160 (рис. 1).

Наплавлені поверхні нанесені у вигляді валиків висотою 2 мм на зразок пластини розміром 100×50×12 із спеціального дуплексного сплаву типу 2507 (рис. 2). Наплавлений матеріал наносились на пластину ручним зварюванням електродом SAAB діаметром 2,5 мм. Робочий струм зварювання 70 Ампер.



Рис. 1 – Зовнішній вигляд шліфувальної головки із синтетичного алмазу



Рис. 2 – Наплавлена пластина

Випробування зазначених інструментів проводились на ручному електроінструменті професійного класу – шліфувальній машині DREMEL 3000. Її основні технічні характеристики: потужність 130 Вт; напруга 230 Вольт; частота обертів 33000 об/хв.

Шліфування наплавлених валиків виконувалось послідовно. Перший валик не шліфувався і подальше використовувався як первинна поверхня для досліджень фізико-механічного стану наплавленого матеріалу. Послідуючі валики шліфувались абразивною головкою з синтетичного алмазу на різних режимах шліфування.

Результати порівняльних випробувань алмазних головок при шліфуванні показали високу ефективність обробки наплавленого матеріалу. Зняття матеріалу складає 0,5 мм шару за 1 хв, а знос абразивної головки був мінімальний та складав 0,05 мм. Стійкість

алмазної головки складає до 3 хв до повного зносу. Шліфування наплавленого матеріалу виконувалось з мінімальним виділенням тепла («холодне шліфування») та мінімальним навантаженням.

Рябченко С., Федоренко В. Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля, Київ, Україна
Середа Г. ДП «Бест-Бізнес», Київ, Україна
Stanislav Holey, «Best-Business, a.s.»,
Kunstat, Czech Republic

ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ШЛІФУВАЛЬНИХ КРУГІВ ІЗ СПЕЦІАЛЬНИХ КОРУНДІВ ПРИ ОБРОБЦІ ДЕТАЛЕЙ РЕДУКТОРІВ З ЗАГАРТОВАНИХ СТАЛЕЙ

Шліфування деталей авіаційних редукторів з загартованих сталей є актуальною проблемою. Дослідження працездатності шліфувальних кругів, які використовуються при обробці цих матеріалів є суттєвою проблемою. Для проведення коректних досліджень використовувались при обробці зразки з загартованих сталей, які є подібними матеріалами з яких виробляються деталі авіаційних редукторів.

Нами було проведено дослідження працездатності шліфувальних кругів (виробництва «Best-Business, a.s.», Чехія) із спеціальних корундів – хромистого корунду (рубін-корунду) та золь-гелієвого корунду при обробці загартованих швидкоріжучих сталей Р6М5 (60 HRC).

Досліджувалась працездатність чашкових шліфувальних кругів (типу Т6) діаметром 100 мм та висотою 40 мм, зернистістю F60 на керамічній зв'язці. Обробка загартованих сталей проведена в умовах торцевого шліфування на заточувально-шліфувальному верстаті 3Б642 (рис. 1).

Шліфувалася торцева поверхня пластини розміром 120x30x5 мм із загартованої швидкоріжучої сталі типу Р6М5 (HRC 60). При дослідженні працездатності шліфувальних кругів контролювались:

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



a



б

Рис. 1 – Шліфувальні круги із спеціальних корундів хромистого (а) та золь-гелієвого (б) при режимах шліфування: швидкість абразивного кругу $v_{кр} = 15$ м/с; подовжена подача $s_{np} = 2$ м/хв; поперечна подача $s_{non} = 0,04$ мм/подв.хід

Результати дослідження працездатності шліфувальних кругів показали, що обробка загартованої сталі Р6М5 ефективна кругами із спеціальних корундів, як з хромистого корунду (рубін-корунду) так і золь-гелієвого корунду. Круги із хромистого корунду шліфують загартовану сталь рівномірно, без напруження та не «припікають» поверхню обробленого матеріалу, але потужність шліфування значно вище ніж у кругів із золь-гелієвого корунду. Також рівномірно, без напруження і не «припікаючи» поверхню обробленого матеріалу шліфують загартовану сталь шліфувальними кругами із золь-гелієвого корунду, але з меншою потужністю шліфування, забезпечуючи при цьому меншу шорсткість обробленої поверхні. Результати показників працездатності шліфувальних кругів із спеціальних корундів приведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Показники працездатності шліфувальних кругів із спеціальних корундів

Шліфувальний круг	Зняття обробленого матеріалу, г	Лінійний знос кругу, мкм	Відносний знос кругу, q , мкм/г	Потужність шліфування, N_{ef} , Ват	Шорсткість обробленої поверхні, Ra , мкм
Хромистий корунд	20	170–125	8,8–6,2	250	0,44
Золь-гелієвий корунд	15	80–68	5,2–4,5	150	0,38

Відносний знос кругу на 1 г знятого матеріалу розраховувався відносно лінійного зносу кругу до кількості зняття обробленого матеріалу за період шліфування і складає від 4,5 мкм/г до 8,8 мкм/г. Потужність шліфування N_{ef} визначалась різницею загальної потужності $N_{заг}$

та потужності холостого ходу N_{xx} . За весь період шліфування потужність N_{ef} складала 150–250 Ват.

Шорсткість обробленої поверхні замірялась вздовж торцевої поверхні шліфованого зразка та Ra складала від 0,44 до 0,38.

Висновки. Використовування шліфувальних кругів із спеціальних корундів продемонструвало добру здатність до механічної обробки загартованої швидкоріжучої сталі типу Р6М5 (HRC 60).

Дослідженнями працездатності шліфувальних кругів встановлено, що відносний знос круга складає від 4,5 мкм/г до 8,8 мкм/г, це є добрим показником відносного зносу шліфувального круга.

Круги із спеціальних корундів шліфують загартовані швидкорізальної сталі рівномірно, без напруження та не «припікають» поверхню обробленого матеріалу.

При шліфуванні кругами із хромистого корунду потужність значно вище і складає до 250 Ват в порівнянні кругами із золь-гелієвого корунду потужність до 150 Ват.

Шорсткість обробленої поверхні складає Ra 0,44 при шліфуванні кругами із хромистого корунду в порівнянні з кругами із золь-гелієвого корунду Ra 0,38.

Саленко О.Ф., Данильченко Ю.М. Національний технічний університет України «Київський політехнічний університет імені Ігоря сікорського», Київ, Україна
Swook Hann, Корті, South Korea, Seoul

МОНІТОРИНГ ШВІВ, ОТРИМАНИХ ЛАЗЕРНИМ ЗВАРЮВАННЯМ РІЗНОТОВЩИНИХ ДЕТАЛЯХ

Серед процесів, які є максимально затребувані сьогодні, є лазерне зварювання. Цей вид нероз'ємного сполучення деталей знаходить застосування як для малих, так і для деталей, розміри яких обмежуються розмірами вакуумної камери. Важливим завданням подібних процесів є забезпечення фізико-механічних властивостей сполучених елементів, гарантування міцності зони зварювання, відсутність у виробках дефектів, спроможних виявитися у майбутньому.

Способи та методи контролю, моніторингові системи постають тим інструментарієм, який здатен оперативно контролювати процес,

вчасно виконувати коригувальні дії, а у деяких випадках забезпечувати раціональні умови виконання обробки.

Виробництво спеціальних боксів та елементів живлення з кольорових сплавів, сполучених лазерним вакуумним зварюванням, потребує контролю якості зварювання, встановлення глибини проплавлення шва. При цьому, порівняно із іншими, ультразвукова діагностика є достатньо надійним, високопродуктивним методом неруйнівного контролю, що нині застосовується у багатьох галузях.

Традиційно даний тип контролю притаманний елементам значної товщини, у той час як для малих товщин похибки визначення дефектів є порівняними із розмірами самого дефекту, що обмежує застосування даного методу на практиці.

Мета досліджень полягала в оцінці можливостей ультразвукової діагностики різнотовщинних зварних з'єднань.

Зварювання в вакуумі виконувалася за допомогою лазерного комплексу ЛСК-400-5 і з використанням універсальної вакуумної станції ВУП-5. Під час зварювальних робіт промінь фокусувався в площині верхньої оброблюваної деталі. Позиціонування здійснювалося з використанням столу поперечного переміщення, що забезпечує зварювання в декількох точках з різною тривалістю процесу. Тривалість процесу – від 0,10 с до 0,15 с.

У якості макетів обрано спеціальні контейнери циліндричної форми, тонкостінні із кришками, що вставляються із торця та закривають циліндричну частину так, що утворюється поясок під зварювання. Схема проведення зварювання подана на рис. 1.

Застосовуваний лазер є імпульсним і працює на фіксованих частотах. Використання даного методу зварювання дозволяє отримувати задовільний проплав на торцях кришки, однак, оскільки міцність з'єднання визначається глибиною формування ванни розплаву, актуальним постає питання тестування щільного середовища та нещільного, де розплав на поверхнях контакту не відбувся. Оскільки для даної схеми нещільне середовище подібне до тріщини, яка задовільно фіксується ультразвуковим дослідженням, а стінки зварюваних елементів досить малі, постає питання підвищення точності діагностики за рахунок використання спеціальних датчиків та спеціальних алгоритмів обробки сигналу. При цьому виходили із того, що у випадку дискретного представлення неперервної функції у вигляді сукупності вибірок $x[n] = x(t)|_{t=nT}$, взятих з періодом T , поняття спектральної щільності амплітуди послідовності відліків визначається парою дискретно-

часового перетворення Фур'є (ДЧПФ), що для послідовності $x[n]$ скінченної довжини в N відліків набуде вигляду:

$$X[k] = T \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-j2\pi kn/N}, \quad 0 \leq k \leq N-1;$$

$$x[n] = \frac{1}{NT} \sum_{k=0}^{N-1} X[k] e^{j2\pi kn/N}, \quad 0 \leq n \leq N-1.$$

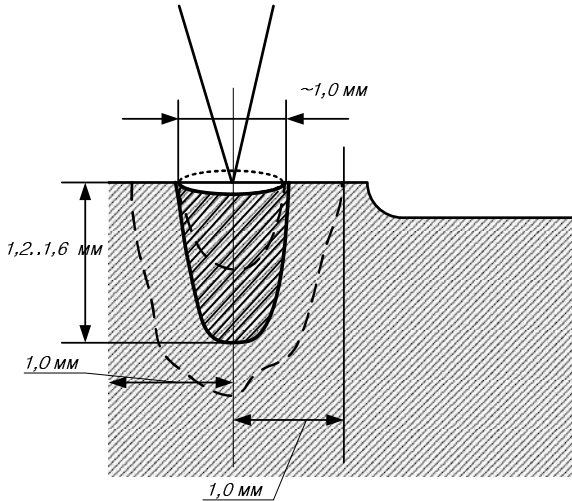


Рис. 1 – Схема зварювання контейнера із кришкою та передбачувана ванна розплаву

Сигнал $x[n]$ не може бути одночасно обмеженим за тривалістю і за шириною полоси спектру. Одначе, його можна характеризувати певним інтервалом T_e секунд, в якому буде зосереджена більша частина його енергії при представленні у часовій області, і деяким інтервалом B_e герц, в якому буде зосереджена більша частина його енергії при представленні у частотній області.

Саме з цим пов'язана основна характеристика спектральної оцінки – роздільна здатність, під якою розуміють здатність роздільно вимірювати спектральні відгуки двох синусоїдальних сигналів, близьких за частотою і амплітудою. Програмно потрібна роздільна здатність забезпечується використанням функції «вікон».

Для вирішення задач досліджень було розроблено математичну модель поширення хвилі в матеріалі. На її основі розраховуються поля

руху ультразвукових хвиль, після чого виконується зняття спектрограм на дослідному зразку.

Оскільки ультразвукові ПЕП випромінюють короткий сигнал з широким спектром частот, які впливають на підсумкову форму прийнятого лунь-сигналу, для обліку частотних характеристик ПЕП і електричного тракту використовуваної дефектоскопічної апаратури необхідно знати Фур'є-образ імпульсного відгуку системи $\tilde{V}(f)$.

За моделями також знаходяться раціональні положення датчику при вимірах. Перевіряються отримані спектрограми у ручному режимі, встановлюється форма спектрограм, виявляються базові частотні піки. Отримані дані заносяться у файл (рис. 2) і виконується обробка сигналу. Отримуються рівняння регресії для встановлення умови якісного та дефектного зварного з'єднання, базуючись на вимогах, що глибина проплавлення (шва) має перевищувати 1,4 мм. Деталі перевіряються на напівавтоматичному пристрої для контролю.

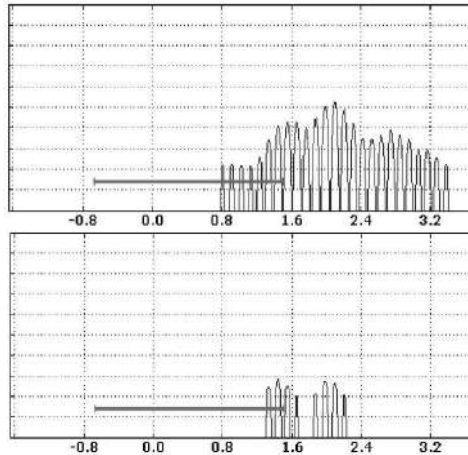


Рис. 2 – Csv сигнал, занесений до файлу

Таким чином, теоретично обґрунтовано застосування засобів ультразвукового контролю для аналізу якості шва у пристінковій області на тонкому циліндричному виробі, врахування крайових ефектів (інтерференції хвиль, малих товщин та ін.), використання спеціальних алгоритмів для покращення інформативності сигналу.

Доведена можливість контролю якості лазерного вакуумного зварювання тонких (біля 1–2 мм) стінок циліндричних виробів за величиною проплави шва. При застосуванні спеціальних алгоритмів покращення

щення сигналу вдалося ідентифікувати наявність недостатнього проплавлення шва, що перевищує 1,5 мм. Розроблено також допоміжний пристрій, що дозволяє здійснювати процес контролю в напівавтоматичному режимі.

Саленко О.Ф. Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Київ, Україна
Tanović Dragoljub University of Belgrade, Belgrade, Serbia

ОЦІНКА ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ У ПОВЕРХНЕВОМУ ШАРІ ВИРОБІВ МЕТОДОМ ХІМОГРАФІЇ

Ефект реєстрації гетерогенних реакцій малої інтенсивності на поверхні твердого тіла називається хемографією. У переважній більшості випадків у хемографічному ефекті лежить хімічна взаємодія молекул броміду срібла з продуктами гетерогенних окислювальних реакцій, що протікають на поверхні твердого тіла. Наслідком цієї взаємодії є поява у фотоемульсії шару атомів металевого срібла. Одним з основних продуктів гетерогенних реакцій є атомарний водень H^+ , який здатний виділятися з окисленої частини поверхні та витіснити бром зі сполуки $AgBr$, утворюючи сполуку AgH .

Коло завдань, які можна вирішити за допомогою методу хемографії, досить широке. Насамперед, це завдання, пов'язані зі зміною стану поверхневого шару виробів з різних матеріалів. Ця зміна відбувається як під час формування виробів, так і під час деградації їхніх поверхневого шару, що сприймають різні види динамічних навантажень, термічних впливів тощо. Використання хемографії може стати альтернативним методом, що дає змогу ефективно прогнозувати стан різних виробів – деталей машин і різальних інструментів, розвиток пошкоджень їх поверхневого шару із плином часу.

Встановлено, що ступінь освітленості фотоматеріалу безпосередньо залежить від особливостей технологічних переходів, які були виконані для отримання виробу. Наприклад, обробка поверхні зі значною потужністю різання спричиняє збільшення ступеня освітленості фотопластинки на 15–40% при тому, що мікрогеометричні параметри поверхні для всіх порівнюваних зразків залишаються незмінними. З вищевикладеного можна зробити висновок, що певну роль у

візуалізації гетерогенних поверхневих реакцій відіграють енергетичні параметри поверхні та поверхневого шару – зокрема, напружений стан поверхневого шару виробу.

Хемографічний ефект в основному пов'язаний з величиною залишкових напружень у поверхневому шарі, а не зі ступенем деформації кристалічної решітки матеріалу або наявністю кристалічних дефектів, вакансій, дислокацій тощо, активність яких істотно зростає під час впливу на поверхню виробу.

Для оцінки зміни хемографічного ефекту залежно від залишкових напружень було проведено низку експериментів, суть яких полягає в такому: на поверхню двох зразків із загартованої до 55 HRC сталі 40X з показником шорсткості поверхні Ra 1,25 впливали струменем рідини з тиском $p = 180$ МПа. Вплив тривав 1 хв. Тиск рідини в гідросистемі був недостатнім для того, щоб викликати скільки-небудь істотне руйнування зразків. Після цього зразки експонувалися протягом 20 хв з періодичним зняттям шліфуванням шарів металу товщиною 0,05 мм з поверхні кожного. Досліди повторювалися двічі. У результаті було виявлено зміну (зменшення) ефекту хемографічної освітленості плівки зі збільшенням товщини знятого шару. Постулюючи гіпотезу про вплив залишкових напружень на ступінь освітленості плівки в хемографії, розраховано значення напружень за формулою [1].

$$\sigma_r^0 = \sigma_{\ominus}^0 = P_c \left[(\mu - \mu') - \frac{\mu - \mu'}{r_m^2 + z^2} z \right].$$

Величину залишкових напружень на контрольному зразку встановлено за допомогою рентгенівського дифрактометра ДРОН-3М.

Порівняння ступеня освітленості матеріалу (у відсотках від заданої програмою PPWIN густини сірого) з розрахунковими значеннями залишкових напружень на глибині до 1,5 мм довело наявність тісного кореляційного зв'язку між цими двома факторами ($R = 0,958$). Порівняння контрольованого параметра з експериментально отриманим значенням залишкових напружень дало різницю до 15%. Використовуючи метод регресійного аналізу, отримано лінійну модель залежності інтенсивності світла від значень залишкових напружень для часу експозиції 20 хв:

$$I_c = 32,21 + 1,766\sigma_{\ominus}.$$

У зв'язку з тим, що ступінь засвічення плівки пропорційний не тільки ступеню освітленості плівки в хемографії, а й часу експозиції (лінійна залежність), підвищення рівня напруження можна отримати

завдяки зменшенню часу експозиції (наприклад, зменшивши час експозиції до 10 хв).

Таким чином, показано можливість використання хемографії як методу вивчення модифікованого або дефектного шару.

Література

1. Богобойщій, В.В. Наблюдение диффузии атомарного H_2 в водных растворах методом хемографии / В.В. Богобойщій // Вестн. Кременчуг. гос. политехнич. ун-та. – 2003. – №5 (22). – Р. 145–150.

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

НОРМАТИВНА ОСНОВА ЩОДО ВИКОНАННЯ ТА ПРИЙМАННЯ НАУКОВО-ДОСЛІДНИХ ТА ДОСЛІДНО- КОНСТРУКТОРСЬКИХ РОБІТ

Відповідно до положень нормативного документа (НД) «ДСТУ 1.2:2015 Національна стандартизація. Правила проведення робіт з національної стандартизації» національні НД перевіряють принаймні один раз на п'ять років із дати набуття чинності НД або останньої перевірки, якщо не виникає потреби перевірити їх раніше. Організовує та координує перевірку національних НД на відповідність законодавству, потребам виробників і споживачів, рівню розвитку науки і техніки, інтересам держави, вимогам міжнародних або регіональних НД Національний орган стандартизації (НОС).

Технічний центр (ТЦ) НАН України зацікавлений в актуальності НД, що стосуються виконання науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт (НДДКР).

На жаль, перевірка національних стандартів «ДСТУ 3973-2000 Система розроблення та поставлення продукції на виробництво. Правила виконання науково-дослідних робіт. Загальні положення» і «ДСТУ 3974-2000 Система розроблення та поставлення продукції на виробництво. Правила виконання дослідно-конструкторських робіт. Загальні положення» з боку НОС в останні роки не виконувалася.

Проте, із часу набуття чинності ДСТУ 3973 і ДСТУ 3974, а саме з 2001 року і 2020 року відповідно, змінювалося законодавство України,

нормативно-правові акти, нормативні документи тощо. Зокрема, відповідно до національного стандарту «ДСТУ 1.5:2015 Національна стандартизація. Правила розроблення, викладання та оформлення національних нормативних документів» змінилися правила оформлення, викладання змісту певних структурних елементів виданих раніше національних НД, не винятком із яких є ДСТУ 3973 і ДСТУ 3974. Перевірити ці національні НД необхідно насамперед на відповідність до вимог національної стандартизації щодо правил розроблення та оформлення національних НД. Зокрема таких структурних елементів і розділів, як «Передмова», «Сфера застосування», «Нормативні посилання», «Терміни та визначення понять» тощо.

Тому відділ досліджень проблем стандартизації та метрології в науці ТЦ НАН України за власною ініціативою перевіряв певні положення зазначених вище національних НД на відповідність національній стандартизації і дійшов таких висновків.

Під час перевіряння основну увагу було спрямовано на розділ 2 «Нормативні посилання». Станом на квітень 2024 року за результатами перевіряння встановлено, що з 36 посилань на НД (деякі з них повторюються) чинними є 11 НД, заміненими є 12 НД, скасованими без заміни є 13 НД.

Про результати такої перевірки ТЦ НАН України надіслав листа до НОС із проханням узяти до розгляду коментарі ТЦ НАН України, долучити їх до справ національних стандартів ДСТУ 3973 і ДСТУ 3974 та застосувати певні висновки під час перевіряння цих стандартів в установленому порядку.

Звертаємо увагу на те, що ТЦ НАН України було розроблено три стандарти Національної академії наук України (СОУ НАН) у розвиток ДСТУ 3973 і ДСТУ 3974 щодо виконання та приймання НДДКР.

Стандарти СОУ НАН затверджені відповідними розпорядженнями Президії НАН України та набули чинності у 2012 році:

- «Про затвердження стандарту НАН України щодо виконання і приймання результатів ДКР» від 28.12.2011 № 843;
- «Про затвердження стандарту НАН України щодо виконання НДР» від 28.12.2011 № 844;
- «Про затвердження стандарту НАН України щодо розроблення технічного завдання на ДКР» від 28.12.2011 № 845.

Ці стандарти СОУ НАН поширюються на відкриті НДДКР, містять настанови та практичні поради щодо їхньої організації і проведення в установах і організаціях НАН України.

ТЦ НАН України за результатами ініціативної перевірки ДСТУ 3973 і ДСТУ 3974 також перевірів три стандарти СОУ НАН на відповідність актуальності посилань на національні НД згідно з Каталогом національних стандартів та кодексів усталеної практики (<https://uas.gov.ua/natsionalnyi-fond-nd/kataloh-natsionalnykh-standartiv-ta-k>) та певні організаційні положення тощо.

У зв'язку зі змінами взаємопов'язаних нормативно-правових актів і національних НД із часу їхнього прийняття, що стосуються об'єкта стандартизації, до стандартів СОУ НАН у встановленому порядку розроблено зміни і поправки та зроблено перевидання цих НД з можливістю застосування чинної національної бази НД під час виконання НДДКР.

Сібілев М.Л., Ващенко Л.Л. Інститут сцинтиляційних матеріалів НАН України, Харків, Україна

МЕТОДИКИ ВИМІРЮВАННЯ У ВИМІРЮВАЛЬНІЙ ЛАБОРАТОРІЇ

Підтвердження незалежності і технічної компетентності вимірювальної лабораторії до кінця 2015 р. у нашій організації забезпечувалося через процедуру атестації згідно з Правилами [1, 2]. Однак з 1 січня 2016 року набув чинності Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» [3], який не містить вимоги до атестації вимірювальних та калібрувальних лабораторій. Натомість була запроваджена Українська система добровільного оцінювання стану вимірювання в метрологічних службах та лабораторіях підприємств.

Тому з 2018 року наша вимірювальна лабораторія, яка була раніше атестована, в рамках Української системи добровільного оцінювання стану вимірювань, проходить оцінювання стану системи вимірювань на відповідність ДСТУ ISO 10012:2005 [4]. Цей стандарт визначає загальні вимоги та містить рекомендації щодо управління процесами вимірювання та забезпечення метрологічного підтвердження придатності вимірювального обладнання, що використовується.

Для вимірювальних лабораторій компетентність визначається на підставі відповідності вимогам процедур проведення вимірювань у сфері діяльності або застосованих методик вимірювань.

Наша лабораторія використовує методики вимірювання, настанови щодо експлуатації та паспорти вимірювального обладнання, а також інструкції, розроблені замовниками і виробниками обладнання.

У нашій лабораторії застосовуються методики, що відповідають вимогам замовників і ґрунтуються на міжнародних, міждержавних та національних стандартах. Одним із ключових міжнародних стандартів [5], розроблених і гармонізованих в Україні за участю нашої організації (ТК 99), є ДСТУ ІЕС 62372:2009 [6]. Цей стандарт, розроблено на практичному досвіді та накопичених знаннях наших вчених, при правильному застосуванні є одним із найефективніших інструментів для підвищення якості вимірювань в галузі ядерного приладобудування. Його розробка та використання допомагає не лише покращити роботу лабораторії, а й всієї організації в цілому, що надає переваги на українському та міжнародному ринках.

Зазначимо, в умовах сучасних реалій перегляд і оновлення стандартів є ключовими для забезпечення конкурентоспроможності продукції та встановлення високих вимог на міжнародному ринку. Тому на сьогодні за участю нашої організації розроблена нова версія ІЕС 62372:2021 [7]. Зараз триває робота щодо введення в дію в Україні цього стандарту, що додатково сприятиме підвищенню якості вимірювань.

Примітка. Технічний комітет стандартизації ТК 99 «Матеріали та прилади для сцинтиляційної техніки та техніки, пов'язаної з вимірюванням іонізуючих випромінень», функцій секретаріату покладено на ІСМА НАН Україна. ТК 99 є Р-член – активний ІЕС ТС 45, ІЕС ТС 45/SC45А, ІЕС ТС 45/SC 45В.

Лабораторія не лише користується стандартними методиками, але й розробляє власні, адаптовані під конкретні вимоги досліджень та унікальне інноваційне обладнання. На цей час розробляються методики вимірювань щодо визначення елементного складу матеріалів в рамках подальшого добровільного оцінювання стану вимірювання в нашій лабораторії. Усі нові методики виконання вимірювань або зміни до існуючих методик проходять внутрішню оцінку на придатність, що підтверджується керівництвом лабораторії та затверджується директором. У випадку, якщо замовник не вказує методику, лабораторія самостійно обирає відповідний метод і інформує про це замовника. Лабораторія також повідомляє замовника, якщо запропонована методика є інноваційною та застосовною для конкретного типу вимірювань.

Враховуючи вищезазначене, можна зробити висновок, розробка та впровадження міжнародних стандартів з методів вимірювань та мето-

дик виконання вимірювань, підвищує компетентність вимірювальної лабораторій і, відповідно, якість продукції та конкурентоспроможність організації на внутрішньому і зовнішньому ринках. Такий підхід сприяє уніфікації системи вимірювань та, як результат, поліпшенню інтеграційних процесів щодо адаптації української промисловості до світового ринку.

Література

1. Правила уповноваження та атестації у державній метрологічній системі, затверджені наказом Держспоживстандарту України від 29.03.2005 № 71

2. Ващенко, Л.Л. К вопросу о создании калибровочной и измерительной лабораторий / Л.Л. Ващенко, В.Р. Любинский, Н.И. Молчанова // Метрологія та вимірювальна техніка («Метрологія - 2014») : наукові праці конф. ІХ Міжнарод. наук.-техн. конф., 15–17 жовтня 2014 р., м. Харків. – Харків, 2014. – С. 56–59

3. Закон України “Про метрологію та метрологічну діяльність” від 05.06.2014 № 1314-VII із змінами, внесеними у відповідності із Законом № 124-VIII від 15.01.2015

4. ДСТУ ISO 10012:2005 Системи керування вимірюванням. Вимоги до процесів вимірювання та вимірювального обладнання (ISO 10012:2003, IDT)

5. Гринев, Б.В. Международные стандарты ИЕС для сцинтилляционной техники / Б.В. Гринев, В.Р. Любинский, Ю.А. Даниленко // Состояние и перспективы развития функциональных материалов для науки и техники. Аспекты сцинтилляционной техники. – Харьков : «ИСМА», 2017. – С. 191–198

6. ДСТУ ІЕС 62372:2009 Ядерне приладобудування. Сцинтилятори упаковані. Методи контролювання технічного світлового виходу та власної роздільної здатності (ІЕС 62372:2006, IDT)

7. ІЕС 62372:2021 Nuclear instrumentation – Housed scintillators – Test methods of light output and intrinsic resolution

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЗВАРЮВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗА РАХУНОК УДОСКОНАЛЕННЯ СТАНДАРТІВ

В сучасному світі споруди з металоконструкцій займають одне з найпочесніших місць. Відомо, що металеві конструкції широко використовуються, починаючи з ангарів різного призначення, зерносховища, навіси для виробництв, навіси для авто паркування та домашнього домогосподарства, до великих каркасних споруд, спортивних та житлових будинків.

На теперішній час для виготовлення металоконструкцій з вуглецевих сплавів використовують різні технології зварювання. Особливість цих технологій є зменшення дефектів при зварюванні металів, тому що це впливає на міцність та гарантію експлуатації конструкції.

Також важливим фактором розрахунків технічної документації є географічне розташування об'єкта (температурний фактор, сила вітру на місцевості та сніговий покрив в зимку, якщо такий є).

Усі металоконструкції працюють при певних навантаженнях та особливих умовах, які потрібно враховувати при проектуванні.

Згідно пошукових запитів, на теперішній час існує безліч способів виготовлення металоконструкцій методом зварювання. Незважаючи на їх велику кількість і високі показники, вони не можуть бути використані в специфічних умовах сьогодення.

Стандарт ДСТУ-Н Б А.3.1-19:2013 регламентує вимоги щодо виконання зварювальних робіт при монтажі, реконструкції сталевих конструкцій промислових будівель і споруд різного призначення, що працюють за температури навколишнього середовища не вище 100 °С. Під час виготовлення і монтажу сталевих конструкцій, що знаходяться в особливих умовах експлуатації (наприклад, конструкцій доменних печей, магістральних і технологічних трубопроводів, конструкцій будівель, що піддаються сейсмічним, інтенсивним температурним впливам або впливам агресивних середовищ, конструкцій гідротехнічних споруд).

Стандарти серії ДСТУ 3951 (ISO 9956) ДСТУ 9240:2023 поширюються на технологічні процеси зварювання плавленням металевих матеріалів під час виготовлення, монтажу, ремонту та реконструкції зварних конструкцій.

Під контролем якості продукції розуміють відповідність показників якості продукції встановленим вимогам, які можуть бути зафіксовані в стандартах, кресленнях, технічних умовах, паспорті виробу та іншої нормативно-технічної документації (НТД). Показники якості зварних з'єднань визначаються тією або іншою сукупністю визначених властивостей.

Але на сьогодні стандарт не відображає температурних показників географічного простору та кліматичні умови, що чинять значний вплив на якість зварних швів і металевих конструкцій в цілому, тому підвищення якості зварних конструкцій за рахунок удосконалення вимог стандартів є актуальним питанням наукового дослідження.

Тимофеева Л.А., Роценко О.В., Карлашов Є.В.
Український державний університет залізничного
транспорту, Харків, Україна

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙНИХ МЕТОДІВ КОМПЕНСАЦІЇ ВПЛИВУ ВІБРАЦІЇ

У сучасному світі, де точність вимірювальних інструментів має вирішальне значення для багатьох галузей, важливо враховувати чинники, що можуть впливати на достовірність калібрування. Вібрація є одним із найбільш значущих таких чинників, здатним суттєво спотворювати результати вимірювань, особливо під час калібрування високочутливих приладів. Будь-яке коливання може спричинити значні похибки, що негативно позначається на кінцевих результатах. Це стає особливо критичним в умовах віброактивного виробництва, військових дій, де рівень вібрації може бути надзвичайно високим і непередбачуваним. Оскільки вимірювальні інструменти широко використовуються у науці, виробництві, медицині та інших сферах, забезпечення їх точності та надійності залежить від правильно проведеного калібрування, яке повинно враховувати можливий вплив вібрації.

Механізм впливу вібрації:

1. Фізичне зміщення компонентів;
2. Дестабілізація налаштувань;
3. Резонансні явища;
4. Вплив на електронні компоненти.

З огляду на значний вплив вібрації на процес калібрування, визначені інноваційні методи компенсації, які дозволяють зменшити або навіть повністю усунути негативні наслідки вібрацій.

Інноваційні методи компенсації впливу вібрації:

1. Антивібраційні платформи. Використання антивібраційних платформ є одним із найбільш ефективних методів компенсації вібрації. Ці платформи поглинають вібрації, що надходять з навколишнього середовища, і забезпечують стабільність положення вимірювального приладу. Антивібраційні платформи часто використовуються в лабораторних умовах, де необхідно забезпечити максимально точні вимірювання.

2. Системи активної компенсації вібрації. Системи активної компенсації вібрації використовують датчики для виявлення вібрацій та генерації протифазних рухів, які нейтралізують ці коливання. Це дозволяє забезпечити стабільність вимірювальних приладів навіть у середовищах з високим рівнем вібрації. Такі системи можуть працювати в режимі реального часу, постійно адаптуючись до умов навколишнього середовища.

3. Ізоляція вимірювальних приладів. Ізоляція вимірювальних приладів за допомогою спеціальних матеріалів, таких як гума або пінополіуретан, дозволяє знизити вплив вібрації на чутливі компоненти. Ізольюючі матеріали поглинають коливання і запобігають їх передачі до критично важливих частин приладу.

4. Резонансні демпфери. Для уникнення резонансних явищ використовуються резонансні демпфери, які налаштовані на певну частоту коливань. Ці демпфери поглинають енергію коливань на резонансній частоті, запобігаючи пошкодженню приладів і забезпечуючи стабільність вимірювань.

5. Інноваційні матеріали для демпфування. Використання сучасних композитних матеріалів з високими демпфуючими властивостями дозволяє суттєво знизити вплив вібрацій. Ці матеріали можуть бути інтегровані в конструкцію вимірювальних приладів або використовуватися як підкладки для зменшення вібраційного впливу.

6. Мобільні калібрувальні лабораторії з антивібраційним захистом. В екстремальних умовах використання мобільних лабораторій, оснащених антивібраційним захистом, дозволяє проводити калібрування у більш безпечних та стабільних умовах. Такі лабораторії можуть бути оснащені всіма необхідними системами для компенсації вібрацій, включаючи антивібраційні платформи і системи активної компенсації.

Отже, віброактивні виробництва та умови військових дій створюють додаткові виклики для забезпечення точності калібрування, оскільки рівень вібрацій може бути високим і непередбачуваним. У таких умовах використання мобільних лабораторій з антивібраційним захистом, активних систем компенсації та інноваційних матеріалів стає критично важливим для збереження точності вимірювань.

Ці технології дозволяють забезпечити надійність вимірювань навіть у найскладніших умовах, коли традиційні методи можуть бути недостатніми. Завдяки впровадженню цих інноваційних методів, можна досягти високої точності калібрування і забезпечити стабільність вимірювальних даних у будь-яких умовах.

Література

1. ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2109 (EN ISO/IEC 17025:2017, IDT; ISO/IEC 17025:2107, IDT). Національний стандарт України. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій.

2. Рукавішников, П.В. Підвищення точності вимірів під час калібрування інструменту / П.В. Рукавішников, О.В. Роценко, О.С. Гарбуз, В.В. Оразалієв // Сучасні питання виробництва та ремонту в промисловості і на транспорті : мат. Міжнарод. наук.-техн. семінару, 26–27 березня 2024 р. – К. : АТМ України, 2024. – С 127–129.

3. Kato, S. Mobile Calibration Labs with Vibration Isolation for Extreme Environments / S. Kato, T. Yamada // Proceed. of the Inter. Conf. on Precis. Eng. – 2019. – 31(2). – P. 225–240.

Тимофєєва Л.А., Сухорученкова А.І., Гордієнко В.О.
Український державний університет залізничного
транспорту, Харків, Україна

ОГЛЯД ЗАГАЛЬНИХ ПРИНЦИПІВ ОЦІНКИ ВІДПОВІДНОСТІ ЗГІДНО З ISO/IEC 17000

Стандарт ISO/IEC 17000:2021 надає універсальні рамки для проведення оцінки відповідності, що є ключовим елементом у забезпеченні якості та безпеки продукції на міжнародних ринках. Цей стандарт визначає не тільки методологічні підходи, але й основні принципи, якими мають керуватися усі зацікавлені сторони у процесі відповідності стандартам.

Поняття "оцінка відповідності" включає ряд діяльностей, таких як тестування, інспекція, калібрування, сертифікація. Ці заходи дозволяють забезпечити відповідність продукції або систем встановленим нормам і стандартам.

Головною метою є забезпечення довіри споживачів та інших зацікавлених сторін до якості та безпеки продуктів або послуг.

Прозорість процесів та незалежність оцінки є фундаментальними принципами, що забезпечують об'єктивність і відкритість всієї процедури.

Об'єктивність вимагає відсутності будь-якого конфлікту інтересів, а також рішучості у виконанні процесу відповідно до заданих стандартів, без зовнішнього впливу.

Взаємодія між регуляторами, виробниками, споживачами, і акредитаційними органами є ключовою для забезпечення ефективної оцінки відповідності. Кожна сторона вносить свій вклад у формування надійної інфраструктури оцінки відповідності.

Споживачі вимагають від продуктів високої якості та безпеки, що спонукає виробників дотримуватись високих стандартів своєї продукції.

Процес розпочинається з подання заявки від виробника або постачальника та завершується видачею сертифіката відповідності або звіту. Важливо, щоб кожен етап був виконаний з дотриманням усіх вимог стандартів.

Моніторинг та перевірка сертифікації важливі для підтримки відповідності стандартам на всіх етапах життєвого циклу продукту.

Міжнародні угоди та договори дозволяють взаємно визнавати сертифікації, сприяючи таким чином глобалізації ринків. Це важливо для компаній, які бажають експортувати свою продукцію за кордон.

Приклади успішної реалізації взаємного визнання включають Європейський Союз та Азіатсько-Тихоокеанський регіон.

Сучасні виклики охоплюють технологічні інновації, що вимагають постійного оновлення стандартів оцінки відповідності. Також важлива гармонізація стандартів між різними країнами для забезпечення глобальної конкурентоспроможності.

Очікується, що у майбутньому буде більше акценту на цифровізацію процесів та інтеграцію екологічних стандартів у вимоги до продукції. Розуміння та дотримання стандарту ISO/IEC 17000:2021 має вирішальне значення для забезпечення високого рівня якості та безпеки продукції. Впровадження цього стандарту сприяє не тільки поліпшенню довіри між споживачами та виробниками, але й підвищує загальну ефективність міжнародної торгівлі.

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО КАЛІБРУВАННЯ МЕТРОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ В УМОВАХ ІНДУСТРІЇ 4.0: ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ТА АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ

Метрологія завжди була в авангарді технологічних інновацій, і сьогодні галузь знову на порозі революційних змін. Перехід до Індустрії 4.0 трансформує традиційні підходи до калібрування, відкриваючи нові можливості для забезпечення неперевершеної точності та ефективності вимірювань. Завдяки використанню штучного інтелекту (ШІ), автоматизованих систем і цифрових двійників, калібрування перетворюється з трудомісткого і повільного процесу на інтелектуальний, динамічний і надзвичайно точний етап виробництва. Ці інновації не просто змінюють «правила гри» – вони встановлюють нові стандарти в метрології.

Індустрія 4.0 для метрології відкриває такі нові можливості, де уявімо, створено таке середовище, у якому кожен вимірювальний пристрій не тільки підключений до глобальної мережі, але й здатний самостійно аналізувати свої показники, коригувати власну роботу та навіть передбачати потенційні відхилення. У цьому «новому світі» автоматизовані системи калібрування виступають як автономні інтелектуальні агенти, які здатні навчатися і адаптуватися до змінних умов експлуатації. Ці системи можуть не лише підтримувати високу точність, але й забезпечувати безперервний моніторинг і контроль, що дозволяє звести до мінімуму ризики та помилки. Однією з ключових переваг інтеграції ШІ у процес калібрування є здатність цих систем працювати з величезними обсягами даних у режимі реального часу. Використовуючи алгоритми машинного навчання, система може аналізувати результати тисяч калібрувань, ідентифікуючи найменші відхилення, що були б невидимі для людини. Тобто, такі системи можуть моделювати і прогнозувати результати наступних калібрувань, враховуючи різні сценарії впливу зовнішніх факторів.

Формула розрахунку похибки при автоматизованому калібруванні:

$$\Delta L = f(L_{\text{вимір}}, AI_{\text{alg}}, Env_{\text{cond}}), \quad (1)$$

де ΔL – похибка вимірювання; – результат вимірювання; AI_{alg} – коригуючий коефіцієнт на основі алгоритму ШІ; Env_{cond} – коефіцієнт, що враховує навколишні умови (температура, вологість тощо).

Формула (1) є лише одним із прикладів того, як сучасні підходи змінюють калібрування, роблячи його більш адаптивним і точним. Завдяки використанню ШІ, система може не тільки миттєво коригувати похибки, але й прогнозувати можливі зміни у вимірювальних умовах, що дозволяє уникнути проблем ще до їх виникнення.

Новітні технології у калібруванні: алгоритми та підходи. Цифрові двійники – це віртуальні копії фізичних вимірювальних систем, які дозволяють моделювати процеси калібрування в цифровому середовищі. Використовуючи ці моделі, ми можемо передбачати вплив різних факторів на результати вимірювань, що забезпечує більш високий рівень точності та надійності. Більше того, цифрові двійники дозволяють інтегрувати різні етапи виробництва, забезпечуючи безперервний потік інформації та оптимізацію всіх процесів у реальному часі.

Формула для прогнозування можливих похибок за допомогою цифрового двійника:

$$\Delta P = P_{\text{двійн}} - P_{\text{реальн}} \quad (2)$$

де ΔP – прогнозована похибка; $P_{\text{двійн}}$ – результат моделювання цифровим двійником; $P_{\text{реальн}}$ – реальний результат вимірювання.

Цифрові двійники не тільки підвищують точність, але й забезпечують гнучкість у налаштуванні процесу калібрування під конкретні потреби виробництва. Вони дозволяють виявити потенційні проблеми ще на етапі планування і тим самим значно знижують ризики відхилень.

Впровадження інновацій у метрології не просто покращує якість вимірювань – воно радикально змінює саму концепцію управління якістю. Наприклад, на підприємствах з високими вимогами до точності впровадження автоматизованих систем калібрування дозволило підвищити продуктивність на 35%, зменшивши кількість відхилень на 20%. Такі результати досягаються завдяки можливості здійснювати контроль у режимі реального часу, оперативно реагуючи на будь-які зміни в умовах експлуатації.

Використання цифрових двійників на виробничих лініях з високими вимогами до точності вимірювань дозволяє створювати віртуальні моделі всього процесу виробництва. Це забезпечує постійний моніторинг стану обладнання та прогнозування його зносу, що дозволяє мінімізувати простой та оптимізувати процеси технічного обслуговування. Автоматизоване планування калібрувальних процедур значно знижує ймовірність виникнення непередбачених відхилень у процесі вимірювань, забезпечуючи стабільно високу якість продукції.

Висновки та перспективи розвитку. Індустрія 4.0 відкриває нові можливості для метрології, встановлюючи нові стандарти точності, надійності та ефективності. Використання штучного інтелекту, автоматизованих систем і цифрових двійників дозволяє не тільки зменшити похибки, але й інтегрувати процеси калібрування в загальну систему управління виробництвом, створюючи інтелектуальні екосистеми, здатні до самонавчання і адаптації.

Література

1. Alhanoof, Althnian. Impact of Dataset Size on Classification Performance : An Empirical Evaluation in the Medical Domain / Althnian, Alhanoof et al. // Appl. Sci. – 2021. – 11(2). – P. 796–799.
2. Kellner, Thomas. Digital Twins in Industrial Applications: A Revolution in Predictive Maintenance and Calibration / Thomas Kellner // IEEE Transact. on Industr. Inform. – 2020. – 16(4). – P. 2200-2210.
3. Smith, John. The Role of Artificial Intelligence in Modern Metrology / John Smith, Robert Taylor // J. of Measur. Sci. – 2019. – 75(3). – P. 205-212.
4. Li, Xiang. Smart Calibration Systems: Leveraging IoT and AI for Precision Metrology / Xiang Li et al. // Advanc. Manufact. – 2022. – 34(2). – P. 147–155.
5. Індустрія 4.0: можливості та виклики для розвитку метрології // Метрол.я та вимірюв. техн. – 2023. – №4. – С. 12–17.

Шпак С.В., Федорина Т.С.
ДП «Полтавастандартметрологія»,
Полтава, Україна

ПРОБЛЕМИ ГАРМОНІЗАЦІЇ ТЕХНІЧНИХ, НОРМАТИВНИХ ТА ПРАВОВИХ АКТІВ ЩОДО ЕКОДИЗАЙНУ, ЕНЕРГЕТИЧНОГО МАРКУВАННЯ ТА СПОЖИВЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК СВІТЛОДІОДНИХ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА

Політика екодизайну та енергоефективного маркування є важливим механізмом із підвищення енергоефективності, безпечності та якості світлодіодних джерел світла.

На освітлення витрачається 15% світового споживання електроенергії, що утворює 4,6% загальних викидів парникових газів при її виробництві. ЄС прагне побудувати економіку з нульовими викидами

парникових газів до 2050 р., і для досягнення цієї мети поставлені завдання підвищити енергоефективність освітлювальної техніки до 2030 року не менш ніж на 32,5%. Зважаючи на енергетичні й екологічні переваги світлодіодної продукції, вирішальний вплив на підвищення енергоефективності освітлення і скорочення викидів парникових газів мають забезпечити саме системи освітлення з використанням світлодіодної техніки. Одним із пріоритетних напрямків політики енергозбереження є екодизайн, який передбачає заходи щодо зменшення негативних впливів на навколишнє середовище. В результаті впровадження Регламентів Комісії ЄС з екодизайну й енергетичного маркування за останні десятиріччя отримані значні результати щодо підвищення ефективності джерел світла. Вимоги до екодизайну джерел світла стають більш жорсткими щодо встановлення мінімальних значень параметрів ефективності та функціональності, що підтверджується постійним прийняттям у ЄС нових директив і регламентів. У 2019 році Єврокомісія оголосила про новий Регламент Комісії ЄС 2019/2020 щодо встановлення вимог до екодизайну для джерел світла та відокремлених пускорегулювальних апаратів відповідно до Директиви Європейського Парламенту і Ради 2019/125/ЄС та про скасування Регламентів Комісії ЄС № 244/2009, 245/2009 і 1194/2012.

Новий Регламент Комісії ЄС 2019/2015 щодо енергетичного маркування джерел світла набрав чинності з 1 березня 2021 року. Найбільш важливою зміною в цьому Регламенті Комісії ЄС стало повернення до рейтингової шкали AG. Шкалу розроблено таким чином, що спочатку тільки незначна кількість продуктів має високу енергоефективність, щоб у майбутньому вносити більш ефективні продукти. Наразі все більше світлодіодних джерел світла відповідно до шкали, встановленої попереднім Регламентом Комісії ЄС № 874/2012 від 12 липня 2012 р., досягли класів А, А+, А++, і споживачам важко оцінювати різницю, наприклад, між класами А та А++. Згідно з новою шкалою Регламенту Комісії ЄС, найбільш високі показники джерел світла відповідають класу D і є великий запас для внесення в цю шкалу в майбутньому більш ефективних виробів

Виконуючи зобов'язання, взяті державою відповідно до Угоди про асоціацію між Україною та ЄС, а також у рамках Протоколу про приєднання до Договору про заснування Енергетичного Співтовариства, Україна також впроваджує систему енергетичного маркування енергозберігаючих продуктів відповідно до оновленого законодавства ЄС.

Так, наказом Мінінфраструктури від 23.02.2024 № 172 затверджено «Технічний регламент енергетичного маркування джерел світла»,

zareestrovaniy v Ministerstvi yustitsii Ukraini 15.04.2024 p. za № 540/41885.

Cey Tekhnichnyy reglament rozrobleno na osnovi Delegovanogo reglamentu Komitsii (ES) N 2019/2015 vid 11 bereznya 2019 roku, sho dopovnyue Reglament (ES) 2017/1369 Evropeyskogo Parlamentu i Rady shodo energhetichnogo markuvannya dzhерел svitla ta skasovue Delegovaniy reglament Komitsii (ES) № 874/2012.

Vidpovidno do tshogo tekhnichnogo reglamentu vymoги do energhetichnogo markuvannya dzhерел svitla гармонізовані з вимогами ЕС і енерghетична етикетка має шкалу від А до G, яка є більш зрозумілою для споживачів.

Наказ набирає чинності одночасно із набранням чинності постановою Кабінету Міністрів України про визнання такою, шо втратила чинність, постанови Кабінету Міністрів України від 27 травня 2015 р. № 340 «Про затвердження Tekhnichnogo reglamentu energhetichnogo markuvannya електричних ламп та світильників».

Станом на вересень 2024 року tekhnichnyy reglament ne набрав чинності тому, шо постанова Кабінету Міністрів України від 27 травня 2015 р. № 340 продовжує діяти, і українські виробники (постачальники) вимушені забезпечувати свою продукцію енерghетичними етикетками зі шкалою з класами А+, А++, А+++, а експорті своєї продукції в країни ЕС — енерghетичними етикетками зі шкалою АG.

ЗМІСТ

<i>Bukovskiy O., Vysloukh S.</i> USE OF ADAPTIVE ALGORITHMS IN SYSTEMS FOR MONITORING THE PARAMETERS OF INTERBLOCK ELECTRICAL CONNECTIONS	3
<i>Hao Zhang, Hongyu Fu, Stelmakh Oleksandr, Zhihan Fan, Коленов С.</i> ЭФЕКТИ В МАСТИЛЬНИХ ШАРАХ, ЦЮ ВИЗНАЧАЮТЬ ТЕРТЯ ТА ЗНОС ПРУЖНО-ДЕФОРМОВАНИХ ПОВЕРХОНЬ	4
<i>Hongyu Fu, Hao Zhang, Stelmakh Oleksandr</i> STRATEGY FOR SUPPRESSING LOOSENESS OF CONNECTING ROD SMALL END BUSHING IN HIGH POWER-DENSITY DIESEL ENGINE	7
<i>Liu Yansong, Zhang Hao, Stelmakh Oleksandr</i> A STUDY ON THE LUBRICATING PROPERTIES OF VARIOUS BASE OILS IN THE PRESENCE OF HYDROGEN EMULSIONS	9
<i>Mastenko I., Stelmakh N., Komada P.</i> AUTOMATED SYSTEM FOR QUALITY CONTROL OF PRODUCT PARAMETERS USING COMPUTER VISION BASED ON NEURAL NETWORKS	11
<i>Penghao Niu Hao Zhang Stelmakh Oleksandr</i> STUDY ON OIL SUPPLY AND LUBRICATION CHARACTERISTICS OF THE CONROD SMALL END BEARING WITH SPLASH LUBRICATION	14
<i>Wang Xinbo, Zhang Hao, Stelmakh Oleksandr</i> LUBRICATION PERFORMANCE AND WEAR CHARACTERISTICS OF HYDROGEN-CONTAINING EMULSIFIED LIPID-BASED BASE OILS	16
<i>Zhihan Fan, Stelmakh Oleksandr, Hao Zhang</i> EFFECT OF CHEVRON SHAPE TEXTURE GEOMETRIES AND DISTRIBUTION ON HYDRODYNAMIC LUBRICATION OF JOURNAL BEARINGS	18
<i>Адаменко Ю.І., Майданюк С.В., Плівак О.А.</i> ПРОБЛЕМИ ТЕХНІЧНОЇ ТЕРМІНОЛОГІЇ У ПІДГОТОВЦІ ІНЖЕНЕРІВ- МЕХАНІКІВ	20
<i>Беженар М.П., Романенко Я.М., Пацук А.М., Соколов О.М.</i> ТВЕРДІСТЬ – ВАЖЛИВА ХАРАКТЕРИСТИКА ЯКОСТІ РСВН КОМПОЗИТІВ	23

<i>Беженар М.П., Романенко Я.М., Пацук А.М., Соколов О.М.</i> ТРИЦИНОСТІЙКІСТЬ РСВН КОМПОЗИТІВ	25
<i>Береснев В.М., Клименко С.Ан., Клименко С.А., Манохін А.С.</i> ТРИБОТЕХНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ БАГАТОШАРОВОГО ПОКРИТТЯ TiN ₂ N/CrN	27
<i>Буковська Д.В., Антонюк В.С.</i> ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В СИСТЕМАХ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ЗАПУСКУ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ	30
<i>Бутенко В.М.</i> ПЕРЕГЛЯД МЕТОДИК НОРМУВАННЯ РОЗРАХУНКУ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ АВТОМАТИКИ	32
<i>Волошина Л.В., Верещака Ю.В., Вініченко В.Е.</i> РОЗРОБКА СИСТЕМОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ	35
<i>Волошина Л.В., Каптур А.П.</i> ОГЛЯД ОСНОВНИХ ВИКЛИКІВ ТА ПЕРСПЕКТИВ ГАРМОНІЗАЦІЇ СТАНДАРТІВ В УКРАЇНІ	36
<i>Волошина Л.В., Светош В.Ю., Чичин Є.В.</i> ВПРОВАДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙНИХ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ В УМОВАХ ЦИФРОВІЗАЦІЇ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ	39
<i>Волошина Л.В., Харченко Б-А.О.</i> ОСОБЛИВОСТІ СТРАТЕГІЇ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ СИНХРОНІЗАЦІЇ ЧАСУ	40
<i>Волошин Д.І., Плескач О.І., Плескач І.І.</i> ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ ЗАСОБАМИ ТЕОРІЇ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ	43
<i>Гаргін В.Г., Соколов О.М.</i> ВПЛИВ МЕТАЛІЗАЦІЇ CVD АЛМАЗА НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИТУ З ГІБРИДНОЮ АЛМАЗНОЮ ОСНОВОЮ	46
<i>Геворкян Е.С., Комарова Г.Л., Мартиросян С.Р.</i> ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ КЕРАМІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ	49

<i>Даниленко Ю.А., Сарасва В.О.</i> ТЕХНІЧНИЙ КОМІТЕТ ІЕС SC 45В «ПРИЛАДИ РАДІАЦІЙНОГО ЗАХИСТУ»	51
<i>Девін Л.М., Ричев С.В., Нечипоренко В.М., Грязев О.В.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ СИГНАЛУ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ ПРИ ЧИСТОВОМУ ТОЧІННІ ЗАГАРТОВАНОЇ СТАЛІ ШХ15 РІЗЦЯМИ ІЗ РСВН КОМПОЗИТИВ	54
<i>Льницька Г.Д., Смоквина В.В., Лавріненко В.І., Логінова О.Б., Зайцева І.М., Тимошенко В.В.</i> ОТРИМАННЯ ШЛІФПОРОШКІВ АЛМАЗУ МАРОК АС15-АС50 ОДНОРІДНИХ ЗА МІЦНІСТЮ ТА ЛІНІЙНИМИ РОЗМІРАМИ	59
<i>Комарова Г. Л., Візер А. М., Осадчий А.В.</i> ГІБРИДНІ АУДИТИ ЯК ІННОВАЦІЙНИЙ ПІДХІД ДО СЕРТИФІКАЦІЇ МЕДИЧНИХ ВИРОБІВ	61
<i>Комарова Г.Л., Голіков Д.В.</i> АНАЛІЗ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ В ПРОМИСЛОВОСТІ: ВІД TQM ДО СУЧАСНИХ ЦИФРОВИХ РІШЕНЬ	63
<i>Комарова Г.Л., Лалазарова Н.О., Афанасьєва О.В.</i> ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ОСВІТИ ПІД ВПЛИВОМ ІНФОРМАЦІЙНО- ОСВІТНОГО СЕРЕДОВИЩА	66
<i>Комарова Г.Л., Приміський І.В.</i> ВИКОРИСТАННЯ АНАЛІТИЧНИХ ПРИЛАДІВ ТА СИСТЕМ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ	68
<i>Куць Н.Г.</i> ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ СПРЯЖЕНИХ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТУ З ТРИБОТЕХНІЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ	70
<i>Лавріненко В.І., Скрябін В.О., Солод В.Ю., Тищенко В.А.</i> СУЧАСНІ ДОСЛІДЖЕННЯ В ПИТАННЯХ, ПОВ'ЯЗАНИХ ІЗ ОСОБЛИВОСТЯМИ ОБРОБКИ В'ЯЗКИХ ТА КРИХКИХ МАТЕРІАЛІВ	72
<i>Лавріненко В.І., Смоквина В.В., Бологов П.І., Солод В.Ю., Кашинський І.С.</i> СУЧАСНІ НАПРАЦЮВАННЯ В РОЗРОБКАХ СПЕЦІАЛЬНИХ АБРАЗИВНИХ ТА АЛМАЗНИХ КРУГІВ	77

<i>Лещук О.О., Людвіченко О.П., Анісін О.М., Беженар М.П.</i> МОДЕЛЮВАННЯ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ШЕСТИПУАНСОННОГО АПАРАТА ВИСОКОГО ТИСКУ ПРИ ЗМІНІ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОПОРУ ЗРАЗКА cVN–Al ПРИ СПІКАННІ	82
<i>Логінова Ю.В.</i> ПРОБЛЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРИЙОМУ ТА МОТИВАЦІЇ ТЕХНІЧНИХ ЕКСПЕРТІВ У ЗВАРЮВАЛЬНОМУ ВИРОБНИЦТВІ	85
<i>Лопата Л.А., Калініченко В.І., Солових Е.К., Шамрай В.Б.</i> ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ «ВАЛ» ДИСКРЕТНИМИ ПОКРИТТЯМИ, ОТРИМАНИМИ ЕЛЕКТРОКОНТАКТНИМ МЕТОДОМ	88
<i>Лопата О.В., Качинська І.Р., Лопата В.М., Солових А.Є., Катеринич С.Є.</i> ВИКОРИСТАННЯ СТРУКТУРНО-ФАЗОВИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ ТА МОДИФІКУВАННЯ ПРИ ЕЛЕКТРОКОНТАКТНІЙ ОБРОБЦІ СТАЛЬНИХ ГАЗОТЕРМІЧНИХ ПОКРИТТІВ	92
<i>Манохін А.С., Клименко С.Ан., Мельнійчук Ю.О., Чумак А.О., Клименко С.А., Копейкіна М.Ю.</i> МІЦНІСТЬ БАГАТОШАРОВОГО PVD-ПОКРИТТЯ TiN/CrN	96
<i>Мельнійчук Ю.О., Петуша І.А., Осінов О.С.</i> ІНСТРУМЕНТАЛЬНИЙ КОМПОЗИТ НА ОСНОВІ КНБ ДЛЯ ВИСОКОШВІДКІСНОЇ ОБРОБКИ З ВИСОКИМИ ПОДАЧАМИ	99
<i>Олійник Н.О., Ільницька Г.Д., Петасюк Г.А., Базалій Г.А., Заболотний С.Д., Сизоненко О.М.</i> СУЧАСНІ МЕТОДИ ПОКРАЩЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ШЛІФПОРОШКІВ СИНТЕТИЧНОГО АЛМАЗУ АБРАЗИВНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ	101
<i>Петасюк Г.А., Бочечка О.О., Лавріненко В.І., Полторацький В.Г., Білоченко В.П. Петасюк О.У.</i> МЕТОДИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ СТУПЕНЯ ПОКРИТТЯ АБРАЗИВНИХ ШЛІФПОРОШКІВ НАДТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ, НАНЕСЕНОГО РІДИННО-ФАЗОВИМ СПОСОБОМ	104
<i>Посвятенко Н.І., Посвятенко Е.К.</i> СУТЬ КОМБІНОВАНИХ МЕТОДІВ ІНЖЕНЕРІЇ ПОВЕРХНІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН	109
<i>Рябченко С.В., Аргиров Я., Мечкарова Т.</i> ЕФЕКТИВНІСТЬ ОБРОБКИ НАПЛАВОК АЛМАЗНИМ ІНСТРУМЕНТОМ	113

<i>Рябченко С., Федоренко В., Серета Г., Stanislav Holey</i> ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ШЛІФУВАЛЬНИХ КРУГІВ ІЗ СПЕЦІАЛЬНИХ КОРУНДІВ ПРИ ОБРОБЦІ ДЕТАЛЕЙ РЕДУКТОРІВ З ЗАГАРТОВАНИХ СТАЛЕЙ	115
<i>Саленко О.Ф., Данильченко Ю.М., Swook Hann</i> МОНІТОРИНГ ШВІВ, ОТРИМАНИХ ЛАЗЕРНИМ ЗВАРЮВАННЯМ РІЗНОВИЩИННИХ ДЕТАЛЯХ	117
<i>Саленко О.Ф., Tapović Dragoljub</i> ОЦІНКА ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ У ПОВЕРХНЕВОМУ ШАРІ ВИРОБІВ МЕТОДОМ ХІМОГРАФІЇ	121
<i>Сахнюк І.О., Федосєєва І.К., Тітова Г.М., Битков М.Х., Кириленко Л.В.</i> НОРМАТИВНА ОСНОВА ЩОДО ВИКОНАННЯ ТА ПРИЙМАННЯ НАУКОВО-ДОСЛІДНИХ ТА ДОСЛІДНО-КОНСТРУКТОРСЬКИХ РОБІТ	123
<i>Сібільєв М.Л., Ващенко Л.Л.</i> МЕТОДИКИ ВИМІРЮВАННЯ У ВИМІРЮВАЛЬНІЙ ЛАБОРАТОРІЇ	125
<i>Тимофєєва Л.А., Баглай О.П., Артеменко Д.П.</i> ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЗВАРЮВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗА РАХУНОК УДОСКОНАЛЕННЯ СТАНДАРТІВ	128
<i>Тимофєєва Л.А., Роценко О.В., Карлашов Є.В.</i> ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙНИХ МЕТОДІВ КОМПЕНСАЦІЇ ВПЛИВУ ВІБРАЦІЇ	129
<i>Тимофєєва Л.А., Сухорученкова А.І., Гордієнко В.О.</i> ОГЛЯД ЗАГАЛЬНИХ ПРИНЦИПІВ ОЦІНКИ ВІДПОВІДНОСТІ ЗГІДНО З ISO/IEC 17000	131
<i>Тимофєєв С.С., Сергєєв О.В., Рукавішников П.В.</i> ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО КАЛІБРУВАННЯ МЕТРОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ В УМОВАХ ІНДУСТРІЇ 4.0: ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ТА АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ	133
<i>Шпак С.В., Федорина Т.С.</i> ПРОБЛЕМИ ГАРМОНІЗАЦІЇ ТЕХНІЧНИХ, НОРМАТИВНИХ ТА ПРАВОВИХ АКТІВ ЩОДО ЕКОДИЗАЙНУ, ЕНЕРГЕТИЧНОГО МАРКУВАННЯ ТА СПОЖИВЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК СВІТЛОДІОДНИХ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА	135

Навчальне видання

ЯКІСТЬ, СТАНДАРТИЗАЦІЯ, КОНТРОЛЬ: ТЕОРІЯ ТА ПРАКТИКА

Матеріали 24-ї Міжнародної науково-практичної конференції

24–26 вересня 2024 р.

Комп'ютерна верстка: Копейкіна М.Ю.

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

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

Підписано до друку 20.09.2024
Формат 60×84×1/16.
Ум. вид. арк. 9,25.



Віддруковано в ПП «Рута»
10014, Україна,
м. Житомир, вул. Мала Бердичівська, 17 а,
тел. 0679621687
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК №3671 від 14.01.2010
E-mail: ruta-bond@ukr.net