



Всеукраїнська громадська організація
Асоціація технологів-машинобудівників України
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля
НАН України

Академія технологічних наук України
ТОВ «ТМ.ВЕЛТЕК»

Суспільство інженерів-механіків НТУ України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Український державний університет залізничного транспорту
ПАТ «Ільницький завод МЗО»
Машинобудівний факультет Белградського університету

ІНЖЕНЕРІЯ ПОВЕРХНІ ТА РЕНОВАЦІЯ ВИРОБІВ

**Матеріали 22-ї Міжнародної
науково-технічної конференції**

15–16 червня 2022 р.

Київ – 2022

Інженерія поверхні та реновація виробів: Матеріали 22-ї Міжнародної науково-технічної конференції, 15–16 червня 2022 р. – Київ: АТМ України, 2022. – 165 с.

Наукові напрямки конференції

- Наукові основи інженерії поверхні:
 - матеріалознавство
 - фізико-хімічна механіка матеріалів
 - фізико-хімія контактної взаємодії
 - зносо- та корозійна стійкість, міцність поверхневого шару
 - функціональні покриття поверхні
 - технологічне управління якістю деталей машин
 - питання трибології в машинобудуванні
- Технологія ремонту машин, відновлення і зміцнення деталей
- Впровадження стандартів ДСТУ ISO 9001 у промисловості, вищих навчальних закладах, медичних установах і органах державної влади
- Метрологічне забезпечення ремонтного виробництва
- Екологія ремонтно-відновлювальних робіт

Матеріали представлені в авторській редакції

© АТМ України,
2022 р.

TECHNOLOGIES OF FLASH-BUTT WELDING OF MODERN RAILS BASED ON PULSATING FLASHING PROCESS

The increase in the freight and speed traffic on the railways in the last decade caused the necessity in increasing mechanical properties of the rail, their wear resistance and service life. The majority of modern high-strength rails have a guaranteed service life of 1.5–2.0 times higher than in the rails of previous generations. This is achieved due to the application of new technologies for production of rail steel using a converter process in combination with continuous rolling and vacuum control. At the same time, a volumetric or differentiated thermal hardening of rail rolled metal is used. The production of rails of eutectoid and hypereutectoid class was mastered, which allowed a significant increase in the hardness and wear resistance of the rail steel.

The development of the technology flash butt welding (FBW) of rails was based on the method of metal heating using continuous flashing (CF). In FBW of modern rails using CF process, the required levels of mechanical properties of welded joints were not provided. One of the causes for lowering the mechanical properties is the metal softening in the welding zone as a result of the formation of a coarse-grained structure in the central part of the weld, reducing the joint strength. Decreasing the energy input by shortening the duration of flashing process has a positive effect on the improvement of the structure, but leads to occurring defects in the zone of a joint [6], which significantly reduces the strength and ductility of welded joints.

Application of pulsating flashing (PF) allows changing the intensity of heating during melting in wide ranges, at the same time with the high gradients of temperature field, the heating to a high temperature of the near-contact metal layer is provided, the spark gap decreases, and favourable conditions for the formation of joints at a decreased energy input are created. Fig. 1 shows the dependences characterizing the change in thermal efficiency in the process of PF, as well as in CF of R65 rails for comparison.

The calculation of basic parameters, characterizing heating, was performed using mathematical modelling of heating at CF. The calculation is based on the model of heating a single contact at the change in density of

current, passing through the contact, heating temperature of the ends of parts and degree of overheating. As is seen from the abovementioned diagram, the efficiency at CF is quite high in the initial period of flashing – 0.7 and it decreases as the temperature of the ends of parts grows to 0.45. Applying PF, there is a possibility of increasing the mean current I_w passing through the specimens by increasing the area of simultaneously existing contacts, not exceeding the average speed of parts shortening, by adjusting the instantaneous values of feeding rates and voltage U_2 .

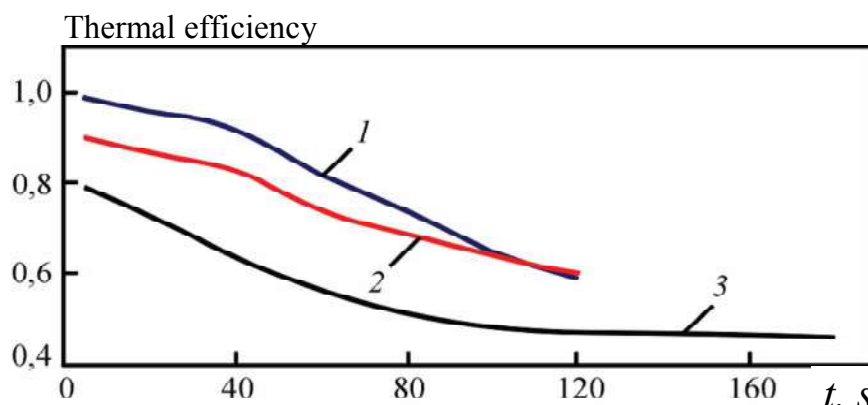


Fig. 1 – Dependence of thermal efficiency on flashing duration at PF (1, 2), and CF (3): 1 – 120 s, I – 450 A; 2 – 120 s, I – 370 A; 3 – 180 s, I – 170 A

By adjusting the instantaneous feed rates, the mean value of current and voltage is maintained at a preset level, and the value of the mean current increases significantly (by 35 %) during flashing. During PF the heating process quickly reaches a quasistationary state and heating is stabilized at this level. The distribution of temperature in the welded joint heat effected zone (HAZ) changes significantly. The temperature of the near-contact metal layers despite the reduction in energy input, increases and the width of the HAZ decreases (Fig. 2).

In this case, the ratio of the energy, generated in single contacts and lost at their fracture, is changed. The suppression of the explosive-like phase of heating the contact, when the metal is brought to boiling, reduces the fraction of lost energy and leads to increase in the efficiency at all the stages of contact heating.

The main result of these investigations was the conclusion that at PF it is possible to vary the energy input during welding of high-strength rails in a wide range without fear of defects occurrence in the joint. Metallographic examinations of the microstructure of welded joints of rail batches allowed identifying common features of their formation. The to-

tal width of the heat-affected zone is more than 2 times decreased with a decrease in energy input as compared to that accepted at CF.

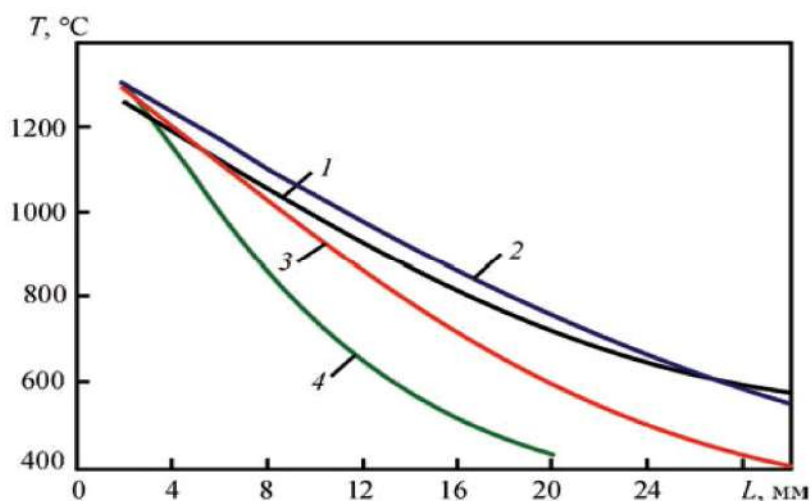


Fig. 2 – Temperature distribution in the HAZ before upsetting during FBW of R65 rails at different modes: 1– with preheating (tw = 200–250 s); 2– CF with programmed voltage drop (tw = 180–220 s); 3 – PF (tw = 110–120s); 4 – PF (tw = 60–70 s)

In this case, the ratio of the energy, generated in single contacts and lost at their fracture, is changed. The suppression of the explosive-like phase of heating the contact, when the metal is brought to boiling, reduces the fraction of lost energy and leads to increase in the efficiency at all the stages of contact heating.

The main result of these investigations was the conclusion that at PF it is possible to vary the energy input during welding of high-strength rails in a wide range without fear of defects occurrence in the joint. Metallographic examinations of the microstructure of welded joints of rail batches allowed identifying common features of their formation. The total width of the heat-affected zone is more than 2 times decreased with a decrease in energy input as compared to that accepted at CF.

The absence of defects in welding with high gradients of temperature fields indicates the fact that at PF, the choice of the optimal value of energy input can be determined based on the conditions for obtaining an optimal structure in the HAZ.

The technology of FBW using PF was based on the program of energy input. The energy input was regulated by changing the flashing duration and the value of welding current, specified by the program. The optimal modes for FBW each rail grade were established and the reference batches of rails were welded, which were subjected to tests in accordance with the requirements of the EU and Ukrainian standards.

A distinctive feature of the developed FBW technologies is the presence of feedback by the basic parameters in the control systems, automatically correcting their value preset by the program during deviation from the preset values. In the process of flashing, short-term corrections of the preset values are carried out in order to stabilize their preset mean values. The algorithms for control of this process were developed for each of the parameters, for example, the value of welding current and energy are regulated by the feed speed so, that their mean values maintained at a preset level.

At the same time, the level of the voltage is taken into account, supplied to the parts to be welded, resistance of the welding circuit and the force, generated by the hydraulic drive of the machine (during welding with tension). The similar multifactor algorithms for regulation are also used by the other flashing.

In some cases, the accumulation of short-term changes of the values preset by the program, can lead to correction of the program itself, for example, to increase in flashing duration in each of its periods. If these changes do not exceed the admissible ones, then they are acceptable. The algorithms for assessing the effect of changes on the quality of joints were determined. They allow expanding the range of admissible deviations and provide a high reproducibility of the preset welding programs.

The capabilities of the automatic system for control of welding parameters are not infinite and cannot prevent rough violations of the operating conditions of welding equipment. The registration of programs for changing basic parameters during welding of a butt joint provides an effective use of the developed algorithms for evaluation of the joint quality according to the value of deviations in a real time of works. For each welded butt joint, the computer system for control of the welding machine issues a certificate, where the change in the basic parameters, as well as their actual deviation from the optimal values is shown in textual and graphical form.

The algorithms of control were developed, on the basis of which the system provides a quality evaluation of a welded butt joint in real time and includes it to the certificate. The test results are issued simultaneously after the end of welding on the machine display for information to the operator and simultaneously to the diagnostic centre, where a more thorough analysis is carried out taking into account the results of destructive testing of butt joints and ultrasonic inspection.

The multifactor system for control of welding machines is used in stationary and mobile equipment of the PEWI design. In the design ver-

sion for mobile machines, it is combined with a drive, providing welding of rails with tension, where additional feedbacks are used, providing the fulfilment of programs for moving welded rails combined with their tension. These operations are controlled by a common computer, which simultaneously performs welding programs, in-process control and rail tension by the mobile machines.

Lesich V., Bondarenko M. Cherkasy State
Technological University, Cherkasy
Antonyuk V., National Technical University of Ukraine
“I.Sikorsky Kyiv Politechnical Institute”, Kyiv, Ukraine

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF THE INFORMATION AND MEASURING SYSTEM OF THICKNESS THIN FILMS IN THE PROCESS OF THEIR DEPOSITION IN VACUUM

In most modern technologies of microelectronics, microcircuitry, optics and other branches of modern production, the process of deposition of thin coatings in vacuum plays a key role [1]. The advantages of vacuum deposition of thin films are its efficiency, environmental friendliness and manufacturability, as well as the ability to obtain thin (up to micrometers) films of different chemical composition and physical properties.

At the same time, it is known [2] that the functional properties of such films, as well as the range of operating parameters significantly depend on the accuracy of their thickness in the production process.

Therefore, for the rapid determination and compliance with the specified thickness of functional films during their deposition in vacuum, the authors of this work developed an information-measuring system (Fig. 1), which was based on a device built on a bridge circuit using quartz resonance, circuit description and principle whose work is presented in the work [3].

Features of such information-measuring system, in contrast to the basic bridge scheme, are the ability to perform multiple measurements without the cost of accuracy and the need to replace the measuring element, as well as independence from geometric and temperature parameters of the measurement scheme.

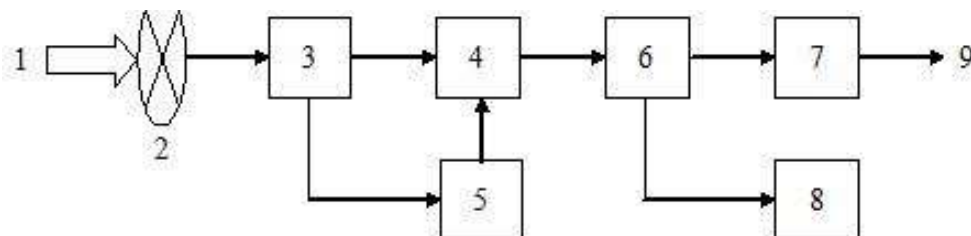


Fig. 1 – Block diagram of the information-measuring system of the thickness of thin films in the process of their deposition in vacuum: 1 – the flow of precipitated material; 2 – diaphragm; 3 – measuring sensor console; 4 – piezoelectric element; 5 – master generator; 6 – control unit of the microcontroller; 7 – control unit of the evaporator module; 8 – information indicator; 9 – to the power unit of the evaporator module

Tests of the information-measuring system of the thickness of thin films showed that the discrepancy between the values of the thickness of thin films obtained by vacuum deposition between the results obtained by the developed system and the alternative method (interferometry) does not exceed 5%, Fig. 2.

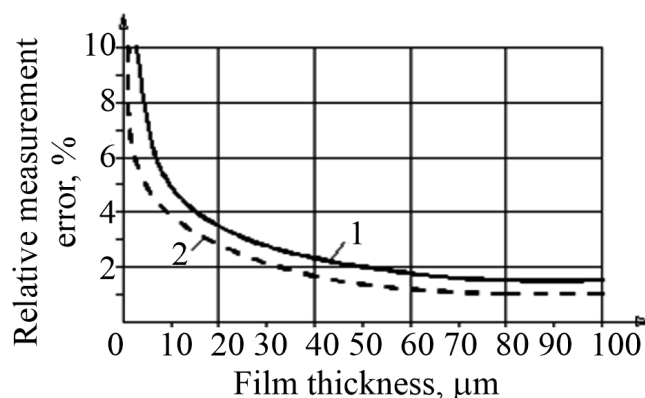


Fig. 2 – Dependence of the relative measurement error on the thickness of the thin film: 1 – using the developed information and measurement system; 2 – alternative (interference) method (МИИ-4)

As can be seen from the dependence 1 in Fig.2, the accuracy of the developed information and measurement system increases with increasing thickness of the film according to the exponential law. In this case, the minimum discrepancy between the values of the thicknesses determined by the proposed system and the values obtained by the alternative method is about 0.5% for films with a thickness of more than 80 μm .

Thus, the information-measuring system of thickness of thin films in the process of their deposition in vacuum is developed and researched, which allows to realize the process of flexible control of high-precision technological process (difference of thickness values in comparison with interferometric method – up to 5%) of metal and

composite functional films thickness range 10–1200 nm $\pm$ 2 nm. Experimentally, it was found that the time from the moment of receiving information from the measuring quartz sensor to the moment of adjustment of the operating parameters of the evaporator is 3.5–6.0 ms. The developed information-measuring system allows to measure and regulate such parameters of the evaporator as evaporation current, speed of evaporator movement along the deposited surface, intensity of evaporator flow in automatic and semi-automatic mode and can be used as part of a complex for automated production and production.

References

1. Antonyuk, V.S. Coatings in instrument making / V.S. Antonyuk, Г.С.Тимчик, Yu.Yu. Bondarenko et al. – Kyiv ^ NTUU «KPI», 2016. – 360 p.
2. Antonyuk, V.S. Research of microhardness of thin ceramic coatings formed by combined electron-beam method on dielectric materials / V.S. Antonyuk, Yu.Yu. Bondarenko, S.O. Bilokin' et al. // J. of Nano- and Electronic Physics. – 2019. – vol. 11, № 6. – P. 06024-1 – 06024-5.
3. Bondarenko, M.O. Measurement of the thickness of thin composite coatings in the process of their deposition in vacuum / M.O. Bondarenko, N.I. Bojko, O.V. Kotlyar, P.I. Kurylenko // Instrument making – 2009 : state and prospects : VIII Internat. sci. and technic conf., Kyiv, 28–29 apr. 2009. – P. 188–189.

Ziakhor I., Zavertannyi M., Nakonechnyi A.
E.O. Paton Electric Welding Institute of
NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine,
Wang Qichen, SIMC Offshore Engineering
Institute Company Limited, Yantai, P.R. China

FRICTION WELDED BIMETALLIC PARTS FOR INDUSTRIAL APPLICATION

Structures of composite materials are widely applied in many industries. Industrial technologies and equipment for friction welding (FW) were developed at the Paton Electric Welding Institute (PEWI) for different combinations of materials such as:

- aluminium to copper (bimetal transition pieces for electro-technical industry);
- aluminium and its alloys to stainless steels (for aerospace industry);
- copper alloys (Cu-Cr-Zr) to stainless steel 316L (for “ITERA” project);
- heat-resistant steels and cast nickel alloys to steels (engine manufacture industry);
- copper to composite materials (for electro-technical industry);
- steel–brass–steel composite parts (for fuel systems of gas turbines);
- nickel superalloys in dissimilar combinations (for gas turbine engines).

Here are some examples of FW bimetallic parts for industrial application that were produced at the PEWI.



Fig. 1 – FW joints of aluminum alloy AMg6 to stainless steel using intermediate element of aluminum AD1 (components for fuel system of rocket engine)

In welding of dissimilar metals and alloys the sound joints can be produced by creating rigid thermal-deformation conditions at the heating and forging stages which can be provided using FW technology with controlled deformation

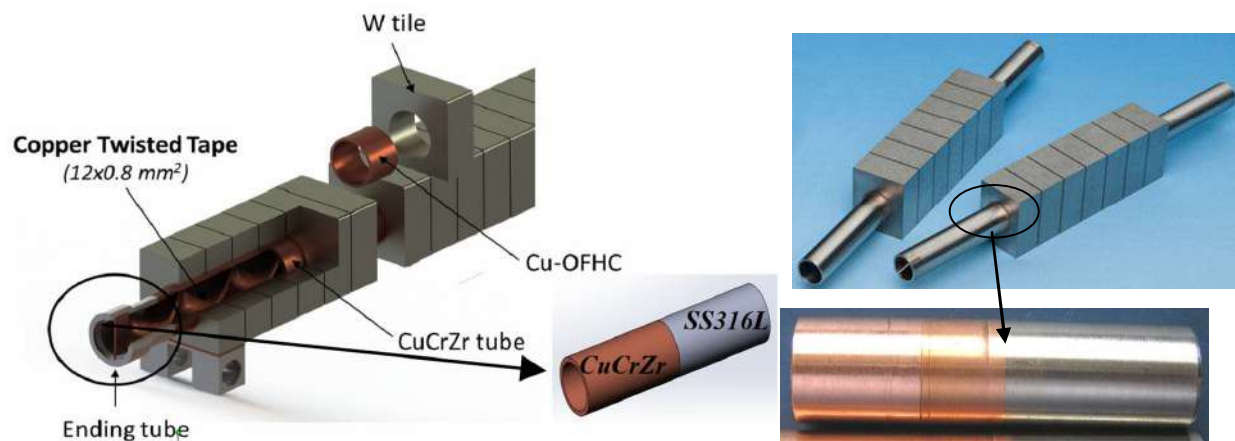


Fig. 2 – FW joints of Cu-Cr-Zr alloy to stainless steel 316L using intermediate element of nickel (cooling system of diverter monoblock for “ITERA” project)

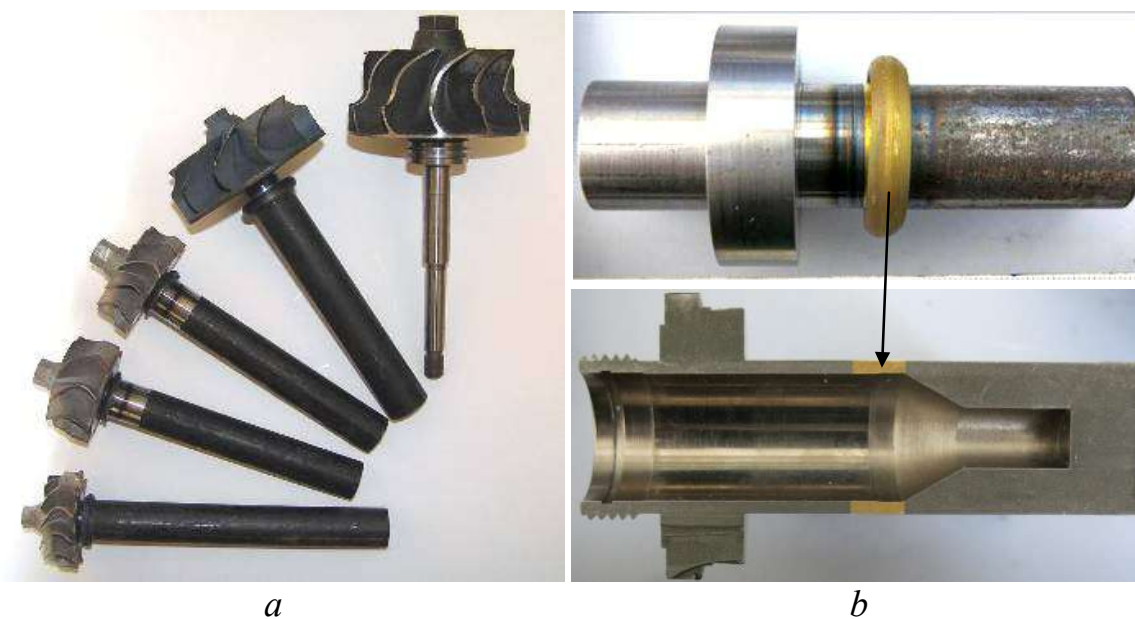


Fig. 3 – FW bimetal turbochargers of nickel superalloys + steel 40KH (a), and composite part of steel 16KH + brass L63 + steel 16KH for fuel system of gas turbine engine (b)

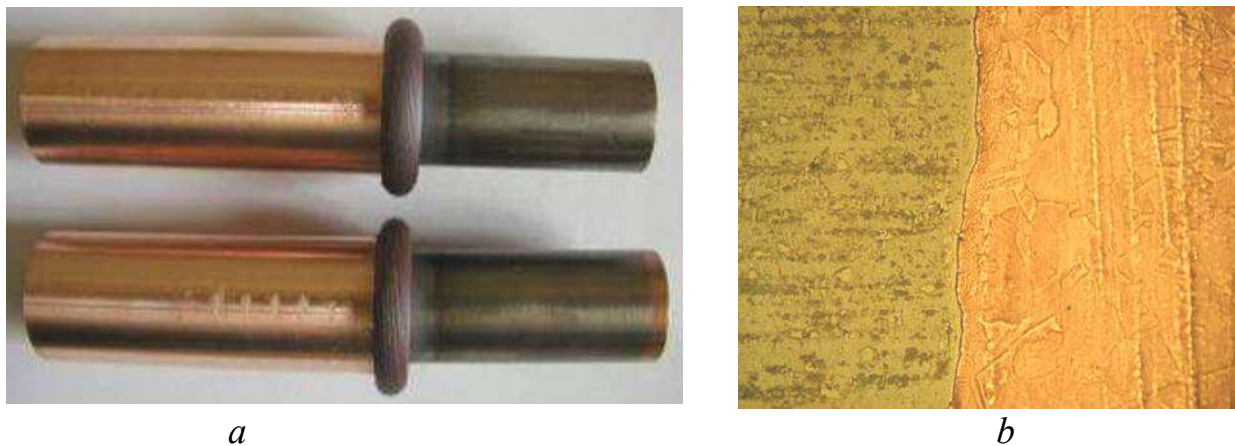


Fig. 4 – FW composite joints of copper M1 + W-Cu-Ni pseudoalloy for electro-technical industry: welded samples (a), and microstructure of the joint zone (b)

FW technologies using intermediate element or thin interlayer are successively applied for joining hard-to-weld materials. Structures of FW bimetal parts with desirable service properties are produced by varying thickness of the interlayer that persists in the joint.

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

АЛМАЗНО-ГАЛЬВАНІЧНИЙ ІНСТРУМЕНТ ДЛЯ ОБРОБКИ НАПЛАВОК

Алмазно-гальванічне покриття утворюється в процесі електролітичного осадження металу з одночасним включенням до осаду алмазних зерен, що перебувають у зіткненні з катодом. У процесі електроосадження металу в його зростаючий шар включатимуться не тільки ті зерна алмазу, які знаходяться в дотику до катода, але й віддалені від нього на деякій відстані. Хоч би скільки тривав процес електродолу, зерна алмазу на зовнішній поверхні алмазно-гальванічного покриття не будуть достатньо міцно закріплені в шарі зв'язки. Тому при нанесенні покриття осадження металу здійснюється поетапно, послідовно двох гальванічних ваннах. В одній з них, де інструмент, що виготовляється, знаходиться спільно з алмазним порошком, відбувається осадження шару металу незначної товщини. Потім надлишок алмазного порошку видаляється з поверхні катода, а деталь переноситься в іншу ванну для остаточного закріплення зерен алмазу металом.

Після нанесення наплавленого шару на зношений виріб виникає необхідність подальшої обробки поверхні. В зв'язку з тим, що обробка наплавлених матеріалів дуже проблематична, то потребує розробку спеціального алмазного інструменту. Для виконання обробки наплавленої поверхні нами розроблені та виготовлені спеціальні інструменти – алмазно-гальванічні головки невеликого діаметру з конічною або циліндричною частиною (рис. 1).

Для обробки наплавлених матеріалів алмазно-гальванічні головки встановлюється в шпиндель спеціальних вертикальних верстатів або ручного електроінструменту. Шпиндель здійснює обертальний рух інструменту, а подачі інструменту здійснюється або вручну

або механічно від приводу верстата. Так відбувається знімання матеріалу наплавленої частини виробу до необхідного ремонтного розміру. Розроблений алмазно-гальванічний інструмент випробуваний на підприємствах України під час обробки наплавлених матеріалів. Він показав при обробці свою ефективність та працездатність.



Рис. 1 – Алмазно-гальванічний інструмент для обробки наплавлених поверхонь

Бужанська І., Аврамчук С., Волкогон В. Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича
НАН України, Київ, Україна

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ КОМПОЗИТІВ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ В СИСТЕМІ «ВЮРЦИТНИЙ НІТРИД БОРУ–АЛМАЗ»

Процесом спікання композитів можна ефективно керувати, контролюючи розмір і гранулометричний склад порошків, а також однорідність пресовки по густині при компактуванні. Дисперсність порошкових систем у вихідному стані стимулює інтенсифікацію процесу масопереносу і структуроутворення при спіканні полікристалічних матеріалів. Мікроструктура спечених полікристалічних матеріалів залежить від багатьох факторів, основними з яких являються характеристики порошку у вихідному стані та мікроструктура пресовки перед дією на неї високих тисків і температур. В свою чергу мікроструктура пресовки перед спіканням в значній мірі визначається структурним станом порошку та його дисперсністю. Дисперсні, з вузьким

розподілом за розмірами, порошки сприяють значному зниженню температури і протяжності спікання матеріалів високої густини з однорідною зеренною структурою, у випадку однорідності пресовки за густиною.

Геометричні параметри порошкової системи мають визначальний вплив на основну стадію спікання консолідованого матеріалу, адже вони визначають кількісну характеристику поверхневої енергії системи.

Суміш порошків вюртцитного нітриду бору і алмазів являє собою нормальну систему, саме тому пресовки на її основі не можуть мати ідеально регулярну структуру. В даному випадку реалізується кластерна структура, коли присутні області з щільною упаковкою частинок в кластерах між якими є відносно розрихлені ділянки. Можна допустити, що розподіл міжчастинкових пор за розмірами буде відповідати розподілу частинок за розмірами з деяким викривленням структури в зонах, що межують з кластерами. Цю обставину слід враховувати, аналізуючи можливість зворотного фазового перетворення $BN_v \rightarrow BN_r$, а також графітизації алмазу на початковій стадії спікання полікристалів. Швидкість усадки матеріалу при спіканні та характер перетворення $BN_v \rightarrow BN_r$ (кількість та тривалість в часі) напряму залежатимуть від питомої поверхні порошкової системи, зважаючи, що вільна поверхнева енергія залежить від геометричних параметрів структури – розміру частинок і міжчасткових контактів, а також пористості.

Враховуючи, що для порошкових систем з початковим розміром пор більше 1 мкм, швидкість росту пор значно випереджує збільшення густини заготовки при спіканні, можна зробити висновок, що збільшення пор зумовлено невідповідністю між локальною (в кластері) та інтегральною (в пресовці) зміною густини. Відмінність локального середнього ущільнення пористого тіла пояснюється неоднорідністю в мікрооб'ємах пресовки за розміром частинок і їх укладки. Це може призвести до виникнення мікрооб'ємів з рівнем Лапласівських капілярних тисків, які набагато перевищують їх середні значення і, як наслідок, привести в процесі спікання до різної швидкості усадки в мікрооб'ємах, що межують. Така обставина сприятиме виникненню напружень розтягу та збільшенню пористості. Пороутворення, в свою чергу, створить умови для зворотного фазового перетворення вюртцитного нітриду бору і алмазу в шаруваті структури – гексагональні модифікації.

Створення умов які забезпечать поєднання в композиті високої міцності і в'язкості руйнування, що досягається шляхом формуван-

ня визначеного типу їх структурного стану, є головним завданням досліджень у цьому напрямку. Такий стан може забезпечити присутність двох фаз – вюртцитного і сфалеритного нітриду бору, причому, остання представлена двома структурними станами: двійниками у формі мікропластичних прошарків, що знаходяться в зернах гетерофазного складу, і у монофазних зернах сфалеритного нітриду бору. Особливості вказаного структурного стану зерен визначають наявність в матеріалі міжфазних границь композиційного типу, а сам матеріал характеризується високим рівнем внутрішньозеренних і міжзеренних напружень. Відтворення такого стану в матеріалі ускладнене із-за неоднорідності напруженого стану в об'ємі консолідованого зразка, тому вирішення цього завдання можливе у випадку отримання композиту, складовою якого являється алмаз – матеріал, ізоструктурний надтвердому матеріалу на основі нітриду бору, присутність якого сприятиме гомогенізації напруженого стану та формуванню суцільних меж зерен.

Процес ущільнення порошкового тіла повністю контролюється розвитком пластичної деформації, механізми якої змінюються згідно з еволюцією структурного і фазового стану в системі часток. Стан швидкого ущільнення пресовки (початкова стадія) визначається кооперативною пластичністю, яка обумовлена анізотропією ґратки вюртцитного нітриду бору і незначною енергією базисних дефектів упаковки та розупорядкованістю вихідного $\text{BN}_\text{в}$ за рахунок накопичення базисних дефектів упаковки, що супроводжується зростанням пластичності.

Алмази статичного синтезу практично повністю зберігаються в складі спеченої композиції на основі вюртцитного нітриду бору, за винятком 1 об.%, який витрачається на формування твердого розчину. Гранична розчинність вуглецю в нітриді бору не перевищує 3,5 об.% при якій спостерігається гомогенний розподіл в зразках, тоді як по мірі збільшення концентрації вуглецю з'являються ділянки збагачені ним, внаслідок початкової стадії розпаду пересиченого вуглецем твердого розчину при високих тисках. Крім того, слід врахувати, що консолідація дисперсних порошкових систем ускладнена у зв'язку зі значною надлишковою вільною енергією і геометричні параметри порошків відіграють при цьому найважливішу роль.

На поліморфне перетворення $\text{BN}_\text{в} \rightarrow \text{BN}_\text{сф}$ при високих тисках і температурах впливає процес спікання і усадки матеріалу, що протікає одночасно з переходом $\text{BN}_\text{в} \rightarrow \text{BN}_\text{г}$, і супроводжується зменшенням вільної поверхні з утворенням суцільного зразка, який

за своїми характеристиками пружності та міцності наближається до монолітного полікристалу. Усадка матеріалу також гальмує процес утворення BN_Γ за рахунок зростання пружних напружень. При цьому графітоподібний нітрид бору, що виник в результаті переходу $\text{BN}_\text{в} \rightarrow \text{BN}_\Gamma$, піддається стисненню в напрямку призматичних площин, про що свідчить зміна параметра c до величини 3,10-3,23 Å.

Бужанська І., Аврамчук С., Волкогон В. Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича
НАН України, Київ, Україна

ВПЛИВ НАПОВНЮВАЧА У ВИХІДНІЙ ШИХТІ НА ОСНОВІ ВЮРЦИТНОГО НІТРИДУ БОРУ НА ФОРМУВАННЯ МІКРОМЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИТУ

Введення у вихідні порошки $\text{BN}_\text{в}$ наповнювача у вигляді частинок різного розміру суттєво впливає на процеси зміни фазового складу і формування структури матриці. При навантаженні суміші $\text{BN}_\text{в}$ з наповнювачем фрагментація часток вюрцитного нітриду бору протікає різко неоднорідно: інтенсивно на відстані більше 10 мкм від включення і, практично не змінюючись, а повторюючи мікрорельєф частинки наповнювача в контакті з нею шляхом утворення малокутових границь між фрагментами розміром близько 0,5 мкм. Внаслідок зменшення інтенсивності дроблення частинок $\text{BN}_\text{в}$ до моменту встановлення p - T умов, необхідних для здійснення фазового переходу $\text{BN}_\text{в} \rightarrow \text{BN}_\text{сф}$, а також ефекту збільшення товщини частинок $\text{BN}_\text{в}$, в контактних з включеннями наповнювача зонах, шляхом припікання їх один до одного по площинах базису, процес фазового перетворення $\text{BN}_\text{в} \rightarrow \text{BN}_\text{сф}$ носить кристалоорієнтований характер через утворення багатошарових політипів в якості проміжних структур. Наявність зсувних напружень, обумовлене негідростатичністю стиснення, пов'язаної з присутністю частинок наповнювача, які сприяють створенню умов, що запобігають утворенню графітоподібного нітриду бору в матриці з $\text{BN}_\text{в}$ на початкових стадіях спікання матеріалу за рахунок кращого ущільнення суміші $\text{BN}_\text{в}$ з наповнювачем, полегшує зсувне перетворення «вюрцит-сфалерит» без повного одновимірного розупорядкування структури $\text{BN}_\text{в}$, характерного для формування структури гексаніту-Р.

Створення армованих композиційних ПНТМ з комбінованою структурою дозволяє значно розширити можливості регулювання властивостей отримуваних матеріалів відповідно до їх функціонального призначення. Використання різних домішок сприяє поліпшенню процесу ущільнення і спікання, а також значно впливає на характер фазових і структурних перетворень при баротермічній обробці. Наприклад, введення в вихідний порошок вюртцитного нітриду бору (BN_v) наповнювача у вигляді порошоків гексаніту-А, які вже мають високі фізико-механічні характеристики і зазнали в тій чи іншій мірі фазові перетворення BN_v → BN_{сф}, дозволяє отримувати високощільний композиційний матеріал високої твердості і дуже в'язку матрицю (за рахунок вихідного BN_v), що забезпечує йому можливість роботи в умовах значних динамічних навантажень при підвищеній зносостійкості. Наявність твердих включень порошоків гексаніту-А сприяє створенню умов, що запобігають утворенню графітоподібного нітриду бору в матриці з BN_v, на початкових стадіях спікання матеріалу, за рахунок кращого ущільнення суміші BN_v з наповнювачем, і дозволяє вести процес спікання при більш низьких параметрах, при яких включення з гексаніту-А зазнають подальше фазове перетворення BN_v → BN_{сф}, а в матричному матеріалі з вихідних порошоків BN_v фазовий перехід здійснюється лише частково, що і забезпечує матриці підвищену ударну в'язкість. Цей принцип використаний при створенні композиційного матеріалу на основі сфалеритного нітриду бору – гетероніт.

Введення полікристалічних частинок композиційного керамічного матеріалу на основі нітриду кремнію в вихідні порошки BN_v гальмує їх подрібнення в процесі спікання (на відміну від спікання чистого BN_v при отриманні гексаніту-Р), призводить до пригнічення зворотного перетворення BN_v → BN_г і помітно впливає на процеси рекристалізації. Детальний розгляд особливостей отримання матеріалу в даній системі показав значні відмінності в поведінці чистих порошоків і з наповнювачем як на стадії пресування, так і на стадії спікання і структуроутворення, причому, велике значення при цьому має розмір частинок наповнювача.

У разі розміру частинок наповнювача менше 10 мкм відмінності в подрібненні BN_v поблизу і на відстані від нього відчуються слабше. Однак, ефект обволікання частинок наповнювача (акомодация частинок BN_v) має місце, що виражається в різкому ослабленні текстури укладання частинок у всьому об'ємі зразків. В результаті цього зменшується ступінь механічного подрібнення поча-

ткових частинок, і фрагментація зерен здійснюється за рахунок нових межзеренних границь без порушення цілісності в мікрооб'ємах зразку. При спіканні матриця не подрібнюється до високодисперсного стану як при спіканні BNв в чистому вигляді. Наведена картина ущільнення BNв в суміші з наповнювачем забезпечує практично повне його ущільнення на самих ранніх стадіях спікання.

Описані особливості процесів ущільнення впливають і на протікання фазового перетворення BNв $\rightarrow$ BNсф. Крім того, що порошки BNв в такій системі до моменту початку перетворення в сфалеритну модифікацію не досягають високодисперсного стану, необхідного для стимулювання переходу BNв $\rightarrow$ BNсф, навпаки, в мікрооб'ємах, прилеглих до частинок наповнювача спостерігається потовщення частинок BNв, за рахунок їх припікання один до одного по базисної площині.

Кінцева структура матеріалу визначається процесами кристаллорієнтованого перетворення BNв $\rightarrow$ BNсф в об'ємі зерна і рекристалізаційного зростання сфалеритної фази на межі зерен, тому, для отримання однорідної дисперсної структури необхідно, щоб рекристалізаційний процес охопив всі міжзеренні границі матеріалу. У композиті вона являє собою суміш дефектних зерен, які частково або повністю пройшли фазове перетворення BNв $\rightarrow$ BNсф по кристалоорієнтованому механізму, і більш досконалих зерен BNсф, що утворилися при подальшій рекристалізації. Таким чином, введення до складу вихідних порошків вюртцитного нітриду бору наповнювача призводить до зміни механізму фазового перетворення BNв $\rightarrow$ BNсф, і як наслідок, структурного стану матеріалу і його властивостей, в порівнянні з матеріалом, який формується при баротермічній обробці чистого BNв.

Визначальним фактором формування твердості композиційного матеріалу «BNв + алмаз статичного синтезу» в наведених умовах є тривалість спікання. При тривалості спікання композиції $\tau = 120$ с формується композиційний матеріал, який має твердість $H = 83,0 \text{ ГПа} \pm 13\%$, при цьому модуль пружності дорівнює $E = 872 \pm 3 \text{ ГПа}$. Слід зазначити також неоднорідний розподіл твердості по поверхні полікристалічного зразку, який пов'язаний з неоднорідністю теплового поля. Теплове поле нагріву при спіканні направлено від периферії пресування до її центру, тому, зміна твердості зразків в радіальному напрямку в залежності від часу спікання пов'язано зі зміною температурних умов по полю спечених зразків, відповідно до якого відбувається зміна структурного стану і вели-

чини твердості в різних їх зонах. Високі значення твердості композиції є підтвердженням утворення твердого розчину B-N-C в процесі спікання суміші порошків BNв і алмазів статичного синтезу.

Таким чином, в результаті вивчення характеру формування фізико-механічних характеристик композиційних матеріалів на основі твердого розчину, який утворюється при спіканні в умовах високих статичних тисків і температур системи «вюртцитний нітрид бору–алмаз» встановлено, що мікротвердість спечених композицій системи «BNв–алмаз» визначається технологічними параметрами їх спікання і складом вихідної шихти. Температура спікання, яка забезпечує максимальну твердість, становить 1700 °С.

Фізико-механічні характеристики композиційних матеріалів системи «вюртцитний нітрид бору – алмаз» залежать від температури і тривалості спікання. Максимальна твердість композиту на основі твердого розчину BNC формується в присутності алмазів статичного синтезу дисперсністю вище 100 нм при $T = 1700$ °С і складає 83 ГПа.

Бурлаков В.І. Приазовський державний технічний університет, Маріуполь, Україна

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ВІБРО-МАГНІТНО-АБРАЗИВНОГО ОБРОБЛЕННЯ НАДТВЕРДОЇ КЕРАМІКИ

Надтверді керамічні пластини – це матеріал, який програє по твердості тільки алмазним матеріалам. Тому оброблення надтвердої кераміки є достатньо важким процесом. Експериментальні дослідження оброблення надтвердої кераміки за допомогою вібраційного оброблення показали позитивні результати. Пластини були оброблені з шорсткістю $Ra\ 0,19\text{--}0,22$. Але в своїй основі вібраційне оброблення містить мікроудари по поверхні пластини, що значно погіршує стан поверхні. Також при обробленні може сколюватися і різальна кромка, а це підвищує відбраківку пластин. Перед дослідниками постає проблема покращення якості поверхні та підвищення продуктивності оброблення в цілому. Таке завдання може бути вирішено як удосконаленням існуючих, так і створенням принципово нових технологій обробки надтвердих керамічних матеріалів.

Вирішенням проблеми є поєднання вібраційного та електромагнітного оброблення – добитися притирки деталей з надтвердої кераміки та отримати досить високі показники з якості та продуктивності оброблення. Основою для створення нових технологій є результати останніх досліджень щодо взаємодії електромагнітного поля з різними матеріалами.

Теоретичні основи поєднання таких різних видів оброблення укладаються в наступному:

- продуктивність оброблення при поєднанні способів, в порівнянні з вібраційним обробленням, підвищується на 20–25%;
- покращення якості поверхні до $Ra\ 0,11\text{--}0,12$;
- зниження величини напружено-деформованого стану від 697 МПа при вхідних параметрах до 409 МПа
- підвищується стійкість інструменту з різальними пластинами із надтвердої кераміки;
- комплексний магнітний і вібродинамічний вплив на деталь інтенсифікує процес обробки її поверхневого шару щодо надтвердих керамічних матеріалів, які володіють комплексом високих експлуатаційних властивостей.

Таким чином, використання вібро-магнітно-абразивного оброблення щодо надтвердої кераміки достатньо обґрунтовано, виправдано та своєчасно.

*Варюхно В.В., Тамаргазін О.А., Приймак Л.Б.,
Довгаль А.Г., Кабика С.М. Національний
авіаційний університет, Київ, Україна*

СКЛАД ПІДШАРУ ТЕПЛОЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ ТЕПЛОАВАНТАЖЕНИХ ДЕТАЛЕЙ АВІАЦІЙНОЇ НАЗЕМНОЇ ТЕХНІКИ

Попередніми дослідженнями встановлено, що проміжний шар в шаруватих теплозахисних теплоавантажених покриттях повинен мати високу теплопровідність. Як відомо, це багатофазні системи з розорієнтованими структурами, що мають якнайбільшу поверхню міжфазного розділу, зокрема евтектики. Відомо, що у системі Al-Zr-оксидів є евтектика 68% Al_2O_3 -32% ZrO_2 з температурою плав-

лення 1910 °С, теплопровідністю 2,71 Вт/м·К за 1000 °С, міцністю на згин 145 МПа, що дозволяє її рекомендувати як композицію для нанесення теплозахистного шару багатфункціональних покриттів.

Гаряче пресування керамічних зразків проводили на установці СПД-120 з індукційним нагрівом без захисної атмосфери (1470 °С, зернистість вихідних компонентів шихти 40–50 мкм). Для отримання нікелевих та нікельалюмінієвих сплавів з домішками алюмінію у кількості 10 та 15% у вакуумній печі СШВЛ сплавляли суміші порошків на етиловому спирту для рівномірного розміщення.

Вихідна структура керамічних зразків до взаємодії з розплавом (рис. 1) підтверджує наявність фазових ділянок: зерна оксиду алюмінію – темна фаза, евтектики оксид алюмінію-оксид цирконію (строката фаза), та окремих зерен оксиду цирконію – світла фаза.

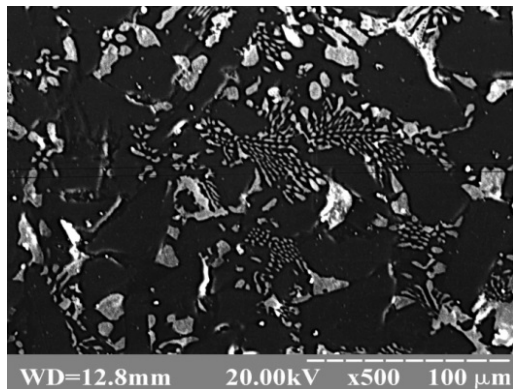


Рис. 1 – Структура кераміки (×500)

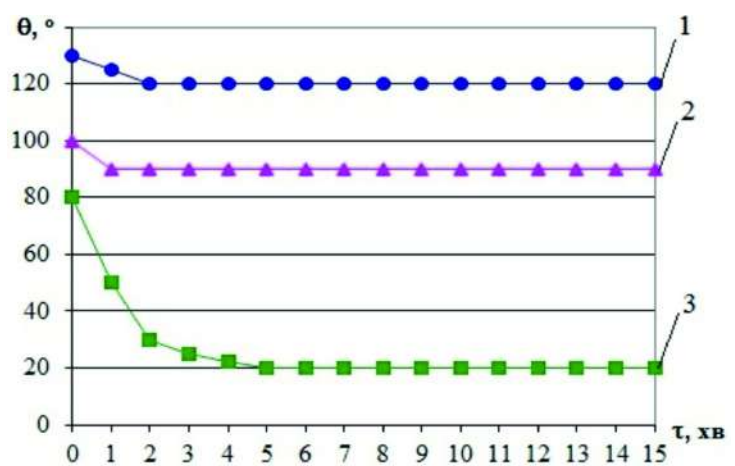


Рис. 2 – Кінетика кутів змочування кераміки розплавами системи Ni-Al:
1 – 100%Ni; 2 – Ni – 10% Al; 3 – Ni – 15% Al

Як відомо, навіть невеликі домішки алюмінію в нікелі суттєво знижують поверхневий натяг розплаву (табл. 1), що мусить в свою чергу суттєво поліпшити контактну взаємодію з твердою фазою. До того ж у кількості 15 % (мас.) Al з Ni утворює стійкий інтерметалід Ni_3Al , що відрізняється високою хімічною та термічною стійкістю та гарною адгезією до сталей, Ті-сплавів та тугоплавких сполук. Домішка у кількості 15% призводить до повного змочування кераміки $\theta = 20^\circ$ вже на 5-тій хвилині взаємодії, та утворює міцний адгезійний зв'язок з керамічною підкладкою (рис. 2, табл. 2).

Перехідна зона «розплав-кераміка» характеризується чіткою та значно подовженою лінією розподілу, що свідчить не лише про поверхнево-активну але і про суттєву міжфазну взаємодію (рис. 3).

Таблиця 1 – Поверхневий натяг сплаву Ni-Al в залежності від концентрації Al

C_{Al} , % (мас.) ($\sigma_{Al} = 770$ мН/м)	σ_{Ni-Al} , мН/м ($\sigma_{Ni} = 1700$ мН/м)
0	1700
10	1590
15	1550

Таблиця 2 – Енергетичні параметри змочування кераміки сплавами Ni-Al (вакуум 1,33 мПа)

C_{Al} , % (мас.)	Час контактування до стабілізації кута θ , хв	Температура, °C	Конт. кут θ , град	Робота адгезії, мДж/м ² $W_A = \sigma_{жг}(1 + \cos\theta)$
0	2	1560	120	850
10	1	1520	90	1590
15	5	1520	20	3006

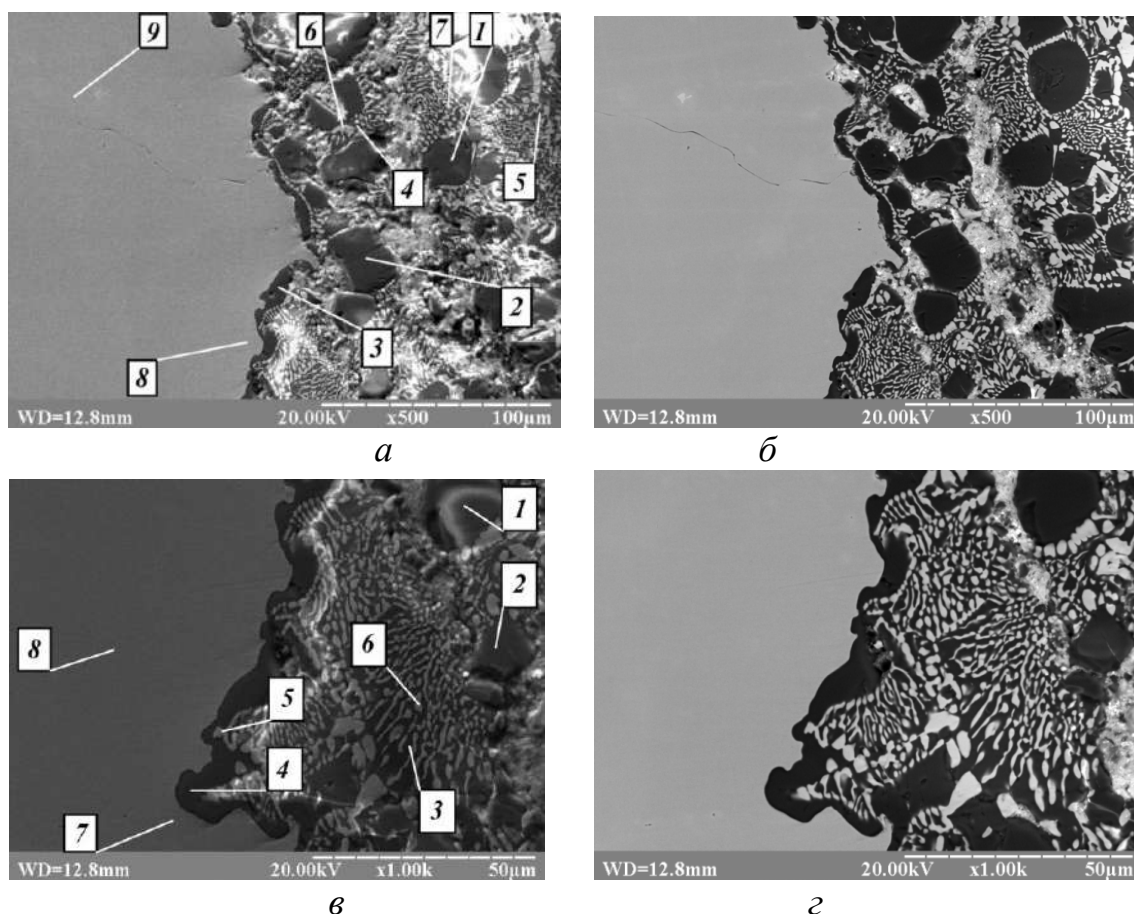


Рис. 3 – Перехідна зона розплаву Ni_3Al та кераміки у вторинних (а, б) і відбитих електронах (б, г): а, б – $\times 500$; в, г – $\times 1000$

Аналіз структурних складових (рис. 3, а, б, табл. 3) показав, що підкладка зберігає свою вихідну морфологію – зерна оксиду алюмінію та оксидної евтектики за винятком наступних несуттєвих змін. У примежевій зоні керамічної підкладки відбувається остаточний переплав залишків оксиду цирконію та утворення евтектики.

Таблиця 3 – Хімічний склад фаз

Спектр	Ni	O	Al	Zr
рис. 3, а				
1	0,33	30,67	69,00	–
2	–	55,88	44,12	–
3	–	52,05	47,95	–
4	–	28,49	59,60	11,91
5	–	30,45	58,16	9,18
6	0,59	18,73	5,98	74,70
7	0,01	19,14	3,15	77,70
8	83,79	0,87	14,00	1,34
9	84,72	0,91	14,37	–
рис. 3, в				
1		30,67	69,33	–
2		45,88	54,12	–
3		42,05	57,95	–
4	0,85	28,09	59,20	11,84
5	1,19	18,73	5,98	74,10
6	0,01	19,19	3,10	77,70
7	82,79	0,87	15,00	1,34
8	84,72	0,91	14,37	–
рис. 4				
1	0,01	19,19	3,10	77,70
2	0,36	20,17	–	79,47
3	–	37,47	62,53	–
4	–	30,67	69,33	–

З рис. 3, в, г помітно, що реальна довжина межі переходу «розплав-кераміка» майже вдвічі довша, ніж умовно проведена по прямій лінії між двома сусідніми крапками, що свідчить, що і площа поверхні розділу «розплав-кераміка» значно більша, ніж умовна геометрична площа контакту, наявна по площині без викривлень.

Ni-Al розплав контактує з рештою керамічної підкладки крізь дуже тонкий (5–10 мкм), але неперервний прошарок з оксиду алюмінію. Дрібнодисперсна евтектична структура спостерігається у вигляді ділянок, де світла фаза розплаву Ni_3Al при охолодженні зупинила спробу захопити в себе частинку досить пластифікованої на той час темної фази Al_2O_3 (рис. 3, з, табл. 3). Відразу ж під таким складним та неперервним шаром розташовується евтектика $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ – це строката структура темної та світлої фази.

Також у безпосередній близькості до зони розподілу «розплав-кераміка» спостерігаються поодинокі одиничні зерна оксиду алюмінію розміром 25 та 15 мкм відповідно з оплавленими межами та частково «розчиненими» (насправді це дрібнодисперсна механічна суміш) в евтектичній структурі. При обробленні нанесеного покриття висококонцентрованими джерелами енергії проміжний шар покриття з металоподібного Ni_3Al здебільшого контактує не з одиничними зернами оксиду алюмінію, що мають теплопровідність $\lambda = 35 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$, а з дрібнодисперсною структурою евтектичної морфології оксид алюмінію-оксид цирконію, що має теплопровідність $\lambda = 2,71 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ за температури 20°C , що значно не погіршить теплозахисних властивостей термобар'єрного покриття.

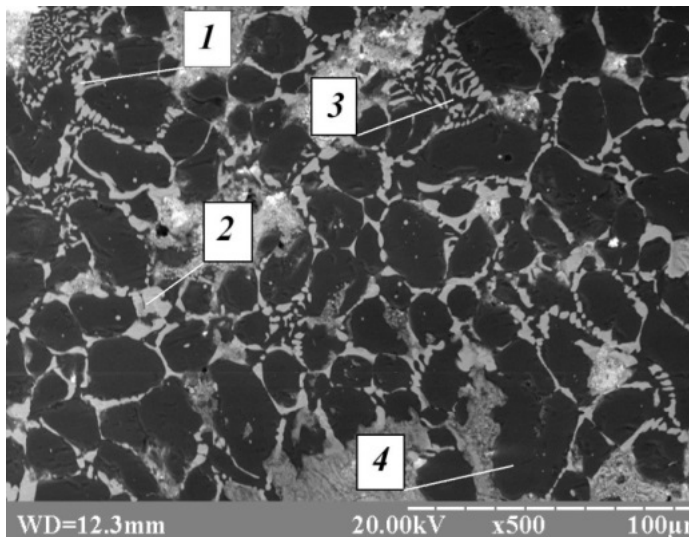


Рис. 4 – Структура кераміки після взаємодії з розплавом Ni-15% Al ($\times 500$)

В результаті такої взаємодії з розплавом за температури 1520°C цілком зберігається фазовий склад вихідної керамічної підкладки, що була отримана за температури 1470°C (рис. 4, табл. 3). В ній цілком зберігаються фази оксиду алюмінію та оксиду цирконію, проте в нього спостерігається незначне дифузійне проникнення нікелю. Зернистість оксиду алюмінію у

вільному вигляді зменшилась з 40–50 мкм до 10–20 мкм (див. рис. 4). А оксид цирконію виявлено як у вільному вигляді так і в складі евтектики, що щільно оточує зерна оксиду алюмінію. Це дозволяє зробити висновок, що структура підкладки на глибині 500 мкм під

розплавом зберігається у вихідному вигляді, а значить можна допустити, що зберігаються і властивості керамічної підкладки.

Таким чином: – підібраний склад металевого підшару для нанесення теплозахисних покриттів – Ni – 15% Al, що в твердому стані має структуру інтерметаліду Ni_3Al ; – Ni у чистому вигляді не зможе кераміку, але домішки алюмінію у кількості 15% суттєво знижують силу поверхневого натягу і суттєво інтенсифікують взаємодію з утворенням контактних кутів змочування $\theta = 20^\circ$; – має місце поверхнево-активна і міжфазна взаємодія розплаву, зокрема з оксидом алюмінію суттєвої хімічної взаємодії не відбувається, за винятком дифузійного проникнення елементів, всі компоненти та структурні складові системи зберігається у майже вихідному вигляді.

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

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ГАЛЬМІВНИХ КОЛОДОК РУХОМОГО СКЛАДУ

Чавунні гальмівні колодки впродовж тривалого часу застосовуються на рухомому складі в якості одного з основних елементів гальмової системи. Оскільки для сучасного рухомого складу необхідні колодки, які забезпечують ефективне гальмування при високій початковій швидкості і які мають тривалий строк служби, чавунні колодки, що не задовольняють цим вимогам, поступово поступаються місцем композиційним колодкам або виготовленим із спеченої кераміки, більш довговічним та зносостійким.

Разом з цим чавунні гальмівні колодки зберігають певні переваги, які виражаються в меншому зносі поверхні кочення коліс, з якими вони контактують, і постійності коефіцієнту тертя при гальмуванні, мало залежного від зовнішніх, в тому числі погодних факторів, таких як дощ або сніг. Тому покращення експлуатаційних характеристик чавунних колодок (підвищення коефіцієнту тертя і збільшення строку служби) для забезпечення можливості їх застосування і на високошвидкісному рухомому складі з одночасним зниженням витрат на експлуатацію та заміну, є актуальною задачею. Для цього підбиралися оптимальні марки чавуна з включенням легуючих елементів і технологічні процеси виготовлення колодок.

На перших етапах дослідження виявили, що включення твердих фаз (цементиту, стеатиту, карбіду) в структуру основної чавунної матриці дозволяє суттєво збільшити зносостійкість колодок. При цьому визнано необхідним одночасно визначити, чи витримують колеса посилену дію гальмівних колодок при гальмуванні з високої швидкості і можливість використання матеріалів більшої твердості для подальшого підвищення гальмівної ефективності чавунних гальмівних колодок без шкоди для зносостійкості.

На контактуючій з колесом поверхні чавунної колодки метал дещо розм'якшується внаслідок виділення тепла при терті, і коефіцієнт тертя зменшується при взаємодії гальмівної колодки і колеса при гальмуванні з високої швидкості. Збільшити коефіцієнт тертя, а як наслідок, і ефективність гальмування при високошвидкісному русі можна шляхом введення в зону контакту частинок речовини високої твердості, наприклад кераміки.

Для дослідження провели випробування на стенді з використанням дослідних гальмівних колодок і колеса. Середній коефіцієнт тертя розраховували за формулою:

$$\mu = 0,0386 \times I/R^2 \times V_0^2 / S \cdot P, \quad (1)$$

а темп наростання зносу колодки як:

$$\omega = 2R^2/T \times \Delta M/V_0^2, \quad (2)$$

де I – момент інерції; R – радіус колеса; S – гальмівний шлях; P – гальмівне натискання; V_0 – початкова швидкість при гальмуванні; ΔM – знос.

Частинки кераміки кількох видів під час гальмування подавали в зону контакту колодок і колеса. В якості дослідних зразків кераміки використовували порошки карбіду кремнію SiC (карбокорунду), частково стабілізованого цирконію PSZ і окису алюмінію Al₂O₃ (глинозему). Максимальне натискання колодки на колесо було рівним 15кН при швидкості 125 км/год. Включати карбокорунд в гальмівну колодку вирішили у вигляді окремих циліндричних блоків діаметром 25 мм, виготовлених шляхом змішування порошку зі зв'язуючим, пресування в формах і наступного спікання на повітрі. Після проведення ряду експериментів встановили, що карбокорунд в вигляді дрібних частинок найбільш ефективний серед досліджених матеріалів з точки зору підвищення коефіцієнта тертя чавунних гальмівних колодок при гальмуванні з високої швидкості.

МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Сучасна концепція енерго- і ресурсозбереження, прийнята на залізничному транспорті, в поєднанні з високим рівнем технічних вимог до рухомого складу як в умовах існуючої так і перспективної експлуатації (підвищення осьових навантажень до 30 тс/вісь, підвищення експлуатаційного пробігу вагонів між капітальними ремонтами до 500000 км) обумовлює критерії вибору технологій виробництва (в тому числі і технологій термічної обробки) масових видів металопродукції.

Це змушує при розробці технологічних процесів термічного зміцнення литих деталей візка вантажних вагонів враховувати аспекти ресурсозбереження, оптимізувавши температурно-часові параметри процесів нагріву під гартування і відпуск, використовувати в якості гартувального середовища технічну воду замість мастила, таким чином усунути фактор техногенного забруднення оточуючого середовища, застосовувати розроблені технологічні процеси до серійних вуглецевих і низьковуглецевих марках сталей, які не містять дорогих легуючих елементів. Зокрема для виробництва литих деталей візка вантажного вагону такими марками сталей, що серійно випускаються є 20ГЛ, 20ФТЛ, 20ГТЛ, 20ГФТЛ по ТУ 24.05.486-82 і ДСТУ 8833:2019.

До числа найбільш швидкозношуваних деталей візків вантажних вагонів слід віднести корпус автозчепу, хомут автозчепу, замок автозчепу, клин візка фрикційний, плиту упорну, корпус апарату поглинаючого пружинно-фрикційного, корпус букси.

Для підвищення експлуатаційного ресурсу литих деталей рухомого складу, які працюють під дією циклічних навантажень і піддаються в експлуатації інтенсивному зносу, необхідно кардинальним чином змінити підхід до створення необхідного комплексу властивостей. Для забезпечення високої циклічної довговічності, високої зносостійкості, зниження чутливості до концентраторів напружень необхідно створити в зміцненому перерізі литої деталі із низьковуглецевої сталі градієнт властивостей, який передбачає наявність твердої зносостійкої поверхні, в'язкої, але міцної серцевини і стискаючих напружень у поверхневому шарі. Реалізація такого

комплексу властивостей можлива при застосуванні методу об'ємно-поверхневого гартування.

Принцип методу об'ємно-поверхневого гартування (ОПГ) полягає в використанні регульованої прогартованості сталі для одержання ефекту поверхневого зміцнення деталей при одночасному підвищенні міцності глибинних шарів і серцевини виробів. Основними особливостями методу ОПГ є наступні.

Деталі виготовляються із сталей, прогартовуваність яких узгоджена з розмірами їх навантажених елементів, або всього перерізу. При необхідності збільшення товщини загартованого шару в деталях до необхідного рівня, прогартовуваність сталі збільшують за рахунок невеликого її легування (не більше 1%) недорогими і не-дефіцитними елементами такими, як кремній, марганець, хром.

Деталі при гартуванні нагріваються наскрізь або достатньо глибоко з тим, щоб глибина нагріву до надкритичних температур перевищувала необхідну глибину зміцненого шару не менше ніж у два рази. Оптимальна глибина зміцненого шару складає 0,15–0,25 від діаметру перетину деталі, яка зміцнюється. При ОПГ використовується інтенсивне гартувальне охолодження спрямованим потоком води, що швидко рухається або душем, яке дозволяє в максимальній степені реалізувати здатність середньо вуглецевих і низьколегованих сталей до зміцнення.

Для низьковуглецевих сталей потрібний рівень властивостей (градієнт міцнісних властивостей по перетину деталі) досягається за один цикл нагріву і охолодження. Операція відпуску з додатковим пічним нагрівом не виконується. Інтенсивність гартувального охолодження регулюється таким чином, щоб процеси самовідпуску поверхневого зміцнюваного шару металу за рахунок тепла серцевини забезпечували необхідний рівень властивостей.

При ОПГ за один технологічний цикл нагріву і охолодження досягається поверхневе гартування на задану глибину і максимальну твердість, рівень якої залежить головним чином від вмісту вуглецю в сталі, і зміцнення глибинних шарів і серцевини деталей на структуру тонкої ферито-цементитної суміші (сорбіту або троститу гартування). Таке поєднання забезпечує високий рівень механічних властивостей виробів при різноманітних найбільш характерних видах навантаження деталей в експлуатації.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ МАСЛЯНИХ ШЕСТЕРЕННИХ НАСОСІВ ДВЗ

В роботі були проведені в лабораторних умовах експериментальні дослідження властивостей багатофункціонального покриття утвореного окислегуванням. Визначено вплив параметрів процесу нанесення покриттів і насичуючого середовища на знос пар тертя, задиростійкість, коефіцієнт тертя. В результаті отримані оптимальні параметри технології окислегування із водного розчину алюмохромфосфатного з'єднання: температура обробки в насичуючому середовищі $t = 590\text{--}610\text{ }^{\circ}\text{C}$; час витримки в насичуючому середовищі $\tau = 35\text{--}45\text{ хв.}$; концентрація алюмохромфосфатного з'єднання у водному розчині $C = 8\text{--}12\%$ [1]. Саме ці параметри було використано при нанесенні покриттів на деталі масляного шестеренного насосу для проведення експлуатаційних випробувань.

Метою даних експериментальних досліджень було встановлення впливу запропонованого процесу формування покриттів на працездатність та зносостійкість масляних шестеренних насосів.

Для імітації роботи масляного шестеренного насосу змащувальної системи двигунів внутрішнього згоряння був застосований спеціальний лабораторний стенд [2]. Принцип роботи стенда полягає у тому, що масло з бака за допомогою шестеренного насосу подається до магістральних трубопроводів стенда. Випробування проводилися у два етапи: імітація роботи масляного шестеренного насосу з вихідними параметрами та масляного шестеренного насосу з покриттям на лабораторному стенді [2]; перевірка показників масляних шестеренних насосів на стенді.

Оскільки в процесі експлуатації транспортного засобу до мастила постійно потрапляють нові часточки зносу і пил, які повністю не видаляються фільтрами системи змащування з мастила, то при проведенні іспитів шестеренного насосу на стенді до мастила були штучно введені часточки зношення сталі 40Х та чавуну СЧ20 та кварцовий пил у співвідношенні 1:1 [3].

Стенові іспити передбачають перевірку наступних показників: перевірка функціонування; перевірка зовнішньої герметичності; пе-

ревірка коефіцієнта подачі; перевірка продуктивності насосу. Результати іспитів насоса порівнювалися з припустимими по технічним умовам. Вимірювання проводилися не менше трьох разів при тиску обкатувальної суміші в гідравлічній магістралі стенда, рівному максимальному робочому тиску для даного типу масляного насоса.

Від величини номінальної подачі шестеренного насосу залежить продуктивність машини, а отже і якісне виконання нею всього технологічного циклу. Критерієм граничного стану насоса є зниження величини коефіцієнта подачі більш ніж на 20%.

В результаті проведених експериментальних випробувань масляних шестеренних насосів тракторних дизельних двигунів встановлено залежності основних показників, таких як подача та коефіцієнт подачі, від часу випробування для насосів з базовою технологією та насосів з запропонованою технологією обробки в парогазовому середовищі алюмохромфосфатного з'єднання.

На основі проведених іспитів можна зробити висновки, що показник подачі шестеренного насосу обробленого за новою технологією знижується більш повільно і є більшим у 1,16 разів ніж насоса з базовою технологією. Залежність об'ємного К.К.Д. від часу випробування показує, що коефіцієнт подачі шестеренних насосів оброблених за запропонованою технологією окислення в алюмохромфосфатному з'єднанні більший у 1,33 рази ніж у насосів за базовою технологією [4].

Оскільки показник подачі та коефіцієнт подачі напряму залежать від витоків мастила через зазори в парі тертя шестерня корпус масляного насосу, то можна зробити висновок про підвищення зносостійкості спряжених поверхонь, так як чим нижче знос тим повільніше знижуються показники насосу. Отже, з вище сказаного можна зробити висновок, що доцільно застосовувати технологію формування покриттів окисленням у водному розчині алюмохромфосфатного з'єднання.

Література

1. Тимофєєва, Л.А. Аналіз технологічних параметрів процесу нанесення зносостійкого покриття / Л.А. Тимофєєва, Л.В. Волошина, П.М. Гордієнко // Зб. наук. праць УкрДУЗТ. – Харків : УкрДУЗТ, 2017. – Вип. 170. – С.13–19.

2. Волошина, Л.В. Результати металографічного дослідження покриття із водного розчину алюмохромфосфатної солі / Л.В. Волошина // Зб. наук. праць УкрДУЗТ. Тези доп. 79-та міжнарод. наук.-

техн. конф. «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті», М. Харків, 25–27 квіт. 2017р. – Харків : УкрДУЗТ, 2017. – Вип. 169 (додаток). – С. 138–140.

3. Тимофєєва, Л.А. Комплексні дослідження при розробці технологічного процесу підвищення експлуатаційних властивостей деталей масляного шестеренного насосу / Л.А. Тимофєєва, Л.В. Волошина // Інтелектуальні транспортні технології : мат. І-ї міжнарод. наук.-техн. конф., м. Трускавець, 24–30 січня 2020 р.– Харків : УкрДУЗТ, 2020. – С.116–117.

4. Волошина Л.В. Функціональні покриття для підвищення зносостійкості деталей масляного шестеренного насосу / Л.В. Волошина // Інтелектуальні транспортні технології : матеріали II-ої міжнарод. наук.-техн конф., м. Харків, 27–29 квітня 2021 р. – Харків : УкрДУЗТ, 2021. – С. 167–169.

Воробйов Є.В., Аннілогова Т.В. Інститут
проблем міцності імені Г.С. Писаренка
НАН України, Київ, Україна

ПОВЕРХНЕВА ТА ІНШІ ВИДИ ЕНЕРГІЇ, ЩО ГЕНЕРУЮТЬСЯ В ПРОЦЕСІ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОЇ СТРИБКОПОДІБНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ МЕТАЛІВ

Все більшого поширення набуває використання зрідження газів, у першу чергу – рідких водню та гелію з температурами кипіння 20 і 4,2 К. Зі зниженням температури пластична деформація переважної більшості металевих матеріалів стає макроскопічно нестійкою. Таким чином, за температур нижче 30 К виникає ефект низькотемпературної стрибкоподібної деформації, що стає головною особливістю деформування і руйнування практично всіх металів і сплавів. При цьому діаграми деформування металевих матеріалів набувають характерного пилкоподібного вигляду. Амплітуда стрибків монотонно зростає, а кожен стрибок супроводжується появою шийки на робочій ділянці зразка. У високоміцних сплавів стрибки слідують відразу ж за границею плинності, досягаючи до 60% від початкового рівня. Подальший розгляд базується на даних експерименту [1] для сталі 03Х20Н16АГ6 та алюмінієвого сплаву АМг5 за температури 4,2 К.

Низькотемпературна стрибкоподібна деформація металів – дуже швидкоплинний процес, і це визначає характер його енергетики. Зовнішнє навантаження практично відключається і робота деформації забезпечується майже повністю за рахунок запасу пружної енергії системи зразок-машина. При стрибку він знижується на величину

$$\Delta W_D = (P_0^2 - P_c^2) / 2C,$$

де P_0 і P_c – навантаження відповідно на початку і в кінці процесу. Ця частина потенційної енергії витрачається на роботу пластичної деформації A_p , збільшення вільної поверхні зразка A_s і переходить в кінетичну енергію A_k . Отримуємо рівняння енергетичного балансу $\Delta W_D = A_p + A_s + A_k$. Збільшення вільної поверхні зразка відбувається за рахунок утворення шийки. Величину A_s можна розрахувати, як $A_s = \Delta S \gamma$, де γ – питома поверхнева енергія, $\Delta S = S_0 (\sqrt{\varepsilon_D + 1} - 1)$, S_0 – початкова площа поверхні зони плинності, ε_D – стрибкоподібна деформація. Розрахунки для обох матеріалів дають $A_s / \Delta W_D < 0,01$.

Величину ΔW_D можна визначити із діаграми деформування. Для сплаву АМг5 та сталі 03Х20Н16АГ6 в умовах нашого експерименту максимальна величина вивільненої пружної енергії становить 0,246 та 4,10 Дж відповідно, а величина питомої енергії має порядок 10^6 Дж/м³. При цьому швидкість деформації і відповідно потужність роботи деформування в зоні плинності, зокрема для сталі, збільшуються в 10^4 раз в порівнянні з номінальними значеннями.

Для оцінки енергетичних витрат на приведення системи зразок-машина в рух при стрибку деформації, тобто кінетичної енергії, необхідно знати характер зміни швидкості, її максимальну величину $\dot{\varepsilon}_D$ тощо [2]. Така оцінка показує, що не дивлячись на великі швидкості деформації, котрі досягаються в процесі стрибка, частина звільненої пружної енергії, яка переходить в кінетичну, дуже мала (~1%).

Величину кінетичної енергії розрахуємо за формулою

$$A_k = \frac{1}{\tau_D} \int_0^{\tau_D} A(t) dt, \quad \text{де} \quad A(t) = \frac{M}{2} V^2(t), \quad V(t) = l \dot{\varepsilon}_d(t). \quad (1)$$

Криві швидкість деформації-час можна описати синусоїдою в першому напівперіоді, $\dot{\varepsilon}_d(t) = \dot{\varepsilon}_D \sin \omega t$, де $\omega = \pi / \tau_D$. Тоді з (1) витікає $A_k = 0,25 M l^2 \dot{\varepsilon}_D^2$, де M – маса рухомих частин, l – довжина зони течії. Для базових значень параметрів моделі [1] розрахунок дає $A_{k1} = 9,8 \cdot 10^{-2}$ Дж, $A_{k2} = 3,1 \cdot 10^{-3}$ Дж, $A_{k1} / \Delta W_{D1} = 0,024$,

$A_{k_2} / \Delta W_{D_2} = 0,012$ відповідно для сталі і алюмінієвого сплаву, тобто ними можна знехтувати. Це пояснюється надто малим переміщенням системи зразок-машина, яке дорівнює видовженню зразка $l\varepsilon_D$.

Таким чином, практично весь запас пружної енергії системи переходить в роботу стрибкоподібної пластичної деформації A_p . Значна частина останньої, у свою чергу, перетворюється в теплову енергію A_T . Його величини складають 185 К – для сталі, і 61,5 К – для алюмінієвого сплаву [1]. Дослідження енергетики процесу стрибка деформації показало, що переважна частина потенційної пружної енергії системи перетворюється в роботу деформації, що переходить, у певній мірі, в теплову енергію, а частка енергії новоутвореної поверхні і кінетичної енергії – мала.

Література

1. Воробьёв, Е.В. Моделирование процесса низкотемпературной скачкообразной деформации металлов / Е.В. Воробьёв, Т.В. Анпилогова // Проблемы прочности. – 2011. – № 1. – С. 109–121.
2. Vorob'ev, E.V. Numerical analysis of the deformation instability of metals in liquid helium / E.V. Vorob'ev, T.V. Anpilogova // Comp. Mater. Science. – 2013. – Vol. 68. – P. 66–72.

*Глембоцька Л.Є, Балицька Н.О. Державний університет
«Житомирська політехніка», Житомир, Україна*

ВПЛИВ ФОРМИ НОЖІВ ТОРЦЕВОЇ ФРЕЗИ НА ТАНГЕНЦІАЛЬНУ СКЛАДОВУ СИЛИ РІЗАННЯ

Як відомо, форма робочих поверхонь різальних інструментів принципово змінює умови пластичного деформування оброблюваного матеріалу у зоні різання, наслідком чого є зміна силових показників процесу обробки.

З використанням фізичного моделювання виконано дослідження процесу торцевого фрезерування інструментами, оснащеними ножами різної форми – з плоскою передньою і циліндричною задньою поверхнями, з циліндричною передньою і плоскою задньою поверхнями та отримані наступні регресійні моделі впливу умов різання на величину тангенціальної складової сили різання:

– фреза з ножом першого типу:

$$P_z = 1791 \cdot \frac{v^{0,02} \cdot t^{0,1} \cdot (st)^{0,08} (vt)^{0,02} (sv)^{0,005}}{s^{0,02} \cdot (svt)^{0,014}} ;$$

– фреза з ножом другого типу:

$$P_z = 818,5 \cdot \frac{s^{0,035} \cdot v^{0,012} \cdot t^{0,056}}{(sv)^{0,008}} .$$

Дослідження показують, що найбільше значення вільного члена характерне для інструменту з ножами з плоскою передньою та циліндричною задньою поверхнями. Це може бути пояснене сходженням елементарних потоків стружки на плоскій передній поверхні інструменту, що породжує зусилля стискання вздовж різальної кромки ножа. Менше значення вільного члена характерно для інструменту з ножами з циліндричною передньою поверхнею, що може бути пояснене розходженням елементарних потоків стружки при одночасній дії головної і допоміжної різальних кромки, що обумовлює зусилля розтягу вздовж різальної кромки. Тангенціальна складова сили різання при обробленні фрезою з ножом першого типу при збільшенні подачі зростає, а з ножом другого типу – зменшується. Збільшення швидкості різання призводить до зменшення сили різання при обробленні інструментом з ножом з плоскою передньою та циліндричною задньою поверхнями, а при обробленні фрезою з ножом з циліндричною передньою та плоскою задньою поверхнями швидкість не впливає на силу різання. Збільшення глибини різання при обробленні фрезою з ножом першого типу призводить до збільшення сили різання.

Таким чином, моделювання свідчить про те, що для випадку оброблення фрезою з ножом з плоскою передньою поверхнею характерні більші сили різання, ніж для інструментів, оснащених ножами з опуклою передньою поверхнею, що є підтвердженням робіт інших дослідників [1–5] щодо негативного впливу підвищеної величини гідростатичного тиску на передні поверхні ножів інструменту на величину сили різання.

Аналіз отриманих результатів для умов оброблення з високою продуктивністю (при високих значеннях режимів різання, наприклад, $S = 31,5$ мм/хв., $v = 70$ м/хв., $t = 2,5$ мм), значення тангенціальної складової сили різання при обробленні фрезою з ножом з циліндричною передньою та плоскою задньою поверхнями в 3 рази менше, ніж при обробленні інструментом з ножом з плоскою передньою та циліндричною задньою поверхнями. Це обумовлено мі-

німізацією пластичної деформації в зоні різання, зменшенням площі дотику стружки з передньою поверхнею ножа та зниженням величин сил внутрішнього та зовнішнього тертя у контактній зоні на передньої поверхні інструменту.

Таким чином, на основі результатів моделювання встановлена доцільність використання ножів з циліндричною передньою і плоскою задньою поверхнями в конструкціях торцевих фрез.

Література

1. Железнов, Г.С. Определение угла сдвига при резании металлов / Г.С. Железнов // Известия Вузов. Машиностроение. – 1998. – № 4–6. – С. 105–108.
2. Жуков, Ю.Н. Механизм и схема процесса стружкообразования при несвободном резании материала / Ю.Н. Жуков // Известия Вузов. Машиностроение. – 1985. – № 9. – С. 138–141.
3. Матвиенко, Ю.Г. Модели и критерии механики разрушения. / Ю.Г. Матвиенко. – М. : Физматлит, 2006. – 328 с.
4. Stupnytskyu, V. Mathematical model of destruction kinetics dislocations in cutting plastoelastic workpiece material / V.Stupnytskyu // Вісник Національного університету «Львівська політехніка» «Динаміка, міцність та проектування машин і приладів». – 2013. – № 759. – С. 119–126.
5. Oxley, P.L. Mechanics of machining: An analytical approach to assessing machinability / P.L. Oxley.– Ellis Horwood Limited, 1989.–242с.

Глембоцька Л.Є, Балицька Н.О. Державний університет «Житомирська політехніка», Житомир, Україна

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ФОРМИ ПЕРЕДНЬОЇ ПОВЕРХНІ НОЖІВ ТОРЦЕВОЇ ФРЕЗИ НА СИЛОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕСУ ОБРОБЛЕННЯ

Комп'ютерне моделювання процесу торцевого фрезерування дозволяє визначити силові навантаження при обробленні плоских поверхонь деталей інструментами, оснащеними ножами різної форми – з плоскою та циліндричною передньою поверхнями. Це дозволяє проаналізувати вплив форми передньої поверхні ножів торцевої фрези на рівень ударного навантаження на ніж при вході у за-

готовку при однакових умовах обробки. Визначення цієї характеристики експериментальним методом виявляється досить складним через інерційність самого процесу різання.

Комп'ютерне моделювання проведене з використанням програмного комплексу Deform 3D способом неявного інтегрування рівнянь руху. Стандартні алгоритми були адаптовані під вихідні умови, завданням відповідних моделей оброблюваного матеріалу та граничних умов. При дослідженнях враховувався вплив температури на густину ρ , питому теплоємність C_V та теплопровідність λ матеріалів. Критерій в'язкого руйнування за умовою накопичення пошкоджень описується рівнянням $\bar{\varepsilon}_f^p = D_0 e^k$, де константа D_0 матеріалу відображає вплив напруженого стану на граничні пластичні деформації до руйнування.

Механічна поведінка оброблюваного матеріалу описувалася рівнянням у формі Джонсона-Кука. Коефіцієнти визначального рівняння, рівняння пластичності, пружних та теплофізичних констант при нормальній температурі для сталі 38ХС: $E = 212$ ГПа, $\mu = 0,3$, $A = 1200$ МПа, $B = 891$ МПа, $n = 0,2$, $C = 0,02$, $m = 0,64$, $T_{nl} = 1527$, $D_0 = 1$, $k = 0$, $C_p = 0,361$ кДж/(кг°С)

З повної заготовки «вирізався» сектор 90° , обмежений поверхнею різання та циліндром, так щоб відстань від поверхні різання до циліндричної обмежувальної поверхні становила 3–5 величин подачі. Ця умова мінімізувала вплив граничних умов на результати розрахунку форми стружки та сил різання. Граничні умови моделі передбачали жорстке закріплення заготовки з 3-ма ступенями вільності у вузлах, розташованих на поверхнях «розрізання» заготовки.

Інструмент розглядався абсолютно жорстким, різальна кромка вважалася абсолютно гострою.

Скінчено-елементна сітка заготовки була сформована тетраедричними елементами другого порядку. Характерний розмір елементів був нерівномірний за об'ємом заготовки і у області стружкоутворення обирався таким, щоб за товщиною стружки було не менше трьох елементів. Скінчено-елементна сітка періодично перебудовувалася для зменшення викривлення елементів при деформуванні.

Розглядався випадок оброблення сталі 38ХС торцевої фрезою ($D = 200$ мм, $z = 12$), оснащеною ножами з твердого сплаву ВК8. Умови оброблення: глибина різання $t = 1$ мм, ширина обробленої поверхні $B = 80$, зміщення осі фрези відносно осі симетрії заготовки $\varepsilon = 10$ мм. Результаті моделювання наведено на рис. 1, 2.

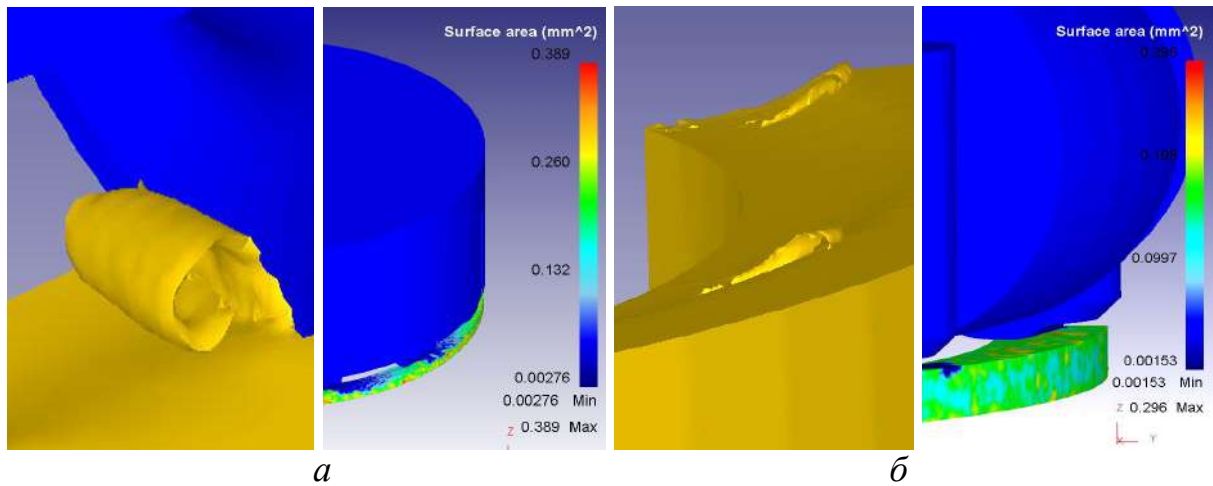


Рис. 1 – Напружений стан зони оброблення: *а* – фреза з ножем з плоскою передньою поверхнею; *б* – фреза з ножем з циліндричною передньою поверхнею

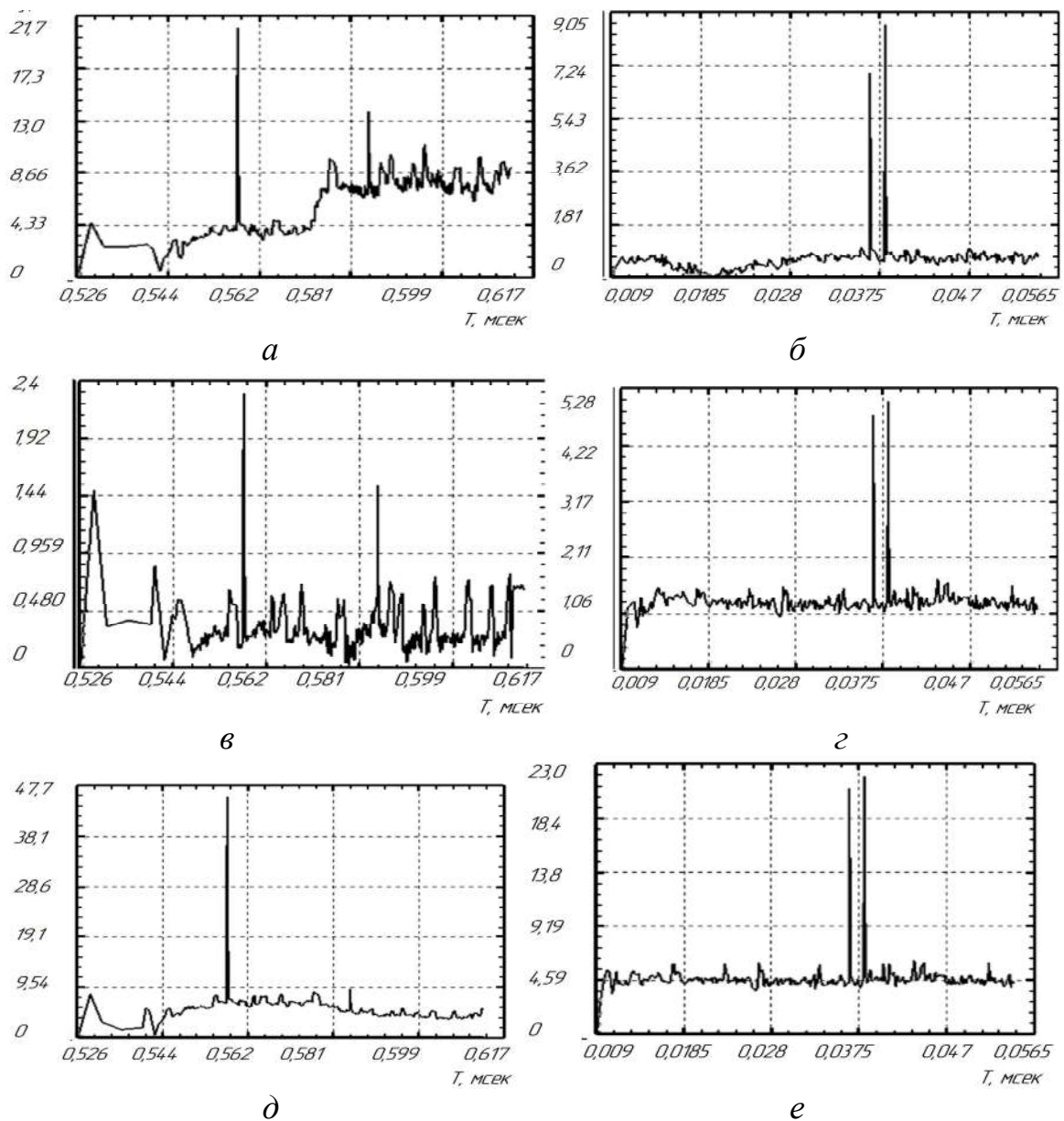


Рис. 2 – Сили різання (*а, б* – P_x ; *в, г* – P_y ; *д, е* – P_z) при обробленні:
а, в, д – фреза з ножем з плоскою передньою поверхнею;
б, г, е – фреза з ножем з циліндричною передньою поверхнею

Як видно з отриманих результатів, при використанні ножів з циліндричною передньою поверхнею стружка сходить у напрямку зростання кута нахилу різальної кромки. Максимальна площа контакту стружки з передньою поверхнею інструменту у цьому випадку на 31,42% менше, ніж при використанні фрези з плоскою передньою поверхнею.

Оброблення торцевої фрезою з ножами з циліндричною передньою поверхнею при ударі на вході в заготовку характеризується зменшенням складових сили різання P_x та P_z в 2,4 та 2,1 рази відповідно, при цьому сила P_y збільшується в 2,2 рази. Разом з тим, використання ножів з циліндричною передньою поверхнею обумовлює зменшення середніх значень складової сили різання P_z у 2 рази та збільшення в 1,8 рази складової P_y .

Таким чином, використання в торцевих фрезах ножів з циліндричною передньою поверхнею, призводить до зменшення площі контакту стружки з передньою поверхнею ножа та покращення умов стружковідведення, в результаті чого, забезпечується зменшення динамічного силового навантаження на ножі, як в момент врізання в заготовку, так і під час стаціонарного різання.

*Гуцин К.В., Зяхор І.В., Самоотрясов С.М.,
Завертанний М.С., Наконечний А.О. Інститут
електрозварювання ім. Є.О. Патона
НАН України, Київ, Україна*

ВПЛИВ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ З'ЄДНАНЬ АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ 6061-T6, ВИКОНАНИХ КОНТАКТНИМ СТИКОВИМ ЗВАРЮВАННЯМ ОПЛАВЛЕННЯМ

У конструкціях виробів космічної та авіаційної техніки, використовуються термічнозмцнені алюмінієві сплави різних систем легування, які під впливом термічного циклу зварювання втрачають свою міцність, що обумовлює необхідність проведення післязварювальної термічної обробки (ТО). Проведення повного циклу ТО (гартування + старіння) великогабаритних виробів ускладнено технічною можливістю підприємств. Тому актуальним є дослідження ефективності застосування низькотемпературної ТО (старіння).

Мета роботи – дослідження впливу післязварювальної ТО на мікроструктуру та механічні властивості з'єднань високоміцного термічнозмцненого алюмінієвого сплаву 6061 (система Al-Mg-Si), отриманих контактним стиковим зварюванням оплавленням (КСЗО).

Дослідження проводили на зразках перерізом 60×15 мм із сплаву 6061 у стані Т6 (гартування при температурі 525°C , витримка 2,5 год.; старіння при 175°C , витримка 9 год.). Експерименти проводили на лабораторній машині К607 з максимальним зусиллям осадки 1000 кН. Процес КСЗО включав в себе кілька стадій: попередній підігрів опором, оплавлення, осадку. Деформація при осадці відбувається в умовах об'ємного стиснення за рахунок застосування формуючих пристроїв.

Параметри процесу КСЗО встановлювали в межах: попередній підігрів опором тривалістю 20 с при напрузі $U_{\text{підігрів}} = 3$ В, напруга оплавлення $U_{\text{опл}} = 5\text{--}6$ В, швидкість оплавлення $V_{\text{опл}} = 2\text{--}20$ мм/с, швидкість осадки $V_{\text{ос}} \geq 200$ мм/с. Загальний припуск на оплавлення і осадку складав до $l_{\text{зв}} = 60$ мм. Після КСЗО проводили термічну обробку з'єднань за режимами:

- низькотемпературна термічна обробка (НТО), яка включає штучне старіння ($T = 175^\circ\text{C}$, витримка 9 год.);
- повна термічна обробка (ПТО) (загартування $T = 525^\circ\text{C}$, витримка 2,5 год. + штучне старіння $T = 175^\circ\text{C}$, витримка 9 год.).

Результати дослідження мікроструктури основного металу і зварного з'єднання після НТО наведено на рис. 1. Аналіз структури показує, що в зварному з'єднанні відсутні дефекти типу оксидних плівок, розшарувань, великих евтектичних утворень та інших несприятливих структур. Структура шва відрізняється тонкими витягнутими зернами твердого розчину і високою щільністю дисперсних включень вторинних фаз. Результати механічних випробувань на розтяг основного металу (ОМ) сплаву 6061-Т6 та зварних з'єднань (ЗЗ) після КСЗО та ТО наведено в табл. 1.

При механічних випробуваннях на розрив зразків після КСЗО + НТО руйнування відбувалось у зоні термомеханічного впливу (ЗТМВ). При цьому межа міцності складає 74–75% від рівня ОМ сплаву 6061-Т6. Встановлено, що проведення НТО після КСЗО дозволяє підвищити межу плинності ЗЗ на 28%. Встановлено, що повторне старіння ЗЗ призводить до зниження показників міцності ОМ сплаву 6061. Проведення ПТО з'єднань дозволяє підвищити показники механічних властивостей ЗЗ до рівня ОМ сплаву 6061-

Т6, що підтверджується їх руйнуванням при механічних випробуваннях за межами зони з'єднання і ЗТМВ.

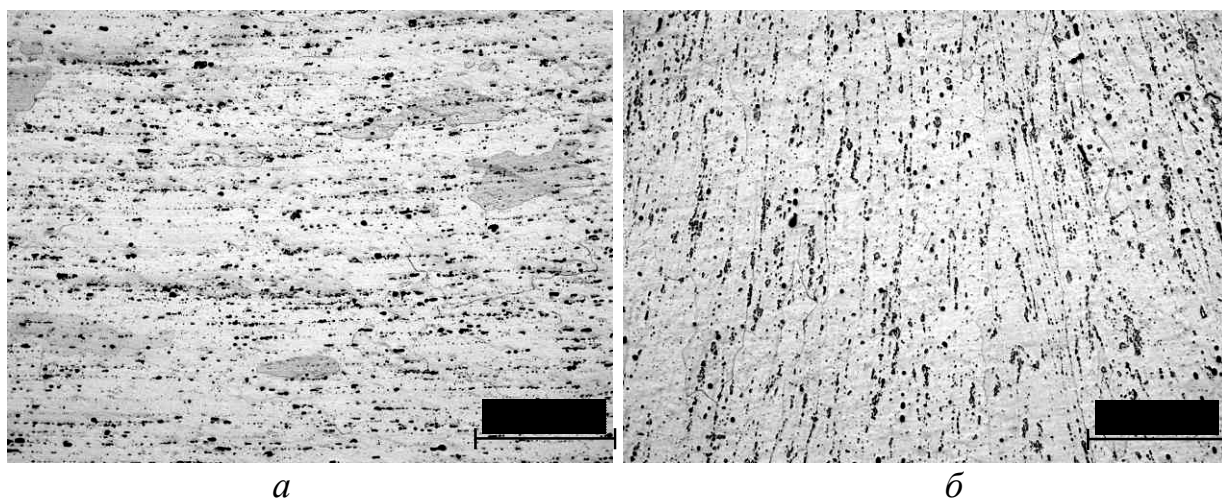


Рис. 1 – Мікроструктура основного металу (а) та зварного з'єднання (б) сплаву 6061-Т6

Таблиця 1 – Результати механічних випробувань на розрив зварних зразків та основного металу сплаву 6061-Т6

Зразок	Межа плинності $\sigma_{0,2}$, МПа	Межа міцності σ_B , МПа	Відносне подовження δ , %	Відносне звуження Ψ , %	Коефіцієнт міцності ЗЗ/ОМ
ОМ	285	340	16,6	40,0	—
ЗЗ	163	251	9,5	39,7	0,74
ЗЗ + НТО	208	256	8,3	41,2	0,75
ЗЗ + ПТО	290	339	12,7	44,2	1,0

Висновки

1. Встановлено, що проведення низькотемпературної термічної обробки (старіння) зварних з'єднань сплаву 6061, виконаних контактним стиковим зварюванням оплавленням, дозволяє підвищити конструкційну міцність, яка розраховується по межі плинності $\sigma_{0,2}$, на 28%.

2. Повна термічна обробка (гартування + старіння) дозволяє відновити показники міцності та пластичності зварних з'єднань до рівня основного металу сплаву 6061 у стані Т6.

ВИКОРИСТАННЯ ОБ'ЄКТІВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ В СТАНДАРТАХ ITU-T/ITU-R/ISO/IEC

Стандарти можуть бути джерелом інформації для інноваційних процесів разом з іншими інформаційними джерелами, такими як: бази даних, наукові публікації, об'єкти інтелектуальної власності, які у сукупності створюють необхідний інформаційний простір для інноваційної діяльності, та сприяють більш дифузному розповсюдженню інновацій.

Компанії отримують права на об'єкти інтелектуальної власності (ОІВ) на свої винаходи, знання й технічні ноу-хау та разом з іншими компаніями використовують свої знання для створення нових ОІВ у спільному середовищі. Якщо стандартизувати отриману технологію, то стандартизована технологія буде мати більш системний характер та зазвичай буде відповідати сучасному світовому рівню.

Компанії можуть надавати іншим доступ до свого інтелектуального пулу (краудсорсінг) та отримувати економічні вигоди. До таких економічних вигод відносяться наступні платежі [1]: ліцензійний платіж – плата за надання права на використання ОІВ, що є предметом ліцензійного договору; паушальний платіж – одноразовий платіж, який становить фіксовану суму і не залежить від обсягів виробництва (продажу) продукції (товарів, робіт, послуг) з використанням ОІВ; роялті – ліцензійний платіж у вигляді сум, які сплачуються періодично, залежно від обсягів виробництва або реалізації продукції (товарів, робіт, послуг) з використанням об'єкта права інтелектуальної власності.

Згідно з Керівництвом по реалізації загальної патентної політики для ITU-T/ITU-R/ISO/IEC [2] під час розробки міжнародного стандарту міжнародної організації розробникам стандарту якомога раніше треба звернути свою увагу на будь-який відомий патент або заявку на патент, власної або іншої організації, які будуть потрібні для реалізації конкретного положення стандарту та є суттєвими для його виконання. Під патентом вважається об'єм прав, яким володіє Патентовласник відповідно до формули, визначеною патентами, корисними моделями тощо, включаючи заявки на них. Патентовласником може бути особа або організація, яка володіє патентом, контролює та/або має можливість надати ліцензії на ці патенти. На-

давая дозвіл на використання власних патентів, власники патентів повинні підписати ліцензійну угоду, яка містить умови стосовно чинного законодавства щодо сфери використання, гарантій тощо.

Власник патенту може надавати безоплатню ліцензію для необмеженої кількості заявників на території всього світу на недискримінаційній основі та на інших розумних умовах для можливості використання патенту.

Також патентовласник може вести переговори стосовно ліцензії з іншими сторонами щодо передачі зацікавленим сторонам ліцензій на використання патенту на розумних умовах. Такі переговори залишаються на розсуд зацікавлених сторін і виконуються за межами ITU-T/ITU-R/ISO/IEC.

У разі, якщо патентовласник не бажає надавати ліцензій, то стандарт не повинен включати положення цього патенту. У цьому випадку в ITU (у разі бажання ISO та IEC) надається наступна інформація:

- номер наведеного патенту або номер патентної заявки (якщо знаходиться на розгляді);
- вказівку на те, які частини вищевказаного документа використовуються;
- опис патентів, що охоплюють вищезазначений документ.

Якщо патентні права були виявлені під час розробки стандарту, інформація про них має бути наведена у вступі.

До того ж необхідно використати у стандартах чіткі позначення чи опис продукту, який має бути наводиться замість торгової назви або торгової марки [3]. Запатентовані торгові назви або торгові марки для конкретного продукту, наскільки це можливо треба уникати, навіть якщо вони використовуються спільно. Наприклад, замість «тефлон» треба привести назву матеріалу «політетрафторетилен (PTFE)». Якщо не можна уникнути торгових назв або торгових марок, їх слід зазначити відповідним символом, наприклад, ® – для зареєстрованої торгової марки, а саме «тефлон ®».

Якщо відомо, що на цей час доступний лише один продукт, який підходить для успішного застосування стандарту, торгова назва або торгова марка продукту можуть бути вказані в тексті стандарту, але має бути додане пояснення, що можна використовувати еквівалентні продукти, якщо вони можуть призвести до тих же результатів або примітку, що ця інформація наведена для зручності користувачів цього документа і не є обов'язковою.

Література

1. Національний стандарт № 4 «Оцінка майнових прав інтелектуальної власності», затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 3 жовтня 2007 р. № 1185.
2. Directives, Part 1 Consolidated ISO Supplement – Procedures specific to ISO, Ed.16:2020.
3. ISO/IEC Directives, Part 2 Principles and rules, Ed.7:2016.

*Домуладжанов И.Х., Домуладжанова Ш.И.,
Латинова М.И. Ферганский политехнический
институт, Фергана, Узбекистан*

РАСЧЕТ ВЫБРОСОВ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ МАТЕРИАЛОВ

Характерной особенностью процессов механической обработки материалов является выделение твердых частиц (пыли), а при обработке материалов с применением смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) – дополнительно выделение аэрозоля СОЖ. В качестве СОЖ рекомендуются нефтяные минеральные масла и различные эмульсии, которые уменьшают выделение пыли на 85–90%.

При обработке металлов и сплавов наилучшим вариантом, который используется для дальнейших расчетов и установления нормативов загрязнения атмосферы, считается тот, когда химический состав пыли идентифицируется как оксиды соответствующих металлов [1–9].

При работе заточных и шлифовальных станков наряду с пылью металлической, имеющей состав обрабатываемого материала или, в худшем случае, оксидов обрабатываемого металла, также выделяется пыль абразивная, по составу аналогичная материалу шлифовального (заточного) круга.

1. Максимально разовое выделение (г/с) загрязняющего вещества (пыли) от группы из t штук одновременно работающих станков определяется по формуле:

$$G = \sum_{i=1}^m g_i \times k_i^{\text{СОЖ}} \times 3600,$$

где g_i – удельное выделение загрязняющих веществ при работе на i -м станке, г/ч; $k_i^{COЖ}$ – коэффициент, учитывающий применение (0,15) или отсутствие (1) СОЖ на i -м станке.

2. Валовое выделение (т/год) загрязняющего вещества (пыли) от группы из m штук станков:

$$M = \sum_{i=1}^m g_i \times k_i^{COЖ} \times T_i \times 10^{-6} = \sum_{i=1}^m g_i \times k_i^{COЖ} \times t_i \times N_i \times 10^{-6},$$

где T_i – суммарное время работы на i -м станке за год, ч/год; N_i – количество дней работы на i -м станке за год; t_i – время работы на i -м станке за день, ч.

3. Максимально разовое выделение (г/с) аэрозоля СОЖ от группы из m штук одновременно работающих станков

$$G_{COЖ} = \sum_{i=1}^m g_i^{COЖ} \times W_i^* \times 3600,$$

где $g_i^{COЖ}$ – удельное выделение аэрозоля СОЖ при работе на i -м станке, г/кВт·ч; W_i^* – мощность электродвигателя i -го станка, кВт.

4. Валовое выделение (в т/год) аэрозоля СОЖ от группы из m штук станков определяется по формуле:

$$M = \sum_{i=1}^m g_i \times W_i^* \times T_i \times 10^{-6} = \sum_{i=1}^m g_i \times W_i^* \times t_i \times N_i \times 10^{-6},$$

где T_i – суммарное время работы на i -м станке за год, ч/год; t_i – время работы на i -м станке за день, ч; N_i – количество дней работы i -го станка за год.

5. В случаях, когда в справочных изданиях приводятся удельные нормативы выделения загрязняющих веществ, отнесенные к единице массы перерабатываемого материала, расчет удельного выделения, отнесенного к единице времени (в г/с), проводится по формуле:

$$G = g^* \times p / (T_{\text{пер}} \times 3600),$$

где g^* – удельное выделение загрязняющих веществ, г/кг; p – количество перерабатываемого материала за цикл, кг/цикл; $T_{\text{пер}}$ – длительность цикла переработки материала, ч/цикл.

Выбросы вредных веществ от сварочных работ.

Количество вредных веществ, выделяющихся от электросварки металлов, определяется по формуле: $M = 0,001 \times Q \times B$ т/год, где: Q – удельный выброс вредного вещества при сжигании 1 т электродов, кг/т, B – расход электродов т/год. Для газовой сварки металлов используются ацетилен, получаемый из карбида кальция, при сгорании ацетилена в атмосферу выделяется окислы азота. Из 1 кг кар-

бида кальция выделяется 0,009 кг окислов азота в пересчете на NO₂. Количество окислов азота, выбрасываемых в атмосферу за год, определяется по формуле: $M_{\text{NO}_2} = 9 \cdot 10^{-6} \times B$, т/год, где B – расход карбида на газовую сварку, кг/год. Приведем примеры.

Источник № 1 – неорганизованные выбросы сварочная пыль (окислы железа) и соединения марганца от сварочных работ.

Параметры: $d = 1$ м, $t = 35$ °С, $h = 2$ м, $w = 1,5$ м/с, $B = 711$ мм.рт.ст. Расход электродов в год составляет 3100 кг/год. Выбрасывается сварочная пыль и марганец.

Неорганизованные выбросы от сварочного поста, время работы $265 \cdot 8 = 2120$ ч/год.

$$D_{\text{эф}} = (2 \cdot 1 \cdot 1) / (1 + 1) = 1,0 \text{ м},$$

$$V = (3,14 \cdot 1^2 / 4) \cdot 1,5 = 1,1775 \text{ м}^3/\text{с},$$

а) выбросы марганца:

Для АНО-3 – $Q = 0,9$, для АНО-4 – $Q = 0,6$ кг/т. Среднее – $Q = 0,75$ кг/т.

$$M = 0,001 \cdot Q \cdot B, \text{ т/год.}$$

$$M = 0,001 \cdot 3,1 \cdot 0,9 = 0,0006 = 0,00279 \text{ т/г}$$

$$M = 0,00279 / (2120 \cdot 3,6 \cdot 10^{-3}) = 0,00279 / 7,632 = 0,00037 \text{ г/с}$$

$$Q = (0,00037 / 1,1775) \cdot 10^3 = 0,3142 \text{ мг/м}^3.$$

Для АНО-3 $Q = 6$, для АНО-4 – $Q = 8$ кг/т. Среднее – $Q = 7$ кг/т.

б) выбросы сварочный пыли (окислы железа):

$$M = 0,001 \cdot 3,1 \cdot 7 = 0,0217 \text{ т/г},$$

$$M = 0,0217 / 2120 \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} = 0,0217 / 7,632 = 0,00284 \text{ г/с},$$

$$Q = (0,00284 / 1,1775) \cdot 10^3 = 3,3441 \text{ мг/м}^3.$$

Источник № 2 – неорганизованные выбросы аэрозоля эмульсола при смазке металлоформ эмульсолом.

Параметры: $d = 1$ м, $t = 35$ °С, $h = 2$ м, $w = 1,5$ м/с, $B = 711$ мм.рт.ст. Расход эмульсола в год составляет 400 кг/год. Выбрасывается аэрозоль эмульсола.

Неорганизованные выбросы от металлоформ, время работы $265 \cdot 8 = 2120$ часов/год.

При смазке металлоформ эмульсолом в атмосферу выбрасывается 0,0001 г/с аэрозоля эмульсола. Следовательно выбросов составляет – 0,0004 т/год

$$M_{\text{а.э}} = q \times n \times B \times (1 - K_1/100),$$

где q – удельные выбросы при непрерывной работе 1 станка, г/с, n – количество станков – 1, K_1 – коэффициент эффективности пылеулавливающей установки.

Для круга диаметром 150 мм, удельные выбросы: для аэрозоли эмульсола – $q_{a.э} = 0,005$ г/с.

$$M_{a.э} = 0,005 \cdot 1 \cdot 0,4 \cdot (1 - K_1/100) = 0,005 \cdot 1 \cdot 1 = 0,002 \text{ г/с},$$

$$M_{a.э} = 0,002 \cdot 2120 \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} = 0,0153 \text{ т/год},$$

$$Q = (0,002/1,1775) \cdot 10^3 = 1,6985 \text{ мг/м}^3.$$

Источник № 3 – труба вентиляционная. Выбросы от аппарата электросварки, используется электрод АНО–3 в количестве 200 кг/год.

Выбрасываются – марганец и сварочная пыль (аэрозоль).

Параметры источника: $D = 0,4$ м, $V = 3000$ м³/час = $0,833$ м³/с, $t = 36$ °С, $H = 11$ м, время работы $265 \cdot 1,5 = 397$ час/год.

$$W = 4 \cdot V/\pi D^2 = 4 \cdot 0,833/3,14 \cdot 0,4^2 = 6,632 \text{ м/с},$$

$$M_{т/г} = B_{э} \cdot P \cdot 10^{-3},$$

$B_{э}$ – масса электродов за год. $B = 0,2$ т/год, P – удельные выделенные вредных веществ – $1,8$ кг/т.

Выбросы марганца.

$$M = 0,2 \cdot 1,8 \cdot 10^{-3} = 0,00036 \text{ т/год},$$

$$M = 0,00036/397 \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} = 0,00025 \text{ г/с}.$$

Концентрация марганец

$$C = (0,00025/0,835) \cdot 10^3 = 0,299 \text{ г/м}^3.$$

Выбросы сварочной аэрозоли

P – удельные выделенные вредных веществ: $14 - 1,8 = 12,2$ кг/т.

$$M = 0,200 \cdot 12,2 \cdot 10^{-3} = 0,0024 \text{ т/год},$$

$$M = 0,0024/397 \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} = 0,0017 \text{ г/с}.$$

Концентрация сварочной аэрозоли

$$C = (0,0017/0,833) \cdot 10^3 = 0,0020 \text{ г/м}^3.$$

Таблица 1 – Перечень вредных веществ, поступающих атмосфере от объекта

№ источника	Наименование ингредиента	ПДК максим. разовая, мг/м ³	Класс опасности	Мощность выбросов, г/с	Мощность выбросов, т/год
1	Марганец и его соединения	0,001	2	0,00037	0,00279
1	Сварочная пыль-аэрозоль	0,200	3	0,00284	0,02170
2	Эмулсол	0,050	3	0,00200	0,01530
3	Марганец и его соединения	0,001	2	0,00025	0,00036
3	Сварочная пыль-аэрозоль	0,200	3	0,00170	0,00240
Всего:				0,00716	0,04255

Из расчетов видно, что данная методика дает объективные расчетные данные. Следовательно, их можно использовать во всех расчетах при выявлении объемов вредных веществ по все ингредиентам.

Литература

1. Метод. указания по определению инвентаризации источников выбросов вредных веществ в атмосферу на предприятиях Министерства местной промышленности Узбекистана. – Ташкент : НПО Узместпром, 1985. – 85 с.

2. Сб. методик по определению концентрации загрязняющих веществ в промышленных выбросах. – Л. : Гидрометеиздат, 1987. – 270 с.

3. Домуладжанов, И.Х. Состав и состояние грунтов / И.Х. Домуладжанов, И.Г. Мамиров, И. Жалолов И.А. // Инженерия поверхности и реновация изделий : мат. 15-й Международ. науч.-техн. конф., пгт. Затока, 01–05 июня 2015 г. – К. : АТМ. Украины, 2015. – С. 106–109.

4. Домуладжанов, И.Х. Экономический ущерб от загрязнения окружающей среды / И.Х. Домуладжанов, М.И. Латипова // Качество, стандартизация, контроль: теория и практика : мат. 17-й Международ. науч.-практ. конф., г. Одесса, 04–08 сентября 2017 г. – К. : АТМ Украины, 2017. – С. 77–84.

5. Домуладжанов, И.Х. Воздействие на окружающую среду автозаправочной станции / И.Х. Домуладжанов, Ю.М. Холмирзаев, Ш.И. Домуладжанова // Universum: технические науки – 2020. – № 4(73). – С.1–4.

6. Домуладжанов, И.Х. Выбор места строительства промышленного объекта с учетом климатических условий города Куваса / И.Х. Домуладжанов, С.Ю. Махмудов, Ш.И. Домуладжанова // Universum: технические науки. – 2020. – № 4(73). – № 6. – С.15–17.

7. Домуладжанов, И.Х. Текстильный комплекс «ДЭУ Текстайл Компани» и его воздействие на окружающую среду Куштепинского района / И.Х. Домуладжанов, Ш.И. Домуладжанова, М.И. Латипова, Ю.М. Холмирзаев // Universum: технические науки. – 2020. – № 7(76), ч. 1. – С. 30–33.

8. Домуладжанов, И.Х. Заявление об экологических последствиях автозаправочной станции / И.Х. Домуладжанов, Ш.И. Домуладжанова, М.И. Латипова, М.М. Турдалиева // Universum: технические науки. – № 7(76), ч. 1. – С. 29–30.

9. Домуладжанов, И.Х. Загрязнение атмосферы от выбросов ООО «А-Сервис» / И.Х. Домуладжанов, А.М. Тешабоев, Ш.И. Домуладжанова, М.И. Латипова / Universum: технические науки. – 2020. – №7(76), ч. 1. – С. 6–9.

*Ільницька Г.Д., Олійник Н.О., Лавріненко В.І.,
Лисаковський В.В., Зайцева І.М., Соколов О.М.,
Базалій Г.А., Тимошенко В.В.* Інститут надтвердих
матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ, Україна

ПОЛІПШЕННЯ ЯКОСТІ ШЛІФПОРОШКІВ СИНТЕТИЧНИХ АЛМАЗІВ

У машинобудуванні широко використовують абразивні інструменти з алмазовмісними вставками. Працездатність будь-якого алмазовмісного інструменту значною мірою визначається властивостями алмазів, які обумовлюються технологіями синтезу, вилучення, обробки, класифікації за розмірами і формою, сортування за фізико-хімічними властивостями, модифікування поверхні. Порошки алмазу являють собою сукупність зерен та розрізняються за основними технологічними характеристиками якості. Величини характеристик порошку, наприклад, міцність, термостійкість, шорсткість поверхні, ізометричність є усередненою величиною по всьому об'єму порошку. Тому для отримання однорідних за міцністю і геометричними характеристиками порошків алмазу необхідно покращувати їх фізико-механічні та фізико-хімічні властивості шляхом розробки методів впливу на об'ємні дефекти зерен за допомогою дії силових полів (гравітаційних, магнітних, електричних), хімічної і термохімічної обробок.

При синтезі алмазу утворюються кристали з розвиненою поверхнею з атомно-гладкими і шорсткими ділянками. На поверхні кристалів присутні елементи скелетного росту, сліди ямок травлення. Поряд із досконалими кристалами присутні зростки, друзи наростання і перекристалізації. Об'ємна дефектність кристалів представляє піраміди і двійники росту.

Для досягнення високої ефективності процесу розподілу порошків алмазу у силових полях необхідно створення набутих властивостей. Відомо, що закріплення феромагнітних або електропровідних частинок відбувається на дефектних ділянках поверхні алмазу. Тому очищення поверхні від домішок та функціональних груп, збільшення площі поверхні повинно привести до підвищення селективності закріплення частинок та підвищення ефективності розподілу порошку у силових полях.

Метою роботи є дослідження впливу підготовки поверхні порошку алмазу із застосуванням ультразвукової обробки на ефективність його розподілу у силових полях.

Дослідження проводили на порошку алмазу марки АС15 зернистості 200/160. Проводили обробку порошку ультразвуковими хвилями з частотою 22 кГц при сумарній енергії 300 кДж/л виділеної у одиниці об'єму середовища при співвідношенні маси порошку алмазу до середовища 1:15, з подальшим нанесенням електропровідних або феромагнітних частинок розміром менше за 1000 нм в процесі їх перемішування впродовж 10 хв. з порошком алмазу у рідині температурою 50 °С при концентрації частинок 3,0 мас.%. В подальшому порошок висувували та розділяли на групи в магнітному або електричному полі різної напруженості, проводили хімічне очищення класичним методом.

Отримані в результаті розподілення групи порошку алмазу досліджували та визначали: вихід (вміст порошку даної групи в загальній кількості порошку, який розділяли, мас.‰); дефектність поверхні у вигляді коефіцієнта поверхневої активності (K_a , %) за методикою М88 України 90.258-2004 «Методика визначення коефіцієнта поверхневої активності»; міцність порошку (P , Н) – за методикою ДСТУ 9206-80; однорідність алмазів за міцністю ($K_{\text{одн.міц.}}$, %) – за методикою М 28.5-271:2008. Результати експериментів зведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати адгезійно-магнітного сортування порошку алмазу марки АС15 зернистості 200/160

Найменування груп розподілу порошку алмазу	Вихід, %	K_a , %	P , Н	$K_{\text{одн.міц.}}$, %	Марка за ДСТУ 3292-95
1	7,9	0,57	51,5	65	АС50
2	26,5	0,72	25,4	59	АС20
3	41,8	1,15	15,6	58	АС15
4	23,8	2,38	10,5	47	АС6
Вихідний	100,0		19,8	34	АС15

За результатами досліджень встановлено, що в результаті розподілу порошку алмазу марки АС15 зернистості 200/160 за дефектністю поверхні було отримано порошки чотирьох груп, які суттєво відрізняються за значеннями дефектності поверхні, міцності, однорідності порошку за міцністю ($K_{\text{одн.міц.}}$, %). Перша і четверта групи розподілу відрізняються між собою у 4,2 рази за коефіцієнтом поверхневої активності, що забезпечує виділення з вихідного порошку алмазу марки

АС15 порошку алмазу марки АС50 з підвищеною однорідністю за міцністю майже у два рази в порівнянні з вихідним порошком.

Таким чином, удосконалення технології сортування порошку алмазу, за рахунок підготовки поверхні порошку із застосуванням ультразвукової обробки суттєво впливає на ефективність його розподілу у силових полях.

Ільницька Г.Д., Лавріненко В.І., Смоквина В.В.
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля
НАН України, Київ, Україна

МОНОГРАФІЯ: «АЛМАЗИ ДЛЯ ШЛІФУВАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ, ОТРИМАНІ В РІЗНИХ СИСТЕМАХ» – СУЧАСНИЙ НАУКОВИЙ ПОСІБНИК ДЛЯ ФАХІВЦІВ У АЛМАЗНІЙ СПРАВІ

Якось так символічно вийшло, що саме у ювілейний рік 60-ти річчя Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України і до прийдешнього 60-ти річчя випуску першої промислової партії синтетичних алмазів в Україні у 2022 р. у видавництві «Наукова думка» в рамках проєкту НАН України «Наукова книга» видана монографія «Алмази для шліфувального інструменту, отримані в різних системах». Автори монографії узагальнили сучасні уявлення у особливостях алмазів саме для процесів алмазного шліфування, з яких у свій час і почалося впровадження синтетичних алмазів у промисловість.

Для процесів алмазно-абразивної обробки застосовуються переважно алмази з діапазону марок АС6–АС20.

Але якщо ми беремо конкретну марку алмазів, наприклад АС6, то відразу виникає усталений міф – для одної марки алмазів всі алмази однакові. А насправді синтетичні алмази однієї марки зовсім не є однаковими. Тобто, перед виготовленням алмазного круга, треба розіб-



ратися, які саме алмази ми застосовуємо: в якій системі вони синтезовані, скільки домішок і включень в них, які їх магнітні властивості, є вони сумішшю, чи це вже є відібрані алмази. Крім того, ці алмази є пористими, містять певну кількість включень і домішок і саме ці алмази можуть піддаватися термообробці, причому у алмазів із більшим вмістом домішок ефект у підвищенні міцності алмазних зерен буде більшим, адже у них існує можливість в залежності від кількості, виду домішок і включень в алмазі змінювати поверхневий елементний склад алмазів і заліковувати тріщини.

В монографії саме і наведені у концентрованому вигляді основні відомості про особливості та фізико-механічні характеристики алмазів, синтезованих в системах Ni-Mn-C и Fe-Si-C, їх домішковий склад, а також наведені рекомендації по спрямованому вибору таких алмазів в шліфувальному інструменті для обробки ними інструментальних та композиційних матеріалів в машинобудуванні.

В монографії подано вплив об'ємних дефектів на фізико-механічні характеристики синтетичних алмазів, отриманих в різних системах. Наведено відомості про зміну фізико-механічних і фізико-хімічних характеристик синтетичних алмазів після поділу в магнітних і електричних полях та її вплив на зносостійкість шліфувального інструменту. Показане дослідження умов спрямованого теплового впливу на зміну фізико-механічних властивостей алмазних зерен та їх зносостійкість у шліфувальних кругах. Наведено рекомендації щодо ефективного застосування природної дефектності синтетичних алмазів у шліфувальному інструменті.

Крім того, в даній праці розглянуті сучасні дослідження в процесах алмазно-абразивної обробки з точки зору матеріалознавчих підходів. Показана необхідність врахування процесів взаємодії між абразивним і оброблюваним матеріалом, вплив елементів оброблюваного матеріалу на знос абразивних зерен, важливість класифікації алмазів за формою, особливо у широкому діапазоні їх міцності. Наведено особливості застосування CVD-алмазів та заходи для необхідної зміни граничної зони алмаз-зв'язка для покращення утримання зерен. Проведено оцінювання частки енергії тертя в абразивному процесі для різних оброблюваних інструментальних матеріалів та запропоновано шляхи зменшення тертя при шліфуванні алмазними кругами, насамперед зменшення тертя на поверхні зв'язки алмазних кругів.

Автори висловлюють щире вдячність рецензентам за доброзичливі критичні зауваження, що сприяли поліпшенню змісту монографії: доктору технічних наук, професору Є.О. Пащенко та доктору

технічних наук, професору В.С. Антонюку, а також голові секції Вченої ради Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, члену-кореспонденту НАН України, доктору технічних наук, професору Клименку С.А. за корисні поради та зауваження при написанні даної роботи.

Автори також вдячні співробітникам Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України: докторам технічних наук Шульженку О.О. та Петасюку Г.А., докт. фіз.-мат. наук Ткачу В.М., кандидатам технічних наук Боримському О.І. та Пасічному О.О. за допомогу в проведенні та обговоренні експериментів.

Монографія призначена для наукових та інженерно-технічних працівників, що працюють в області створення, виробництва та застосування алмазів для обробки інструментальних та композиційних матеріалів в машинобудуванні, а також автори мають надію, що вона буде корисною для викладачів, аспірантів та студентів вищих навчальних закладів.

*Кавуніченко О.В., Зяхор І.В., Антіпін Є.В.,
Левчук А.М., Шило Ю.А.* Інститут електрозварювання
ім. Є.О. Патона, Київ, Україна

ТЕМПЕРАТУРНО-ЧАСОВІ УМОВИ ФОРМУВАННЯ З'ЄДНАНЬ ПРИ КОНТАКТНОМУ СТИКОВОМУ ЗВАРЮВАННІ РЕЙКОВОЇ СТАЛІ К76Ф ІЗ СТАЛЛЮ АУСТЕНІТНОГО КЛАСУ 08Х18Н10Т

Українська мережа залізниць є однією з найбільш розвинутих серед європейських країн, займає провідне місце за обсягами перевезень та відіграє важливу транзитну роль на євразійському континенті. В Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України розроблено технології та устаткування для контактного стикового зварювання оплавленням (КСЗО) залізничних рейок, які успішно використовується в Україні, США, країнах ЄС та Азії при спорудженні залізничних колій.

Однією з відповідальних частин верхньої будови залізничної колії є хрестовини, осердя яких виготовляють із аустенітної високомарганцевої зносостійкої сталі 110Г13Л. У попередні роки осердя хрестовин методом КСЗО з'єднували із рейковими закінченнями

із сталі мартенівського виробництва М76 з використанням проміжної вставки із хромонікелевої аустенітної сталі. Наразі актуальним завданням є використання рейкових закінчень із сучасних сталей конверторного виробництва, зокрема сталі марки К76Ф.

Попередніми дослідженнями по КСЗО рейок із перлітних сталей конверторного виробництва (К76Ф) у однорідному сполученні встановлена суттєва відмінність у формуванні з'єднань у порівнянні із КСЗО рейок мартенівського виробництва, зокрема у можливості отримання бездефектних зварних з'єднань, структура та механічні властивості яких відповідають вимогам чинних стандартів. Підвищена схильність до формування дефектів у однорідних з'єднаннях рейок конверторного виробництва при їх КСЗО обумовлює також і складність їх зварювання у різнорідному сполученні – із аустенітною сталлю, яка використовується у якості проміжної вставки.

Проблеми КСЗО сталей перлітного і аустенітного класу пов'язані з суттєвою відмінністю їх теплофізичних властивостей, і як наслідок, складністю забезпечення рівномірного нагрівання обох заготовок у процесі оплавлення для їх деформації на задану величину при осадці. Тому актуальним питанням є дослідження температурно-часових умов формування різнорідних з'єднань рейок із сталей конверторного виробництва з проміжною вставкою із аустенітної хромонікелевої сталі, яка у подальшому зварюється з осердям хрестовини із сталі 110Г13Л.

Мета роботи – встановити температурно-часові умови формування з'єднань при КСЗО залізничних рейок конверторного виробництва із сталі К76Ф з проміжною вставкою із аустенітної сталі 08Х18Н10Т. За допомогою алгоритму чисельного вирішення тривимірного рівняння теплопровідності при початкових і граничних умовах, відповідних до реальних умов зварювання зразків, отримано розподіл термічних циклів при КСЗО сталі марки К76Ф із аустенітною сталлю 08Х18Н10Т.

Модель була налаштована, перевірена і уточнена за експериментальними даними по реєстрації термічних циклів при КСЗО повнопрофільних зразків залізничних рейок із сталі К76Ф з проміжною вставкою із сталі 08Х18Н10Т. Температуру нагрівання реєстрували за допомогою термопар (рис. 2). Відстань від торців рейок до першої термопари вираховувалась таким чином, щоб після закінчення циклу КСЗО термопара знаходилась на відстані 5 мм від лінії з'єднання. Основними параметрами процесу КСЗО були час зварювання $t_{зв}$ та електрична енергія $Q_{зв}$, спожита за час зварювання. Ек-

спериментальні результати розподілу температури наведено на рис. 3. В процесі проведення експериментів, варіювалися значення $t_{зв}$, припусків на оплавлення та осадку.

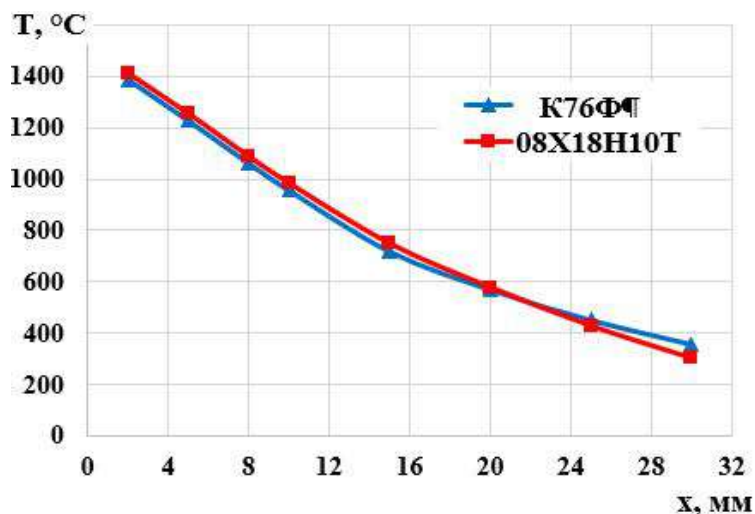


Рис. 1 – Розрахунковий розподіл температури перед осадкою при КСЗО з підвищеним енерговкладенням

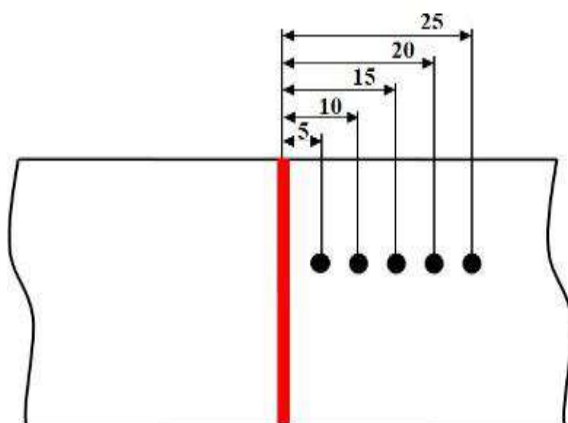


Рис. 2 – Схема розміщення термопар

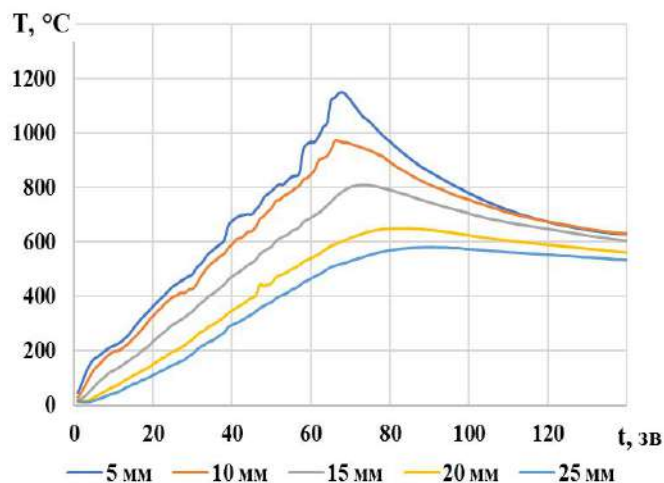


Рис. 3 – Експериментальний розподіл температури при КСЗО

На основі розрахункових та експериментальних даних визначено діапазони зміни основних технологічних параметрів процесу КСЗО, при яких у процесі оплавлення рейок із сталей К76Ф та 08Х18Н10Т забезпечується їх рівномірне по перерізу та довжині нагрівання, достатнє для виконання деформації на задану величину при осадці, що є необхідною умовою формування якісних (бездефектних) зварних з'єднань.

ВІДНОВЛЕННЯ ЗНОШЕНИХ ДЕТАЛЕЙ ПРИВОДНИХ МЕХАНІЗМІВ ЕЛЕКТРОШЛАКОВИМ НАПЛАВЛЕННЯМ

Сьогодні як в Україні, так і за кордоном, у гірничодобувній, металургійній та енергетичній галузях промисловості експлуатується величезний парк обладнання (в т.ч. імпортного виробництва), в приводних механізмах якого використовуються великомодульні прямозубі та косозубі шестерні, зубчасті вінці, колеса, що працюють в умовах великих знакозмінних навантажень і абразивного зношування. Більшість з них не виробляють регламентований ресурс через передчасне зношування евольвентних профілів зубів (до 60%), а також їх руйнувань, внаслідок чого коштовне обладнання вимушене простоювати. Часто виникає необхідність закупівель запасних деталей по імпорту (рис. 1). Прийнято, що більшість зазначених зношених або зламаних деталей, доля дефектних частин яких не перевищує 5% від їх загальної маси, відправляють в металобрухт, що з економічної точки зору вкрай нерационально.



Рис. 1 – Характерне зношування евольвентних профілів зубів великомодульних вал-шестерень (а) і зубчастих вінців (б)

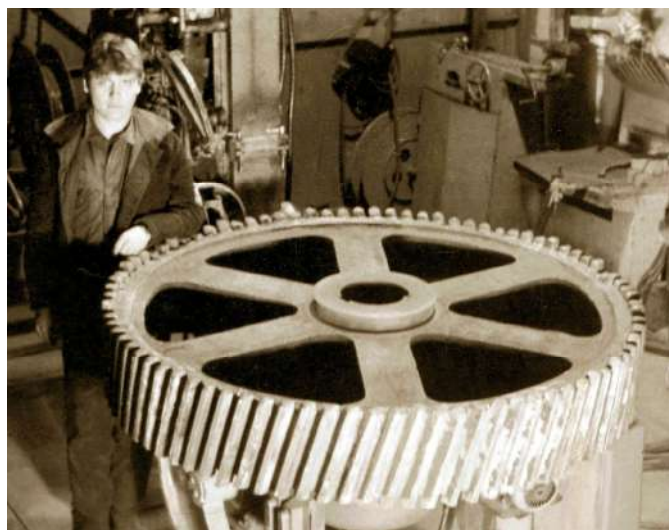
Відомо, що відновлення згаданих дефектних відповідальних деталей машин забезпечує економію високоякісного металу, енергетичних і трудових ресурсів, а також раціональне використання природних ресурсів і охорону навколишнього середовища. Економічна ефективність ремонтних технологій забезпечується тим, що для відновлення працездатності зношених деталей потрібно в 5–8 разів

менше технологічних операцій в порівнянні з виготовленням нових деталей. Застосування для цього зварювальних процесів дозволяє не тільки продовжити ресурс експлуатації кошових деталей машин, але й зменшити простої при їх експлуатації та вивільнити обладнання, необхідне для виготовлення нових деталей.

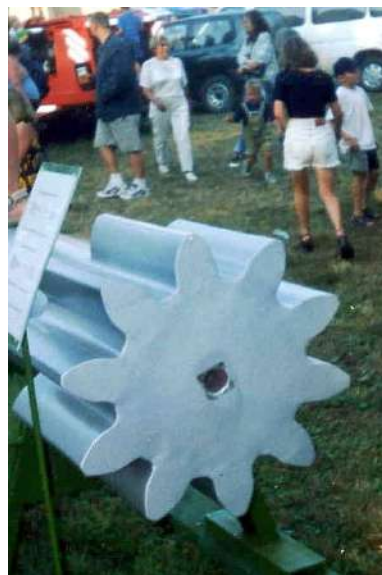
Існуючі методи відновлення зазначених деталей із застосуванням багатопрохідного електродугового заварювання покритими електродами і механізованого наплавлення в захисному газі не знайшли широкого застосування через низьку продуктивність, негарантовану якість сплавлення присадкового матеріалу з основним, утворення міжшарових дефектів у вигляді шлакових включень, пор, а також необхідність застосування подальшої механічної обробки профілів на унікальному зубофрезерному обладнанні.

Розробка високоефективної технології відновлення зношених і виведених з ладу відповідальних деталей за один прохід із застосуванням методу наплавлення з примусовим формуванням наплавленого металу має замінити вказану вище технологію.

В ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України розроблена науково обґрунтована технологія [1, 2] і спеціальне технологічне оснащення для відновлення зношених профілів зубів модулів 18–50 (висота зубів – 40,5–112,5 мм), а також гребнів траків гусеничної техніки за один прохід, що дозволяє у багатьох випадках виключити подальшу механічну обробку евольвентних і інших профілів (рис. 2).



а



б

Рис. 2 – Зовнішній вигляд відновлених електрошлакової наплавкою зубчастого колеса приводу корувального барабана (*а*) і вал-шестерни приводу платформи крокуючого екскаватора ЕШ 15.90 (*б*)

Організовані ділянки відновлення зношених і зламаних зубів підвінцевих шестерень обертових випалювальних печей, косозубих великомодульних шестерень корувальних барабанів, вал-шестерен приводу повороту платформи крокуючих екскаваторів, гребенів траків гусеничної техніки та ін. [3–6]. Для певної частини номенклатури виробів запропоновано метод їх відновлення на території Замовника, що виключить необхідність транспортування дефектних деталей на спеціалізовані ремонтні ділянки.

Багаторічний досвід експлуатації відновлених електрошлаковим наплавленням шестерень випалювальних печей, зношених косозубих великомодульних шестерень і траків гусеничної техніки показав, що термін їх працездатності відповідає терміну експлуатації нових деталей, що дозволило суттєво продовжити ресурс експлуатації приводних механізмів машин, а також зменшити обсяги закупівель дорогих імпортованих деталей підприємствами.

Література

1. Лычко, И.И. Электрошлаковая наплавка – эффективный способ восстановления крупномодульных шестерен / И.И. Лычко, С.М. Козулин. – К. : Общество «Знание», 1988. – 20 с.
2. Kozulin, S.M. Influence of ESC parameters on the quality of reconditioned gear teeth / S.M. Kozulin, I.I. Sushchuk-Slyusarenko, I.I. Lychko // The Paton welding J. – 2006. – 9. – P. 47–49.
3. Kozulin, S.M. Electroslag surfacing of rotating kiln gear shaft teeth / S.M. Kozulin, I.I. Lychko, G.S. Podyma // The Paton welding J. – 2011. – 8. – P. 31–34.
4. Kozulin, S.M. Restoration of worn helical coarse pitch gears by electroslag cladding / S.M. Kozulin, I.I. Lychko, k S.S. Kovalchu et all. // The Paton welding J. – 2021. – 6. – P. 41–47.
5. Патон, Б.Е. Электрошлаковый сварочный процесс. Анализ состояния и тенденции развития (Обзор) / Б.Е. Патон, К.А. Ющенко, С.М. Козулин, И.И. Лычко // Автоматическая сварка. – 2019. – 10. – С. 36–46.
6. Козулин, С.М. Восстановление изношенных грунтозацепов башмаков гусеничных машин электрошлаковой наплавкой / С.М. Козулин, И.И. Лычко, А.А. Фомакин и др. // Сварщик. – 2020. – 4. – С. 10–13.

УДОСКОНАЛЕННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВОЇ ОБРОБКИ КОЛІСНОЇ ПАРИ ВАГОНА

Однією з головних тенденцій розвитку залізниць в умовах сучасної інтеграції України у світове суспільство є досягнення конкурентоспроможності за рахунок ресурсозбереження, підвищення надійності, покращення якості та впровадження екологічно чистих технологій.

Удосконалення якості виготовлення, ремонту та експлуатації елементів рухомого складу являється шляхом до досягнення лідируючих положень на світовому ринку.

Наші пасажирські вагони експлуатуються не лише на залізницях України, але і в міжнародному сполученні. Успішному здійсненню цієї експлуатації сприяє впровадження та застосування міжнародних стандартів серії ДСТУ EN ISO 9001:2018 Системи управління якістю. Вимоги (EN ISO 9001:2015, IDT; ISO 9001:2015, IDT).

Від якості ходових частин вагона, а саме колісних пар, залежить безпека руху поїздів. Основний внесок в удосконалення якості колісних пар робить їх технологія виготовлення, а саме поверхнева обробка сприяє підвищенню надійності та зростанню показників якості.

Одним із засобів підвищення якості виготовлення колісних пар є впровадження менеджменту якості на підприємстві в цілому та дотримання його у процесі поверхневої обробки колісних пар.

Процес планування системи менеджменту якості повинен базуватися на таких основних принципах:

- розробка, планування стратегії та політики в області якості,
- визначення конкретних цілей в області якості,
- ранжирування об'єктів за ступенем важливості,
- узгодження вимог системи менеджменту якості з вимогами споживача,
- економічна обґрунтованість планових показників,
- конкретність, вимірність, можливість оцінити результати діяльності.

Для дотримання системи менеджменту якості на дільниці виготовлення колісних пар, у даній роботі розроблено алгоритм управління нормативно-технічною документацією. За допомогою нього можливо дотримуватись встановлених критеріїв якості починаючи

з процесу розділу зливку на заготовки в процесі штампування, закінчуючи остаточною обробкою різанням після термообробки.

Таким чином для удосконалення якості поверхневої обробки колісної пари вагона необхідно дотримуватись процедури управління документацією, яка повинна встановлювати:

- перевірку документів на адекватність до їх випуску,
- аналіз та актуалізацію у зв'язку з необхідністю та перезатвердження документів,
- забезпечення ідентифікації змін та статусу перегляду документів,
- забезпечення наявності відповідних версій документів у місцях їх застосування,
- забезпечення зберігання документів чіткими та легко ідентифікованими,
- забезпечення ідентифікації документів зовнішнього походження та керування їх розсилкою,
- запобігання несумісному використанню застарілих документів та застосування відповідної ідентифікації таких документів, які залишаються для будь-якої мети.

Тісна взаємодія усіх підрозділів підприємства, можливість постійного корегування технічної документації за рахунок відповідності продукції що випускається атестату технічних можливостей підприємства; відповідність продукції встановленим державним стандартам та сертифікація виробництва; всі ці фактори сприяють виготовленню якісної продукції, а саме колісної пари вагона, яка буде конкурентоспроможна на світовому ринку, сприяти ресурсозбереженню та збереженню навколишнього середовища.

Комарова Г.Л., Харченко А.О. Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна

ІННОВАЦІЇ ЯК МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ КОНКУРЕНТОЗДАТНОСТІ МАШИНОБУДІВНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Конкуренція є основою ринкової економіки. Виробники подібної товарної продукції борються між собою за найкращі ринки збуту, використовуючи при цьому різні інструменти впливу – ціни,

якість, диверсифікацію товару тощо. Конкурентоспроможність підприємства характеризує відмінну (переважну) межу підприємства від конкурентів у сфері задоволення потреб клієнтів.

Конкурентоспроможність підприємства включає не лише зміну параметрів ціни та якості, а й охоплює рівень менеджменту, інвестиційний та інноваційний прогрес.

Інновації на підприємствах – форма прояву науково-технічного прогресу на мікрорівні. Вони сприяють оновленню асортименту, підвищенню якості з метою задоволення вимог споживачів та максимізації прибутку організації.

Життєвий цикл будь-якої інновації залежить від постійного підвищення економічної ефективності її застосування. Визначення «інновація» застосовується до виробничих, наукових проєктів, освітньої та адміністративної сфери тощо. Виходячи з цієї точки зору, можна сказати, що інновації спрямовані на ринок та споживачів. У низці досліджень стверджується, що інновації можна класифікувати за низкою ознак. За цільовим характером нової ідеї її поділяють на три типи: 1) радикальні інновації – принципово нова продукція та технології. Їх досить мало і вони, як правило, припускають появу нового споживача та нового ринку; 2) комбінаторні інновації – нова комбінація вже відомих елементів. Вони можуть бути спрямовані на залучення нових груп клієнтів чи розвиток нових ринків; 3) модифікуючі нововведення – спрямовані на покращення або додавання існуючої продукції.

Ці нововведення виробляються задля збереження чи зміцнення позицій підприємства над ринком. Інновації надають інтенсивного характеру економічного зростання, представляючи науково-технічний та технологічний розвиток виробництва. Основний зміст інновацій полягає у збільшенні інтенсивності знань виробництва та збільшенні на цій основі його ефективності. Інновації виражаються у зниженні матеріальних та трудових витрат, покращенні якості продукції, розробці нових технологій, забезпеченні стабільності розширеного виробництва.

Сьогодні інновації стають основним інструментом конкуренції. Конкуренція одна із основних концепцій економіки. Вона охоплює суть ринкових відносин та визначає форми економічної діяльності. Конкуренція, що виникає через розвиток ринку, сприяє більш повному задоволенню споживачів через прагнення виробників зберігати та покращувати позицію на ринку. Крім того, конкуренція сприяє більш інтенсивному використанню науково-технічних досяг-

неня, впровадженню більш ефективних технологій, розширенню виробництва і, як наслідок, зниженню ціни продукції до рівня, що відповідає витратам виробництва, застосуванню сучасних методів та інструментів організації, управлінню виробництвом та продажами продукції.

Промислово розвинені країни, які зробили інновації пріоритетним напрямком розвитку, займають передові позиції у світі за всіма показниками розвитку економіки та входять до групи країн, що є технологічним центром світової спільноти (США, Японія, Німеччина, Англія, Франція). На рис. 1 зображено інноваційну систему підприємства.



Рис. 1 – Інноваційна система підприємства

Від застосування інновацій на підприємстві з погляду його конкурентоспроможності можна отримати такі ефекти: 1) підвищення конкурентоспроможності товарів, що створює конкурентні переваги на найближчу та середньострокову перспективу; 2) впровадження нових вимог, що створюють конкурентні переваги у віддаленій перспективі; 3) підвищення ефективності виробництва, перетворення конкурентоспроможності постачання товарів у конкурентоспроможність бізнесу.

Таким чином, роль інновацій полягає в тому, що вони дають можливість компаніям, які здійснюють інноваційну діяльність за допо-

могою їх впровадження, забезпечити технологічне домінування ринку та перемогу у конкурентній боротьбі за умови правильно спланованої стратегії. Успіх у конкуренції, зрештою, залежить від бачення та розуміння вищого керівництва компаній правильно обраної та реалізованої стратегії на основі створених конкурентних переваг.

Кусий Я.М., Міянда П., Зінько А.В. Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ КРИТЕРІЮ ОДНОРІДНОСТІ МАТЕРІАЛУ ПІД ЧАС ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Під час проектування технологічних процесів виготовлення деталей машин значно більше уваги приділяється, як правило, розробленню фінішних і викінчувально-зміцнювальних технологічних операцій, ніж дослідженню та системному аналізу спадкових властивостей матеріалу із використанням раціональних критеріїв оцінки його деградації на важливих етапах і стадіях життєвих циклів деталей і виробів. В процесі виготовлення деталей через складність врахування усіх технологічних параметрів і їхніх взаємодій зароджуються структурні концентратори напружень, які формують технологічні дефекти. За несприятливих експлуатаційних умов під дією високих температур, питомих тисків, швидкостей відносних переміщень поверхневі шари деталей машин у спряженнях сприймають значні контактні напруження, що створює передумови для еволюції технологічних дефектів у пошкодження, подальшому руйнуванні поверхневого шару матеріалу та відмові виробів із непередбачуваними наслідками.

Дана проблема ускладнюється під час реалізації принципу функціонально-орієнтованого проектування технологій виготовлення деталей машин [1]. Під час виготовлення об'єктів машинобудівного виробництва потрібно виявити не лише видимі (макро-) дефекти, а і встановити технологічні дефекти на мікро-, нанорівнях та прогнозувати/усунути їх виникнення за несприятливих експлуатаційних умов у ланцюгу «технологічний дефект – пошкодження – відмова».

Для врахування принципів технологічного успадковування властивостей деталей машин аналізується весь технологічний ланцюг у їхніх життєвих циклах, починаючи із технологічних процесів виробництва заготовок та закінчуючи випробуваннями перед запуском деталей і машин в експлуатацію. Результатом досліджень технологічного успадковування параметрів якості виробів є аналіз динаміки зміни однорідності структури матеріалу після технологічних обробок на окремих переходах відповідно до розроблених маршрутів оброблення поверхонь деталей для забезпечення їхніх регламентованих параметрів якості.

У машинобудівній практиці однорідність матеріалу описується коефіцієнтом гомогенності Вейбулла (m), за зміною якого аналізують стан поверхні деталі під час її виготовлення або експлуатації для конкретного матеріалу [1, 2]. Для іншого матеріалу, з іншими фізико-механічними властивостями, динаміка зміни стану поверхневого шару деталі буде іншою.

На підставі проведених досліджень встановлено критерій однорідності матеріалу (КОМ), який характеризується гомогенністю матеріалу, як параметром для аналізу технологічного успадковування характеристик оброблюваних поверхонь об'єктів машинобудівного виробництва, та описується показниками: коефіцієнтом гомогенності Вейбулла (m), константою матеріалу A_m , технологічною пошкоджуваністю D , швидкістю її зростання j_D і уточненнями по технологічних переходах механічного оброблення деталей машин ε_i . У загальному випадку КОМ для аналізу технологічного успадковування параметрів якості деталей під час їхнього виготовлення методами різання, пластичного деформування та контролі властивостей поверхневого шару методом ЛМ-твердості [2] представлено у вигляді [1]:

для технологічного переходу у структурі технологічної операції із врахуванням технологічного успадковування властивостей

$$\begin{aligned} \text{КОМ} \in [m = f(H_1, H_2, \dots); v = f(H_1, H_2, \dots); \\ A = f(m); D = f(m); j_D = f(m); \varepsilon_i = m_i / m_{i-1}] \end{aligned} \quad (1)$$

для технологічного успадковування параметрів якості від заготовки до деталі

$$\left| \begin{array}{l} m_{x_1} < \dots m_{x_k} < \dots < m_{x_n} \rightarrow \infty; \quad v_{x_1} > \dots v_{x_k} > \dots > v_{x_n} \rightarrow 0 \\ A_{x_1} < \dots A_{x_k} < \dots < A_{x_n} \rightarrow 1; \quad D_{x_1} > \dots D_{x_k} > \dots > D_{x_n} \rightarrow 0; \\ \varepsilon_{x_1} > \dots \varepsilon_{x_k} > \dots > \varepsilon_{x_n} \rightarrow 0; \\ \prod_{i=1}^n \varepsilon_i \geq \varepsilon_p \end{array} \right| \text{ за } T_0 = \sum_{k=1}^n t_{ok}, \quad (2)$$

для структурно-неоднорідного стану матеріалу поверхневого шару деталей

$$m < 10; v \rightarrow 1(100\%); A_m < 0,878; D \rightarrow 1, \quad (3)$$

для структурно-однорідного стану матеріалу поверхневого шару деталей

$$m \geq 10; v \rightarrow 0; A_m \geq 0,878; D \rightarrow 0, \quad (4)$$

де t_{ok} – основний (машинний) час під час виконання k -го технологічного переходу (метода обробки); T_0 – сумарний основний (машинний) час на оброблення визначеної поверхні деталі. Формули для визначення параметрів у залежностях (1)–(4) приведено в [1, 2].

Кількість використовуваних показників у залежностях (1)–(4) для оцінки однорідності матеріалу заготовки деталі на визначеному технологічному переході встановлюється складністю виконуваних технологічних завдань для різних етапів проектування. Зокрема, однорідність матеріалу вхідної заготовки аналізують за показниками m , A_m , а гомогенність матеріалу кінцевої деталі – за показниками m , A_m , D , ε тощо.

Література

1. Кусий, Я.М. Науково-прикладні основи технологічного успадкування параметрів якості для забезпечення експлуатаційних характеристик виробів: дис. ... доктора техн. наук / Я.М. Кусий. – Львів, 2021. – 432 с.
2. Lebedev, A.A. Assessment of damage level in materials by the scatter of elastic characteristics and static strength / A.A. Lebedev., I.V. Makovetskii, N.R. Muzyka et al. // Strength of Mat. – 2006. – 38. – P. 109–116.

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

ВИЗНАЧЕННЯ ОКСИДІВ, ПРИЗНАЧЕНИХ ДЛЯ МОДИФІКУВАННЯ ПОВЕРХНІ АЛМАЗНИХ ЗЕРЕН, ТА РОЗРОБКА СПОСОБІВ І ТЕХНОЛОГІЇ ЇХ МОДИФІКУВАННЯ З СУМІШІ РОЗЧИННИХ І НЕРОЗЧИННИХ ОКСИДІВ

Кисень в процесах різання є важливим чинником зміни трибо-технічних характеристик контактних поверхонь [1]. Оксидні шари, що виникають під дією кисню або його сполук на контактних поверхнях, у значній мірі знижують тертя. Чим вищою є хімічна активність металу до кисню, тим більший ефект зниження тертя спостерігають. Відомо, що в усіх випадках тертя, наявність оксидної плівки переводить трибосистему в область найменш небезпечного окислювального зносу. Захисні властивості оксидної плівки при цьому залежать від її складу, товщини, твердості підкладки і т.п. [2]. Наявність такого ефекту є важливою і для процесів шліфування кругами з надтвердих матеріалів (НТМ). В роботі [3] свого часу було визначено, що для підвищення ефективності процесів шліфування кругами з НТМ необхідно застосувати наступні заходи: зв'язка робочого шару круга повинна містити у своєму складі матеріали (Al, Si, Sn, Cu, Ti та ін.), що досить активно окислюються, і необхідно створювати умови для їх окислення у процесі обробки. В роботі [4] аналіз функціональних характеристик оксидів дозволив зробити наступний висновок: до першої групи найбільш ефективно застосованих для модифікування поверхні зерен алмазних шліфпорошків можна віднести наступні оксиди – B_2O_3 , TiO_2 , SiO_2 та Al_2O_3 , а до другої групи, менш ефективної – ZnO , BaO та CaO .

Для реалізації таких висновків у шліфпорошках НТМ розроблено способи та технології нанесення покриття з суміші різних розчинних та нерозчинних оксидів на різні абразивні шліфпорошки синтетичного алмазу або шліфпорошок з компактів на основі мікропорошків cBN, а також суміш шліфпорошків.

Розчинний оксид – розчинний у воді оксид: B_2O_3 (борний ангідрид). Нерозчинний оксид – один з нерозчинних у воді термостій-

ких оксидів металів і неметалів: TiO_2 , SiO_2 , GeO_2 , SnO_2 ; Al_2O_3 ; TiO , CaO , CeO_2 , ZnO , додатково активованих механо-хімічним способом із застосуванням планетарного млина.

Спочатку було підготовлено насичений водний розчин V_2O_3 . До 10–15 мл цього розчину додавали 0,3–0,5 г нерозчинного оксиду. Абразивний порошок, на який має бути нанесено покриття, змішували з 10–15 мл насиченого розчину речовини-модифікатора (борний ангідрид та нерозчинний оксид) із застосуванням магнітної мішалки протягом 10 хв. при нормальних умовах. Надлишок розчину зливали, залишену суміш фільтрували. Осад на фільтрі приєднували до основної маси модифікованого порошку. Отриману вологу масу порошку висушували, розмішуючи, при температурі 120°C до сухого однорідного стану. Після нанесення покриття методом гравіметрії визначили відносну кількість речовини-модифікатора, а також зміну термостійкості покритих (модифікованих) порошоків. Було проведено термічну обробку як вихідних, так і модифікованих зразків в повітряному середовищі в трубчастій печі при температурі 900°C протягом 1 години. Зразки було зважено до і після нагрівання. По результатах зважування було визначено коефіцієнт термостійкості K_{mc} . Так, значення K_{mc} для вихідного шліфпорошку АС6 125/100 становить 0,55, а для того ж шліфпорошку, модифікованого сумішшю розчинного та нерозчинного оксидів: $\text{V}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$ (або: SiO_2 , TiO_2 (рис. 1), SnO_2 , CeO_2 ; CaO , ZnO), значення K_{mc} становить вже 0,95–0,97.

З урахуванням результатів досліджень та економічно-експлуатаційних показників

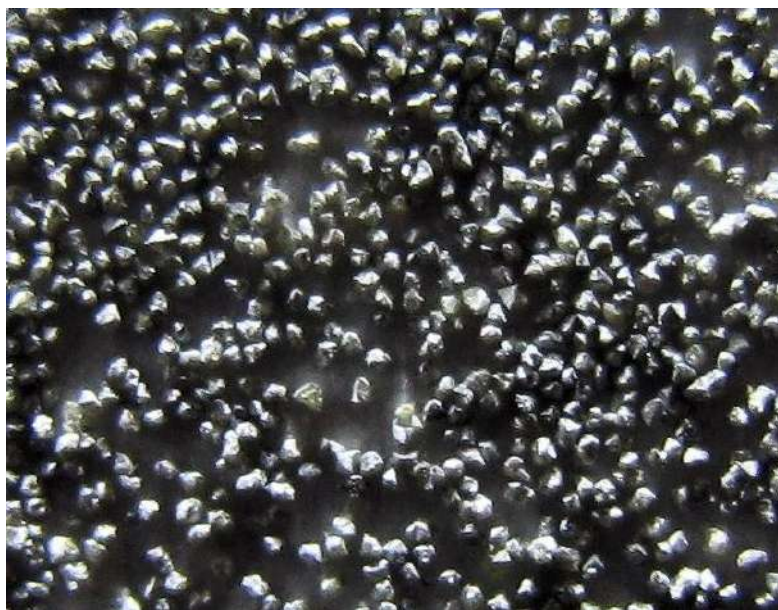


Рис. 1 – Алмазні порошки АС6125/100, модифіковані сумішшю $\text{V}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$

нерозчинні оксиди GeO_2 та TiO було замінено на також нерозчинні оксиди CeO_2 та ZnO для подальших досліджень. Результати проведених дослідів показують значне підвищення термостійкості абразивних порошоків – в середньому на 40% – після нанесення покриття з суміші розчинних та нерозчин-

них оксидів. Також додатково розроблено способи та технології рідинно-фазного нанесення комбінованих оксидо-, силікато- ($\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$, $\text{K}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$) покриттів на шліфпорошки (алмаз, cBN, композиційні порошки).

Абразивні порошки з нанесеними комбінованими покриттями підготовлено для виготовлення шліфувальних кругів.

Література

1. Лавріненко, В.І. Надтверді абразивні матеріали в механообробці: енциклопед. довідник / В.І. Лавріненко, М.В. Новіков; під загальною ред. М.В. Новікова. – К. : ІНМ НАН України, 2013. – 456 с.
2. Любарский, И.М. Металлофизика трения / Любарский И.М., Палатник Л.С. – М. : Металлургия, 1976. – 176 с.
3. Lavrinenko, V.I. Oxidation of oxide materials in the machining zone in superabrasive grinding – a factor of influence on the grinding performance / V.I. Lavrinenko, V.Yu. Solod // J. Superhard Mat. – 2016. – vol. 38, № 6. – P. 417–422.
4. Lavrinenko, V.I. Determination of oxides intended for the surface modification of diamond grains by the functional characteristics / V.I. Lavrinenko, V.Yu. Solod, I.S. Kashynskyi, V.L. Dobrosko // J. Superhard Mat. – 2020. – vol. 42, № 6. – P. 417–422.

*Лавріненко В.І., Полторацький В.Г., Ситник Б.В.,
Скрябін В.В. Інститут надтвердих матеріалів
ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ,
Солод В.Ю., Кашинський І.С., Гумаров О.В.,
Танцюра Т.О. Дніпровський державний технічний
університет, Кам'янське, Україна*

ОСОБЛИВОСТІ ОТРИМАННЯ ШЛІФОВАНОЇ ПОВЕРХНІ ІЗ СВОЄРІДНИМИ МАСЛЯНИМИ «КИШЕННЯМИ» ПІСЛЯ ШЛІФУВАННЯ КРУГАМИ З НАДТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ БЕЗ ДОДАТКОВОГО ДООПРАЦЮВАННЯ ТАКОЇ ПОВЕРХНІ

Свого часу в роботі [1] було показано, що одним з шляхів підвищення техніко-експлуатаційних показників двигуна внутрішнього згоряння є формування на поверхнях циліндрів такого двигуна спеціального мікропрофілю, який уявляє собою пласкі виступи, що

чергуються, із заглибленнями (своєрідними «кишеннями») для розміщення мастила (рис. 1). При цьому збільшується маслоємність і опорна площа обробленої поверхні. Як наслідок цього, скорочується тривалість припрацювання, зменшуються витрати мастила, підвищується зносостійкість циліндрів і збільшується ресурс двигуна. Встановлено, що площинновершинність такої поверхні складає 50–66 % на рівні перерізу профілю $p = 1\text{--}2$ мкм від лінії максимального виступу, глибина рисок для розміщення мастила 2,5–10 мкм. Поверхні такого типу можливо отримати притупленням виступів мікропрофілю після попереднього хонінгування, а також наковчуванням кінцевої обробленої поверхні.

А чи можливо отримати приблизно таку ж поверхню відразу в процесі шліфування без будь-якого доопрацювання, тобто одним кругом? В роботі [2] показано, що це можливо, але там треба допрацьовувати не оброблену поверхню, а сам круг. А чи можливо так, щоби був круг без всякого додаткового доопрацювання? Тобто чи можна виготовити відразу круг для отримання обробленої поверхні із «кишеннями»?

Дослідженнями, наведеними нижче, показано, що таке можливе, але для цього треба застосувати в робочому шарі суміш абразивів. Маються на увазі особливості інструменту з НТМ, коли в робочому шарі круга сполучаються два чи три шліфпорошки різних абразивів (алмазів і КНБ), а також додатково вводяться в робочий шар компакти шліфпорошків на основі мікропорошків кубаніту [3].

Вказані компакти мають певні абразивні властивості, тому були досліджені були виготовлені з композиційних шліфпорошків різної зернистості, отриманих з мікропорошків КМ 3/2–1/0, шліфувальні круги форми 12A2-45° 125×5×3×32 на полімерній зв'язці. Шліфування без охолодження зразків з швидкорізальної сталі Р6М5 проводили на модернізованому універсально-заточувальному верстаті моделі 3В642. У даному випадку нас цікавила саме шорсткість оброблених поверхонь, яку контролювали за допомогою профілографа-профілометра моделі «SurfTest SJ-201» фірми «Mitutoyo» (Японія).

Було встановлено [3], що різальна здатність кругів при застосуванні зерен компактів з мікропорошків кубаніту є невеликою, хоча зменшення зернистості компактів дещо її покращує. Разом з тим, була звернена увага на те, що, з-за дещо незвичного (пошарового) зносу зерен компактів формується в певній мірі оригінальний неоднорідний, незвичний для традиційних кругів з НТМ, профіль мікро-

нерівностей обробленої поверхні із певною наявністю своєрідних «кишень» на обробленій поверхні. Разом з тим, звернена була увага на те, що наведені вище чисті компакти є в певній мірі умовно «м'якими» і було висловлене припущення про те, що такі компакти необхідно зробити більш жорсткими за рахунок їх металізації [3]. Були відібрані компакти із зернистістю K160/125 і проведена їх металізація нікелем Н1Д (29,2%). Загальний вид компактів після проведення їх металізації наведено на рис. 2. З них виготовили шліфувальні круги і випробували їх при обробці швидкорізальної сталі Р6М5.

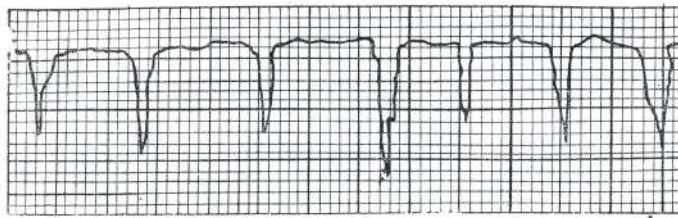


Рис. 1 – Профілограма поверхні, обробленої методом площинновершинного алмазного хонінгування [1]

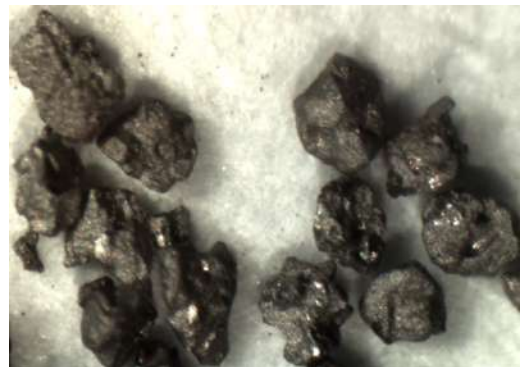


Рис. 2 – Загальний вигляд металізованих шліфпорошків компактів зернистістю K160/125 з мікропорошків кубоніту

Між тим, виникає питання: чи вносить металізація компактів в особливості формування мікронерівностей обробленої поверхні? Відповідь є позитивною – так, вносить, але це відбувається не відразу, а лише при перевищенні величини продуктивності шліфування у $300 \text{ мм}^3/\text{хв}$. При цьому змінюється характер мікронерівностей: із «звичайного» він переходить в мікропрофіль з характерними «кишеннями». Усе це свідчить про те, що металізація компактів не змінює механізм їх зносу, хоча і вносить певні особливості: якщо при невеликій продуктивності шліфування наявність більш жорсткої оболонки (самого покриття) притримує пошаровість зносу, то при продуктивності за $300 \text{ мм}^3/\text{хв}$ ця оболонка вже не може вносити зміни в особливості зносу і вони стають ідентичними – як для крихких компактів, так і для металізованих, що можна спостерігати по тотожному характеру мікронерівностей, які сформовані на оброблених поверхнях. Як наслідок, така пошаровість зношування дозволяє досягти ефекту, характерного для площинновершинного хонінгування, коли дещо підрізаються найбільші вершинки мікронерівностей, що виступають.

Нашими дослідженнями встановлено, що в цілому, одночасне застосування в шліфувальних кругах зерен шліфпорошків компактів на основі мікропорошків кубоніту і стандартних зерен кубоніту дещо покращує працездатність кругів у порівнянні із застосуванням виключно шліфпорошків компактів, оскільки стає можливим досягти більших продуктивностей безприпальної обробки швидкорізальних сталей – $300 \text{ мм}^3/\text{хв.}$ при суміші і всього $200 \text{ мм}^3/\text{хв.}$ при тільки компактах, а також дещо знизити шорсткість обробленої поверхні, з $Ra 0,72$ при компактах до $Ra 0,52$ при суміші шліфпорошків кубоніту). Оскільки застосування суміші шліфпорошків дає певний ефект, то на останньому етапі для порівняння були вивчені експлуатаційні показники кругів, коли в них застосовується суміш компактів КМ різної зернистості і стандартних алмазних зерен відповідних зернистостей. Досліджена шорсткість поверхні при застосуванні кругів з сумішшю у відношенні 50/50 зерен з компактів зернистістю КМ 400/315 і відповідних алмазних зерен марки АС32. Тим самим, складається ситуація, що тепер вже компактів у робочому шарі тільки 50%, а інші 50% займають алмази, які на швидкорізальній сталі мають наближений до компактів механізм зношування, оскільки на них також утворюються площинки зносу, і це спостерігається по характеру мікронерівностей обробленої поверхні (рис. 3).

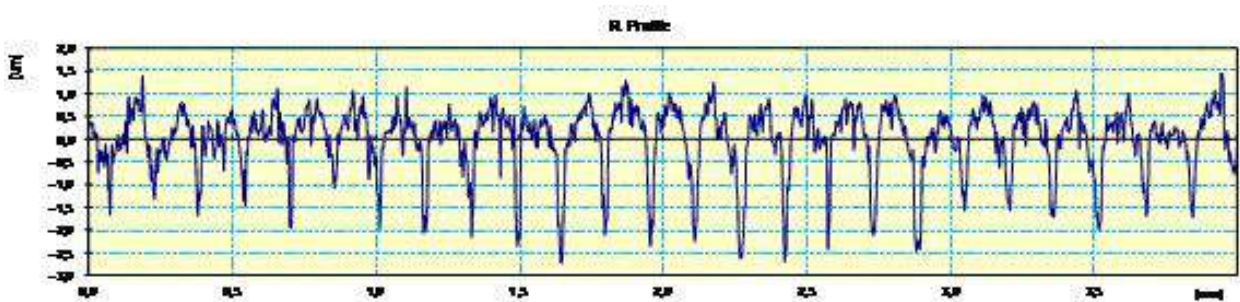


Рис. 3 – Профіль мікронерівностей обробленої поверхні кругом із сумішшю шліфпорошків компакту КМ 400/315 і алмаза АС32 400/315

Таким чином, одночасне застосування в кругах зерен компактів і алмазних зерен ситуацію може не поліпшувати як з точки зору зносостійкості кругів так і якості обробленої поверхні, оскільки є неможливим досягти умов продуктивної безприпальної обробки швидкорізальної сталі. Разом з тим, виявлено, що саме при такій суміші в кругах і є можливим досягти зниження шорсткості обробленої поверхні і того специфічного профілю мікронерівностей, коли утворюються так звані „масляні кишені”.

Тобто з наведеного вище видно, що є реальна можливість реалізувати в одному крузі умови отримання при шліфуванні специфічного профілю мікронерівностей, коли утворюються так звані „малі кишеньки” без будь-яких додаткових технологічних засобів.

Література

1. Чеповецкий, И.Х. Механика контактного взаимодействия при алмазной обработке / И.Х. Чеповецкий. – К. : Наук. думка, 1978. – 238 с.

2. Лавриненко, В.И. Инструменты из сверхтвердых материалов в технологиях абразивной и физико-технической обработки / В.И. Лавриненко, В.Ю. Солод. – Каменское : ДГТУ, 2016. – 529 с.

3. Лавріненко, В.І. Композити на основі мікропорошків КНБ, структурованих вуглецевою зв'язкою, як функціональні елементи в структурі робочого шару алмазно-абразивного інструмента. Повід. 1. Шліфпорошки з композитів як абразивні елементи / В.І. Лавріненко, Б.В. Ситник, В.Г. Полторацький та ін. // Сверхтвердые материалы. – 2014. – № 3. – С. 65–72.

Лещенко О.І., Рукосуєва Ю.М. Приазовський державний технічний університет, Маріуполь
Волошко О.В. Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, Київ, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНОГО СТИСКУ ПРУЖИН ЗА ДОПОМОГОЮ CAE СИСТЕМ

Здатність різного типу пружин сприймати будь-які види та ступеня навантажень обумовлює їх популярність та затребуваність у всіх видах виробів. Наприклад, установка для віброабразивної обробки (Патент 39372, Україна [1]) має відцентрово-планетарну конструкцію (рис. 1, а).

Зібрана в жорсткій коробчастій рамі в діагональних напрямках якої на чотирьох пружинних підвісках з кріпленням до рами, розташовано платформу з реверсивним двигуном постійного струму.

На ротор двигуна посаджений фланець для кріплення контейнерів з оброблюваними деталями і абразивними гранулами.

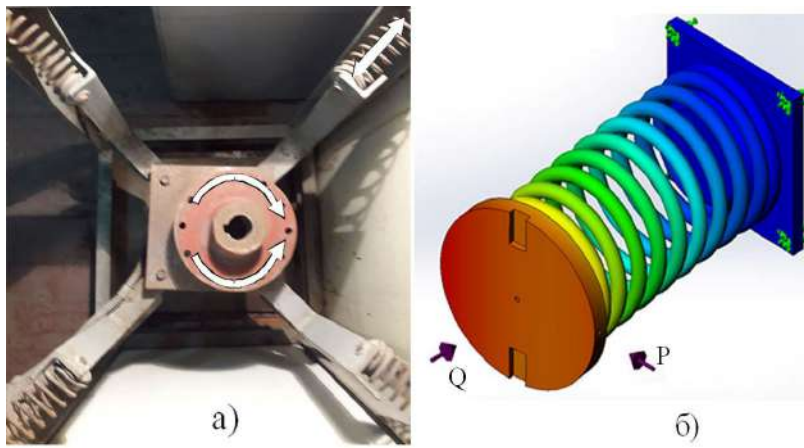


Рис. 1 – Установка віброабразивної обробки (а) та модель циліндричної пружини стиснення під дію осової Q та радіальної сил P (б)

Після запуску двигуна, контейнер розганяється до заданої частоти оборотів, суміш абразиву і деталей ущільнюється в контейнері під впливом відцентрових сил. Через деякий проміжок часу швидкість знижується до нуля, спрацьовує гальмо, яке припиняє рух за інерцією,

внаслідок чого виникає ударне навантаження на пружину з амплітудою A_y .

За допомогою САЕ системи розглянемо динамічне осадження моделі пружини від ударної дії, коли кутова швидкість знижується від номінальної $\omega=0.5$ об/сек до нуля.

У цьому випадку необхідно досліджувати загасаючий перехідний процес у залежності від швидкості впливу осової сили стиснення Q і радіальної сили вигину P пружини зі змінними напрямками дії при реверсуванні.

Вибираємо тип дослідження – лінійні динамічні (SolidWork Simulation) [2], коли використовуються власні частоти та форми (моди) коливань для обчислення реакції конструкцій на динамічне навантаження.

Матеріал пружини – ресорно-пружинну сталь 65Г, для прямокутної нерухомої основи, яка кріпиться 4 болтами до рами установки (кріплення «зафіксований») та диска кріплення підвіски – сталь 30 (модуль пружності $E = 2,1 \cdot 10^{11}$ Н/м²).

У властивостях дослідження встановлюємо кількість частот 18, вирішальну програму Intel Direct Sparse, кількість часових інтервалів 100. Для обчислення реакції пружини при включенні гальма, як функції часу використовуємо режим – модальна часова діаграма. В цьому разі зміна в часі характеристики процесу має фронти наростання та спаду близькі до нуля, з амплітудами A_P , A_O , значення яких встановлено дослідним шляхом для кожного збудження P та Q .

Сумарний коефіцієнт масової участі для відповідності обчислених мод рішення динамічної задачі з рухом основи, складає з

урахуванням у радіальному напрямку SumX та осьовому SumZ, більше 80%.

Розрахована SW крива перехідного процесу (рис. 2, *a*) має низький ступінь загасання, про що свідчить відносне зменшення сусідніх амплітуд.

Ухвалено рішення замінити металеві опорні елементи конструкції на поліуретанові ($E = 2 \cdot 10^2$ Н/м²), котрий має хороші депфіруючі властивості. У цьому випадку отримуємо перехідний процес з достатнім ступенем згасання (рис. 2, *б*) коливань.

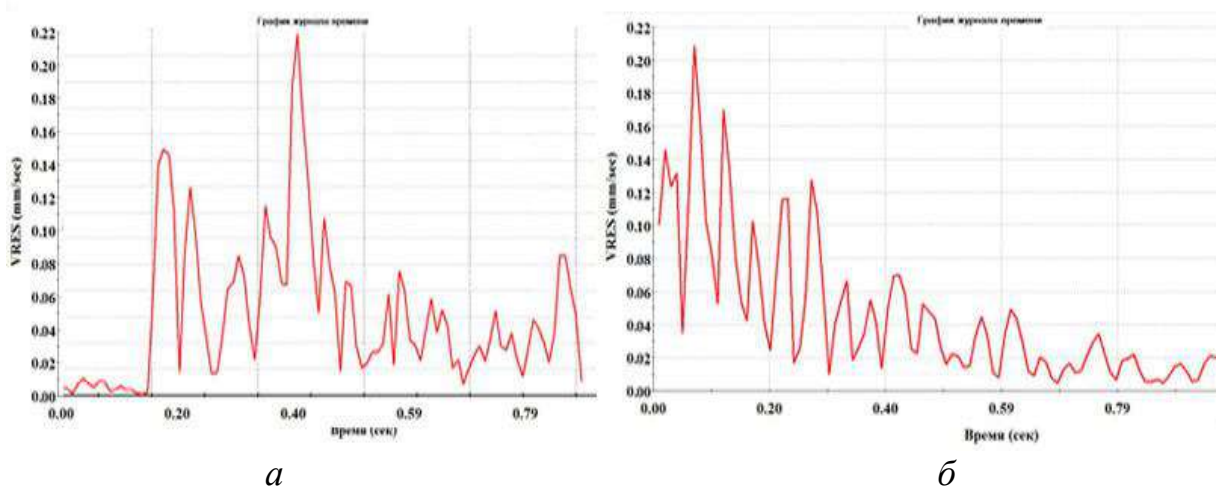


Рис. 2 – Перехідні процеси з опорними елементами: металевими (*a*) поліуретановими (*б*)

Висновки. Модальний аналіз може бути тільки першим кроком для інших видів динамічного аналізу, таких як гармонійний і спектральний аналіз. Незважаючи на деякі припущення даного дослідження – не враховується нелінійна поведінка матеріалу, контактні граничні умови та ін., дослідно-промислова експлуатація даної установки віброобразивної обробки показала правильність обраних технічних рішень.

Література

1. Патент 39372 А Україна, кл. В24В31/06 Способ обработки деталей и устройство для его осуществления / А.А Анднлахай, В.А. Барсуков, С.В. Савенко. – Пром. власність. – 2001. – № 5.
2. Алямовский, А.А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation / А.А. Алямовский. – Санкт-Петербург : Лань, 2010. – 464 с.

РЕМОНТ МІДНОГО СТРУМОПІДВОДУ ДУГОВОЇ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЇ ПЕЧІ

На МЗ «Дніпросталь» з початку роботи заводу успішно експлуатується дугова сталеплавильна піч (ДСП). Підведення електроенергії від трансформатора до електродів у ДСП проводиться за допомогою мідних водоохолоджуючих трубошин та м'яких струмопідводів. Ці вузли в процесі експлуатації піддаються тепловому та механічному впливу, вібраційним та іншим можливим навантаженням. Згодом це може призвести до утворення дефектів, особливо в місцях зварювання. Найбільш поширеним дефектом є тріщини в зоні термічного впливу зварних з'єднань, що призводить до утворення протікань та припинення можливості подальшої експлуатації трубошини. Враховуючи високу вартість та дефіцитність даних виробів, завдання продовження ресурсу їх експлуатації є дуже актуальним.

З урахуванням значних габаритів трубошини та ваги (рис. 1) найбільш доцільно проводити ремонт безпосередньо на металургійному заводі, на виробничих площах якого є всі необхідні комунікації: підведено природний газ, кисень, вода, є можливість проведення такелажних та зварювальних робіт.



Рис. 1 – Зовнішній вигляд мідної водо охолоджуючої трубошини

На наш погляд, найбільш раціональним способом зварювання дефектів є гелієво-дугове зварювання вольфрамовим електродом з

використанням спеціального присадкового металопорошкового дроту, розробленого в ІЕЗ ім. Є.О.Патона, яке забезпечує вищі (у 2–2,5 рази) показники електропровідності металу шва порівняно з стандартними марками зварювальних дротів (Бр. КМц3-1, МНЖКТ 5-1-0,2-0,2 та їх зарубіжними аналогами). Після виявлення точного розташування тріщин проводиться обробка дефектних місць. При цьому форма обробки повинна забезпечити можливість заварювання кореневого проходу (товщина труби становить близько 12 мм). У зв'язку з високою теплопровідністю міді перед зварюванням трубошину підігрівали до температури 400 град. Враховуючи велику вагу та значну площу теплопередачі з навколишнім середовищем, здійснювався супутній підігрів. Процес зварювання ускладнювався також поганою доступністю до дефектного місця зварювання через малу відстань між трубами (менше 50 мм). Так як тріщини знаходилися на двох трубах, то після заварювання дефектної ділянки на одній трубі і повного охолодження трубошини її перевертали і проводилася заварка дефектного місця на іншій трубі в такому ж порядку, що й у попередньому випадку. Оскільки при обробці дефектного місця довелося вирізати мідну вставку між трубами, після заварювання тріщин приварена аналогічна вставка, трохи зміщена в бік від ділянки, що ремонтується, на мідних трубах. Після ремонту трубошина пройшла перевірку на герметичність при тиску 10 атм. протягом 24 год. Протікань, запотівань та інших дефектів не виявлено.

Відремонтowana трубошина експлуатується в робочих умовах сталеплавильної печі протягом 12 місяців.

Мановицький О.С., Клименко С.А., Бурикін В.В.
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля
НАН України, Київ, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ КУТУ ЗСУВУ ПРИ РІЗАННІ ІНСТРУМЕНТОМ З ВІД'ЄМНИМ ПЕРЕДНІМ КУТОМ

Основою для розуміння процесу стружкоутворення, напружено-деформованого стану, навантаження на різальному інструменті є процеси, що відбуваються у зоні різання. Використовуючи загальновідому схему формування стружки з одним площинним зсувом та знаючи площу контакту на передній поверхні різального інстру-

менту з матеріалом припуску, що підлягає видаленню, можна надати опис контактних явищ в зоні формування стружки та розрахувати зусилля різання [1].

Наслідком контактної взаємодії стружки з передньою поверхнею інструменту є додаткове нагрівання стружки за рахунок її тертя по передній поверхні різця та внутрішнього тертя в матеріалі стружки. В подальшому текстура пом'якшеної стружки формується не стільки від напружень в площині зсуву, скільки внаслідок дії цих двох факторів [2].

Існує кілька сучасних моделей зони деформації при різанні, як з однією, так і з розвиненою зоною зсуву, що відображають процес утворення стружки в результаті пластичного зсуву матеріалу припуску. Незважаючи на те, що більш реалістичною виглядає друга модель, аналітичні дослідження з використанням моделей зі зміщенням в одну площину мають досить опрацьований вигляд і для високошвидкісних процесів різання стають більш прийнятними. Це особливо характерно для роботи з низькопластичними матеріалами [3] – загартованими сталями та чавунами, для обробки їх обробки яких ефективні інструменти, оснащені надтвердими композитами на основі кубічного нітриду бору [4], з негативними значеннями передніх кутів.

При цьому, текстура стружки формується під кутом, який не відповідає ні передньому куту різця, ні кутовому положенню прирізцової зони формування стружки [5]. На стадії утворення елемента стружки в матеріалі, який відокремлюється, текстурні лінії є видимі і більш ясно спостерігаються в окремих елементах стружки. В цьому випадку напрям ліній зсуву той же. Допоки нормальні напруження в елементарному об'ємі матеріалу, що деформується, урівнюються дотичними напруженнями на передній поверхні інструменту, переміщення не трапляється, матеріал припуску пластично zdeформований і насувається на передню поверхню інструменту, але ще не відокремлюється у вигляді стружки. Коли напруження стискання сягають границі міцності матеріалу, zdeформований матеріал припуску деформується по лініях зсуву, що утворюють собою текстуру, переміщується по передній поверхні інструменту і далі відокремлюється у вигляді елемента стружки.

На рис. 1 наведена схема Мерчанта [3], модифікована для випадку обробки інструментом з негативним переднім кутом, яка дозволяє визначити кути різання і зсуву, а також товщину зрізу при ортогональному прямокутному різанні.

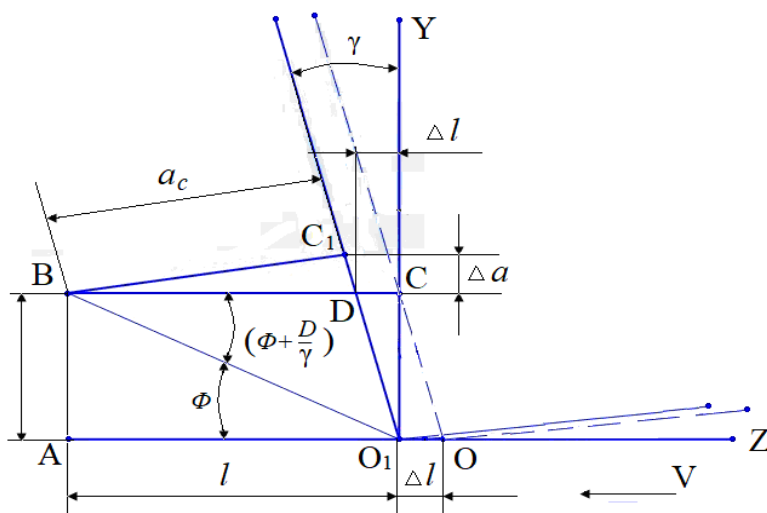


Рис. 1 – Схема для визначення співвідношень між кутом зсуву, переднім кутом інструменту, потовщенням і вкороченням металу припуску, що деформується при стружкоутворенні; Δa – потовщення металу по товщині зрізу; Δl – вкорочення металу по довжині зрізу

Беручи до уваги той факт, що переміщений метал є незмінної щільності та нехтуючи бічними деформаціями по ширині перетину, умову безперервності можемо представити в рівних об'ємах похідного металу перед його деформацією і zdeформованого безпосередньо перед його зсувом [6]. Ряд математичних перетворень, відповідно до рисунку, дозволяє встановити, що наявна зворотна залежність між кутом зсуву і негативним переднім кутом інструменту, а зростання в негативному значенні переднього кута веде до зменшення кута зсуву, тобто, якщо припустити, що матеріал, підданий різанню, є абсолютно пластичним і немає тертя на контактних поверхнях з інструментом, то, якщо був би нульовий передній кут, то деформація по товщині перетину зрізу сягала б до нескінченності і напруження по товщині і довжині перетину зрізу були б рівними при призначенні переднього кута $\gamma = 45^\circ$. Однак конструктивні та інструментальні матеріали мають певні властивості, які проявляються при їх пластичному деформуванні в умовах підвищених температур.

З врахуванням зв'язку між поздовжньою та поперечною деформаціями, виходячи з умов нерозривності, можна припустити що поздовжня деформація Δl при різанні буде пропорційна відносному звуженню δ , а деформація по товщині зрізу Δa відповідно пропорційна відносному подовженню ψ при статичному або динамічному випробуванні (у температурному діапазоні в зоні різання ці характеристики майже ідентичні) [7]. Приймаючи до уваги залежність кута зсуву, кута тертя та переднього кута інструменту за рівнянням Мерчанта або за рівнянням Окслі, знаходимо кут тертя для відомих значень кута зсуву та заданого переднього кута різця.

Література

1. Мазур, М. П. Основи теорії різання матеріалів / М. П. Мазур, Ю. М. Внуков, В. Л. Доброскок та ін. – Львів : Новий Світ-2000, 2010. – 422 с.
2. Остафьев, В. А. Физические основы процесса резания / В. А. Остафьев, В. С. Антонюк, С. П. Вислоух и др. – К. : Вища школа, 1976. – 136 с.
3. Армарего, И. Дж. А. Обработка металлов резанием / И. Дж. А. Армарего, Р. Х. Браун. – М. : Машиностроение, 1977. – 326 с.
4. Синтез и спекание сверхтвёрдых материалов для производства инструментов / Н.П. Беженарь, А.А. Бочечка, Г.Д. Ильницкая и др.; под общ. ред. П.А. Витязя, В.З. Туркевича – Мн. : Беларуская навука, 2021. – 337, [1] с.
5. Розенберг, Ю. А. Резание материалов / Ю. А. Розенберг. – Курган : Полиграф комбинат «Зауралье», 2007. – 294 с.
6. Полухин, П. И. Сопротивление пластической деформации металлов и сплавов / П. И. Полухин, Г. Я. Гун, А. М. Галкин. – М. : Металлургия, 1976. – 488 с.
7. Клименко, С. А. Обработка материалов лезвийным инструментом / С. А. Клименко, А.А. Виноградов, Ю.А. Муковоз и др. – К. : ИСМ им. В. Н. Бакуля, ИПЦ «АЛКОН» НАН України, 2006. – 316 с.

Мановицький О.С., Клименко С.А., Манохін А.С.
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля
НАН України, Київ, Україна

ПОРІВНЯННЯ ЗНОШУВАННЯ ФРЕЗ З ПНТМ ПРИ ОБРОБЦІ АБРАЗИВНОГО ПОЛІМЕРНОГО КОМПАУНДУ

Виконано дослідження з вивчення зносу торцевих фрез, оснащених надтвердими композитами на основі кубічного нітриду бору та синтетичного алмазу, при обробці абразивного полімерного компаунду (ПК), що складається з кварцового дрібнозернистого піску (80 об. %) та епоксидно-діанової смоли КДЖ-5-20 ТУ 2225-597-11131395-01. Превалюючий механізм зношування інструменту при обробці такого ПК – абразивне зношування.

Обробка проводилася однозубою фрезою діаметром 150 мм, оснащеної різальними елементами круглої форми RNMN 070300 із

надтвердих композитів (ПНТМ) на основі кубічного нітриду бору (ПКНБ) і синтетичного алмазу.

Стійкість торцевих фрез визначалася за методикою прискорених стійкісних випробувань, яка враховує прирабочний і стабільний етапи зносу інструменту при роботі з різними швидкостями різання. Загальна стійкість фрези визначалась складанням стійкості на кожному проході для даної швидкості різання:

$$T_{nj} = \sum_{i=1}^n \Delta T_{ij}$$

де T_{nj} – сумарна стійкість фрези на j -ій швидкості різання за n проходів, хв.; n – кількість проходів на j -ій швидкості різання.

Після визначення стійкості фрези на кожній зі швидкостей різання для різних ПНТМ побудовані графіки залежності стійкості фрези від швидкості різання (рис. 1, а) та визначені переваги з вибору матеріалу інструменту з міркувань забезпечення найбільшої стійкості до абразивного зношування.

Аналіз отриманих результатів показує, що збільшення швидкості різання суттєво інтенсифікує абразивне зношування торцевих фрез, оснащеної ПКНБ. При цьому, залежності зносу фрез з ПКНБ від швидкості різання свідчать, що інструменти в композитом «Киборит» є більш зносостійкими у порівнянні з інструментами, оснащеними композитом «Гексанит Р». Проте, слід зазначити, що за зносостійкістю інструменти, оснащені ПКНБ, поступаються фрезам з надтвердими композитами на основі синтетичного алмазу. Більша зносостійкість таких інструментів з алмазно-твердомплавними пластинами (АТП), при обробці абразивного ПК, обумовлена більшою твердістю композиту на основі алмазу, яким оснащені фрези.

Важливою характеристикою працездатності торцевих фрез з ПНТМ є інтенсивність їх зношування в залежності від швидкості різання. За отриманими експериментальними даними побудовано порівняльні графіки залежності інтенсивності зношування інструментів, оснащених ПНТМ (ПКНБ «Киборит», ПКНБ «Гексаніт Р», АТП) від швидкості різання (рис. 1, б).

З аналізу отриманих результатів можна прийти до висновку, що фреза з ПКНБ «Гексаніт Р» має більшу інтенсивність зношування у порівнянні з інструментом, оснащеним ПКНБ «Киборит» – останній за цим показником є більш працездатним при обробці абразивного ПК приблизно в півтора рази. Що стосується фрез з АТП, то цей інструмент має найвищу серед порівнюваних зносостійкість, проте

на низьких швидкостях він зношується навіть трохи інтенсивніше, ніж фреза з ПКНБ «Киборит».

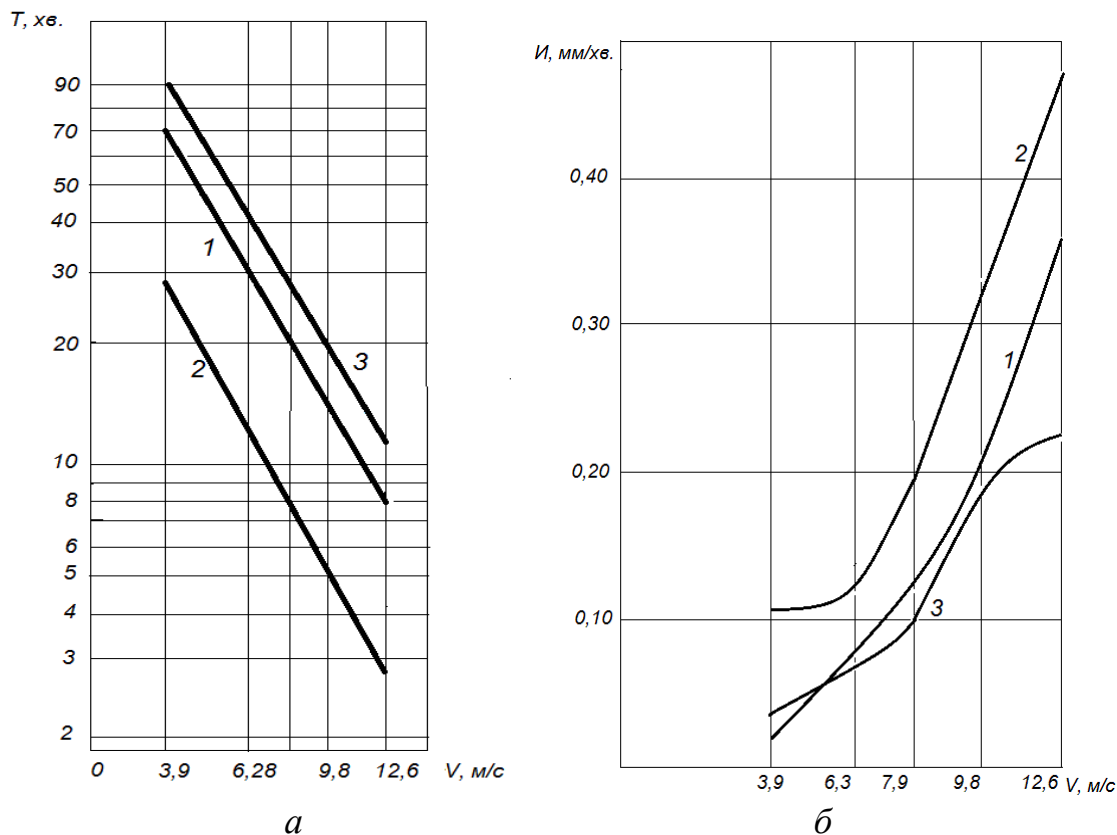


Рис. 1 – Залежність стійкості (а) та інтенсивності зношування (б) інструментів з ПНТМ «Киборит» (1), «Гексаніт Р» (2), АТП (3) від швидкості різання при торцевому фрезеруванні ПК ($S_z = 0,05$ мм/зуб, $t = 0,5$ мм)

*Манохін А.С., Камчата-Степанова К.С.,
Копейкіна М.Ю., Мельничук Ю.О. Інститут надтвердих
матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ, Україна*

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВРІЗАННЯ ІНСТРУМЕНТУ ПРИ ЧЕРВ'ЯЧНОМУ ФРЕЗЕРУВАННІ ЗАГАРТОВАНОЇ СТАЛІ

Робота присвячена моделюванню напружено-деформованого стану леза черв'ячної фрези з ПКНБ борсинит в процесі обробки зубчастого колеса з загартованої сталі. Застосовувався розрахунковий пакет DEFORM-3D. Для опису поведінки матеріалу була викорис-

тана модель Джонсона-Кука з емпіричними коефіцієнтами - $A = 972$, $B = -219$, $C = 0,133$, $n = 0,186$, $m = 1,1$.

При вирішенні пов'язаної термомеханічної задачі граничні умови склалися в жорсткому закріпленні опорної поверхні заготовки і переміщенні пружної моделі інструменту уздовж осі Y заготовки з постійною швидкістю v_s вертикальної подачі, модель фрези при цьому обертається навколо осі X , забезпечуючи швидкість різання, а товщина зрізу змінюється при врізанні зуба фрези від 0 до $a_{\max}$.

В серії чисельних експериментів використовувалась залежність для коефіцієнту тертя $f_s = \mu \cdot p$ (p – тиск). При цьому коефіцієнт тертя розглядається в якості усередненої величини коефіцієнтів внутрішнього та зовнішнього тертя на ділянках пластичного та пружного контакту інструменту, а його величина принята як 0,4.

При прогнозуванні стійкості фрези, необхідно враховувати крутний момент, створюваний силами різання в торцевій площині оброблюваного колеса. Діаграма залежності крутного моменту на фрезі демонструє поступове зростання навантаження у початковий період процесу різання ($\leq 0,0015$ с), що супроводжується врізанням зуба фрези та збільшенням активної довжини різальної кромки. Тривалість імпульсу навантаження, що відповідає періоду контактування інструменту із заготовкою, складає 0,003 с, час відсутності навантаження в середньому 0,007 с.

Характерні величини ефективної деформації оброблюваного матеріалу в зоні різання при обробці заготовки колеса з загартованої сталі, отримані при моделюванні процесу врізання леза фрези в заготовку, демонструють досить низькі значення ефективної деформації – до 1.

З метою більш детального аналізу напружено-деформованого стану оброблюваного матеріалу та інструменту при обробці зубчастих колес з загартованої сталі проведено 2D моделювання процесу контактної взаємодії на рівні лезо-поверхневий шар заготовки.

Початок різання при фрезеруванні починається при виконанні умови $a > 0,31r$. Ковзання відбувається на певному куті ковзання $\psi_{\text{ск}}$ до тих пір, поки пластичні деформації не перейдуть від мікрорізання безпосередньо до різання, тобто коли товщина зрізу не досягне певного значення глибини, відносно проникнення різального інструменту з радіусом округлення різальної кромки.

Особливості контактування інструмента з оброблюваним матеріалом обумовлюють локальне зростання контактних навантажень. Вказана особливість реалізована в моделі за рахунок поступового

наростання глибини різання при русі леза по дуговій траєкторії. Максимальна глибина різання при русі леза по дузі відповідає величині ρ . При цьому, розглядаються наступні етапи занурення різця в оброблюваний матеріал: пружна взаємодія та пластична деформація зі зминанням матеріалу та переміщенням його під задню поверхню леза і мікрорізання з утворенням стружки для випадків, коли різець має значний та малий радіус округлення різальної кромки. Аналіз розподілу напружень демонструє, що максимальні їх значення на початковому етапі різання знаходяться на задній поверхні інструменту на привершинній її ділянці.

У якості прикладів розглянуто інструменти з $\rho = 50$ мкм та 10 мкм. Серед особливостей обробки такими інструментами довжина l_p відрізка пластичного підминання матеріалу до початку мікрорізання складає 0,22 мм та 0,13 мм відповідно. Ступінь деформації після початку мікрорізання в поверхневому шарі обробленого виробу становить 6,7–7,0 та 2,9–3,2, а напруження в зоні зсуву 1600–1800 МПа та 1850–1970 МПа відповідно.

Аналіз діаграми сил різання демонструє наявність пікових навантажень у початковий період врізання інструменту в оброблюваний матеріал. Для меншого радіусу пікові навантаження мають більші відносно середнього значення сили різання величини, що при малій площині контакту на початку врізання призводить до наростання контактних напружень.

Оцінимо вплив даного фактору, а також коефіцієнту тертя та швидкості різання на еквівалентні напруження в різальному клині з метою оцінки міцності інструменту в умовах даного експерименту.

Розглянемо діаграми залежності розрахованих еквівалентних напружень від часу при врізанні до моменту утворення мікростружки для різних величин радіуса округлення різальної кромки при швидкості різання 125 м/хв. та коефіцієнті тертя 0,45. Небезпечна точка, де вимірювались напруження розташована на задній поверхні інструменту в його привершинній зоні. У випадку гострого леза з радіусом округлення $\rho = 10$ мкм концентратори напружень обумовлюють виникнення σ_{eq} , що перевищують границю міцності на розтяг (3000 МПа) – при таких навантаженнях інструмент буде пошкоджений. Пікові напруження в інструменті з $\rho = 50$ мкм сягають 1100 МПа, що менше границі міцності матеріалу інструменту. У випадку, коли радіус округлення різальної кромки складає 30 мкм, у період врізання спостерігається поява напружень величиною до 1350 МПа. Співвідношення довжини радіальної складової сили різання до дов-

жини активної ділянки різальної кромки в цей момент дорівнює $73 \text{ Н/}0,045 \text{ мм}^2$, для порівняння – в момент часу $T = 0,02 \text{ мс}$ ці величини становлять 34 Н та $0,015 \text{ мм}^2$. Таким чином у період врізання фрези в оброблюваний матеріал високої твердості величину радіусу округлення різальної кромки інструмента необхідно оптимізувати, виходячи з критерію міцності матеріалу інструменту.

Швидкість різання оцінювалася як окремий від коефіцієнту тертя фактор, що впливає на швидкість деформації та інтенсивність тепловиділення в зоні контакту. Цей параметр в умовах моделювання має найменший вплив на σ_{eq} , адже на етапі врізання суттєвого зниження механічних властивостей ще не відбувається.

Аналіз результатів моделювання напружено-деформованого стану леза інструменту показав, що в умовах, коли товщина зрізу досягає максимального значення $0,15 \text{ мм}$, що відповідає величині подачі $1,9 \text{ мм/об}$, еквівалентні (за Писаренко-Лебедевим) напруження в небезпечних зонах, які на відміну від попереднього випадку розташовані зі сторони передньої поверхні інструменту, складають 725 МПа . Дані величини менші за критерій руйнування – границю міцності на розтяг $R_m = 800 \text{ МПа}$, що свідчить про можливість реалізації обробки загартованих сталей інструментом, оснащеним напайними композитом на основі КНБ борсиніт.

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

ФРЕЗЕРУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ІЗ ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВИХ СПЛАВІВ ІНСТРУМЕНТАМИ З КОМПОЗИТАМИ НА ОСНОВІ КУБІЧНОГО НІТРИДУ БОРУ

Різальні інструменти, оснащені змінними багатогранними пластинами з полікристалічних надтвердих матеріалів на основі кубічного нітриду бора (ПКНБ), дозволяють проводити ефективну обробку загартованих сталей, різних чавунів. При цьому забезпечується шорсткість обробленої поверхні на рівні $Ra \ 0,32\text{--}0,63$ ($Rz \ 4\text{--}6$), що у багатьох випадках дозволяє замінити при чистовій обробці операцію шліфування фрезеруванням.

Попередні дослідження стійкості фрез з ПКНБ при фрезеруванні проводили при обробці загартованої сталі ХВГ (62–65 HRC). Використано спеціальна торцева фреза (передній кут $\gamma = -10^\circ$, задній кут $\alpha = 10^\circ$), в яку механічним способом закріплювали різальні пластини циліндричної форми з композиту групи ВН «Борсінит». Для забезпечення рівномірного навантаження на кожен зуб фрези, виготовлено різальні пластини з ПКНБ високої точності: відхилення по діаметру $\pm 0,01$ мм, по товщині $\pm 0,01$ мм відповідно.

При режимах різання $v = 86$ м/хв, $S_z = 0,1$ мм/зуб, $t = 0,2$ мм, стійкість інструменту до зносу по задній поверхні $h_3 = 0,4$ мм склала 35–40 хв., що дозволяє проводити обробку великогабаритних виробів без зміни різального інструменту.

Промислові випробування фрез з ПКНБ проводили в умовах «Немирів-Авто» (м. Немирів), що спеціалізується на ремонті великогабаритних ДВЗ. Випробування проводились при фрезеруванні роз'ємних частин блоків циліндрів з сірого чавуну СЧ 21-40 (240 НВ). Обробка відбувалась із інтенсивними ударними навантаженнями на різальні кромки інструменту, як за рахунок кінематики процесу фрезерування, так й особливостей конструкції оброблюваного виробу – наявності великої кількості пазів та отворів.

Використовувалась фреза-літучка (передній кут $\gamma = -10^\circ$, задній кут $\alpha = 10^\circ$), оснащена різальною пластиною RNGN 090400T з ПКНБ «Борсінит». Порівняння працездатності інструменту проводилось з фрезою, оснащеною різальними пластинами із твердого сплаву (ТС) ВК8 з покриттям TiN та ПКНБ виробництва КНР.

Результати випробувань показують (табл. 1), що фреза з ПКНБ «Борсінит» при швидкості різання 515 м/хв. дозволяє виконувати обробку сірого чавуну із забезпеченням стійкості інструменту, збільшеною в порівнянні із фрезами, оснащеними ТС ВК8 з покриттям TiN в 6 разів та ПКНБ виробництва КНР – на 44%. Зі збільшенням швидкості різання до 620 м/хв, отримані показники змінюються до 7 разів, та 38% відповідно.

Фрезеруванні площин блоків циліндрів та головок блоків циліндрів з високоміцного чавуну ВЧ 350-22 (320 НВ) виконувалося також в умовах ТОВ «Ерідон Тех» (м. Полтава).

Використовувалась фреза-літучка (передній кут $\gamma = -10^\circ$, задній кут $\alpha = 10^\circ$), оснащена різальною пластиною RNGN 090300T з ПКНБ-1 групи ВЛ (55 об % cBN, 43 об % TiC, 2% об. Al). Порівняння працездатності інструменту проводилось з фрезою, оснащеною різальними пластинами із ПКНБ «Борсінит» та ПКНБ виробництва КНР.

Результати випробувань показують (табл. 1), що фреза з ПКНБ-1 групи ВL при швидкості різання 750 м/хв. дозволяє виконувати обробку високоміцного чавуну із забезпеченням стійкості інструменту, збільшеною в порівнянні із фрезами, оснащеними ПКНБ «Борсінит» на 21% та ПКНБ виробництва КНР – на 43%. При декілька меншій швидкості – 550 м/хв. стійкість фрези з ПКНБ-1 групи ВL вище в порівнянні з інструментом, оснащеним ПКНБ виробництва КНР, на 25%.

Таблиця 1 – Результати промислових випробувань інструментів

Інструмент з	Режими різання			T , хв.	h_3 , мм	i , мкм/хв.		
	v , м/хв.	S_z , мм/зуб	t , мм					
чавун СЧ 21-40 (240 НВ)								
ПКНБ «Борсінит»	515	0,12	0,02	30	0,20	6,66		
ТС ВК8 + TiN				12	0,50	41,66		
ПКНБ (КНР)				30	0,30	10,00		
ПКНБ «Борсінит»	620			30	0,25	8,33		
ТС ВК8 + TiN				12	0,70	58,33		
ПКНБ (КНР)				30	0,40	13,33		
чавун ВЧ 350-22 (320 НВ)								
ПКНБ-1 групи ВL	550	0,30	0,10	24	0,15	6,25		
ПКНБ «Борсінит»					750	18	0,20	8,30
ПКНБ (КНР)							0,20	11,10
ПКНБ-1 групи ВL	0,25			13,90				
ПКНБ «Борсінит»					0,35	19,44		
ПКНБ (КНР)								
сталь HARDOX (450 НВ)								
ПКНБ-2 групи ВL	90	0,05	0,40	40	0,20	5,00		
ПКНБ «Композит 10»					030	7,50		
ТС ВК8					0,45	11,25		
ПКНБ-2 групи ВL	120			35	0,25	7,14		
ПКНБ «Композит 10»					0,35	10,00		
ТС ВК8					0,60	17,14		

Інструменти, оснащені ПКНБ-2 групи ВL (60 об.% cBN, 35 об.% TiC, 5% об. Al), пройшли промислові випробування в умовах ТДВ «Коростенський щебзавод» (м. Коростень).

Випробування проводились при фрезеруванні корпусної деталі з легованої конструкційної сталі HARDOX (450 HB), яка характеризується високою ударною в'язкістю та стійкістю до абразивного стирання. Використовувалась фреза-літучка (передній кут $\gamma = -10^\circ$, задній кут $\alpha = 10^\circ$), оснащена різальною пластиною RNGN 090400T. Порівняння працездатності інструменту проводилось з фрезою, оснащеною різальними пластинами із ПКНБ «Композит 10» та твердого сплаву (ТС) BK8.

Результати випробувань показують (див. табл. 1), що фреза з ПКНБ-2 групи BL при швидкості різання 90 м/хв. дозволяє виконувати обробку високоміцного чавуну із забезпеченням стійкості інструменту, збільшеною в порівнянні із фрезами, оснащеними ПКНБ «Композит 10» на 34% та ТС BK8 – на 71%. Зі збільшенням швидкості різання до 120 м/хв, отримані показники змінюються до 29%, та 59% відповідно.

Таким чином, результати промислових випробувань розроблених інструментів, оснащених композитами на основі кубічного нітриду бору груп ВН та BL, свідчать про їх високу працездатність в умовах фрезерування виробів зі сталі та чавуну.

Мельник Т.В., Ругаленко Т.В. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

АСПЕКТИ ТЕХНІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ МИЙНИХ ЗАСОБІВ В УКРАЇНІ

З огляду на виклики, які стоять сьогодні перед Україною, доцільно говорити про розроблення заходів щодо підвищення конкурентоспроможності українських товаровиробників на ринках ЄС. Наміри України стосовно тісної інтеграції з ЄС, зобов'язують країну адаптувати свою систему технічного регулювання до міжнародних та європейських підходів. Таким чином, технічне регулювання є важливим інструментом для забезпечення виходу продукції України на європейські ринки. Особливої уваги заслуговує технічне регулювання товарів, які несуть потенційну небезпеку для споживачів та навколишнього середовища. До таких товарів належать мийні засоби, які широко використовуються на різних етапах výro-

бництва у багатьох галузях промисловості: машино- і авіа- будівництві, сільському господарстві тощо.

Мийні засоби світова наука класифікує як найнебезпечніші для здоров'я людини і навколишнього середовища хімічні речовини зі всіх речовин, із якими споживач контактує не тільки у побуті. Це пояснюється їхнім масовим розповсюдженням, постійним (на протязі всього життя) контактом людини з миючими засобами, включаючи контакт шкіри людини з одягом, на якій є залишки токсичних компонентів пральних порошків. Найбільша небезпека поверхнево-активних речовин (ПАР), однієї зі складових мийних засобів, міститься в їх сенсibiliзуючій дії, здатності викликати алергічні реакції. Фосфати використовуються в мийних засобах для зниження жорсткості води і досягнення ефективного очищення, виконують функцію захисту нагрівальних елементів пральних машин від накипу, призводять до евтрофікації водойм, що погіршує органолептичні, токсикологічні і санітарно-хімічні показники води.

В цілому ринок побутової хімії в Україні охоплений 5–7 найбільшими і агресивними представниками транснаціонального бізнесу. Провідні позиції займає компанія Procter & Gamble (близько 23%). Слідом за лідерами йде компанія Henkel (США, ЄС). Інші важливі компанії, які ведуть активну маркетингову політику, – це Reckitt Benckiser (м. Слау, Великобританія), SC Johnson (Расин, Вісконсин, США), Unilever (м. Лондон, Великобританія), «Вінниця-побутхім» (дочірнє підприємство «Невської косметики»), ABC chemicals ind.(Одеська обл), «МИЛАМ» (пгт. Васищево, Харківська обл.), Ficosota (Болгарія), Amway (Ада Тауншип, Мичиган, США), Cussons (Манчестер, Велика Британія) та інші. Національним лідером у виробництві синтетичних мийних засобів є ТОВ «Завод побутової хімії МИЛАМ» (пгт. Васищево, Харківська обл.), продукцією якого є «МилаМ», «Крос», «Белизна», «Сантри», «Крот» та ін. Існує велика кількість інших вітчизняних компаній, але більшість із них продають свою продукцію лише через інтернет-магазини та є не дуже відомими серед споживачів. Серед таких компаній найвідомішими є «Сирена» (торгові марки НІРРО, Tortilla, Kashemir, Turbo тощо), A.SEPT, DeLaMark, Organics, ТОВ «Нова-Хім», ТОВ «Синтез-Ф», ТОВ «СВ», ТОВ «Бара», «САН КЛІН ІНТ», ППТФ «Юси», Primaterra та багато інших. Частка вітчизняних торгових марок на українському ринку синтетичних мийних засобів коливається в межах 1–4%.

Лібералізація комерційного режиму України та відкриття нових можливостей для розвитку експортного потенціалу вітчизняних хімічних підприємств стали можливими в результаті підписання Угоди про асоціацію з ЄС. Важливо відмітити, що обсяги експорту продукції української хімічної промисловості, яка в минулому характеризувалась як експортоорієнтована галузь, за останні роки поступово зменшуються. Так, результати аналізу даних за товарною позицією УКТЗЕД 3402 «Поверхнево-активні речовини, засоби для прання, миття та чищення» на офіційному порталі Державної фіскальної служби України показали, що за період 2015–2019 рр. сальдо торговельного балансу продукції залишалось від'ємним, що говорить про перевищення імпорту над експортом за даною позицією. Серед основних причин такого скорочення обсягів експорту мийних засобів є невідповідність вітчизняної продукції екологічним вимогам країн-імпортерів.

Кабінетом Міністрів України 20 серпня 2008 р. затверджено Технічний регламент мийних засобів N 717, який запровадив обмеження на загальний вміст фосфору в мийному засобі для побутових посудомийних машин. ТР був розроблений з урахуванням Регламенту (ЄС) 648/2004 Європейського Парламенту та Ради "Про мийні засоби". Зазначені обмеження були введені в дію для пральних порошків для побутових пральних машин – 12 січня 2015 р. та мийних засобів для побутових посудомийних машин – 1 січня 2017 р.

Постановою Кабінету Міністрів України від 12.06.2013р. № 408 «Про внесення змін до постанови Кабінету Міністрів України від 20 серпня 2008 р. № 717 затверджено нову редакцію Технічного регламенту мийних засобів. Основною ціллю прийняття Постанови є приведення положень Технічного регламенту у відповідність до стандартів Регламенту Європейського Парламенту та Ради 648/2004/ЄС від 31 березня 2004 р. про мийні засоби, зокрема, щодо обмеження використання фосфатів при виробництві мийних засобів. Починаючи з 26.12.2014 р. встановлено обмеження щодо вмісту фосфатів та інших сполук фосфору у пральному порошку. Загальний вміст фосфору не повинен становити чи перевищувати 0,5 грама в рекомендованій кількості та/або дозуванні прального порошку для використання в основному циклі процесу прання у жорсткій воді для стандартного завантаження пральної машини. Ці зміни мали на меті отримання певного природоохоронного ефекту від запровадження обмежень. Однак, на жаль, дані Державної статистичної звітності свідчать про зростання забруднення водних

об'єктів фосфатами на 30%. Дані державного моніторингу вод підтверджують зазначену тенденцію. Аналіз середньорічних концентрацій вмісту фосфатів за період 2010–2019 рр. свідчить про суттєве (у 2–2,5 рази) зростання їх вмісту у воді р. Дніпро, яка використовується для водопостачання 80% населення України.

Нещодавно набрала чинності постанова Кабінету Міністрів України «Про внесення змін до Технічного регламенту мийних засобів» від 2 червня 2021 р. № 575, якою з 31 грудня 2023 р. запроваджено обмеження щодо вмісту фосфатів та інших сполук фосфору в мийних засобах. Ціллю прийняття постанови є намір знизити потрапляння сполук фосфору в міські системи водовідведення з 2025 р. не менше ніж в 2 рази, а з 2028 р. не менше ніж в 5 разів.

Постановою вносяться зміни до Технічного регламенту мийних засобів, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 20.08.2008 № 717, спрямовані на приведення у відповідність додатка 1 Технічного регламенту з додатком VIa Регламенту (ЄС) 648/2004 Європейського Парламенту та Ради "Про миючі засоби" і розширення спектра дії обмежень на усі існуючі мийні засоби, що застосовуються для прання у побуті; поетапне введення обмежень на вміст фосфатів, фосфонатів і інших сполук фосфору в мийних засобах, що використовуються для промислового прання та (або) миття.

За інформацією зі ЗМІ Colgate-Palmolive запустила екологічну лінію миючих засобів Palmolive Eco +, що не містить фосфатів. Procter & Gamble на своєму веб-сайті інформує про те, що за останні три роки компанією вкладено значні кошти у дослідження та розробку продуктів для розробки формул без фосфатів. Компанія стверджує, що миючі засоби без фосфатів дають «чудові результати очищення». Загалом, відбувається лише заміна сировини, що використовується для виробництва мийних засобів, а саме заміна натрію-три-поліфосфату, що містить сполуки фосфору, на такі замінники як цитрат натрію, етилен-діамін-тетра-оцтова кислота, або ж полікарбонат. Така заміна не передбачає суттєвих змін в технологічному обладнанні та додаткового набору кадрів.

Отже, українські виробники мийних засобів мають прийняти до уваги дану ситуацію, а також привести свою продукцію на більш якісний рівень, для того щоб конкурувати з аналогами зарубіжних виробників. Для цього необхідно вивести нові формули екологічних засобів та повністю змінити деякі технологічні процеси на більш ефективні, щоб підвищити свою конкурентоздатність. Це

призведе до заміщення частки ринку інтернаціональних компаній на частку ринку вітчизняного виробника.

Виконання вимог змін до технічного регламенту мийних засобів також має природоохоронний, політичний та євроінтеграційний аспекти.

Література

1. Аналіз ринку побутової хімії в Україні [Електронний ресурс]. – [http : //oldconf.neasmo.org.ua/node/726](http://oldconf.neasmo.org.ua/node/726)
2. Технічний регламент мийних засобів: за станом на 20 серпня 2008 р. № 717 : постанова Кабінету Міністрів України [Електронний ресурс]. – [http : //zakon5.rada.gov.ua/](http://zakon5.rada.gov.ua/).
3. Луцишин, З.О. Гармонізація системи технічного регулювання в Україні до вимог ЄС як складова конкурентоспроможності економіки / З.О. Луцишин, Н.Я. Крачук, Т.О. Фролова // Інвестиції : практика та досвід. – 2019. – 4. – С. 5–16.

*Москвін П.П., Балицька Н.О., Крижанівський В.Б.,
Мельничук П.П. Державний університет «Житомирська
політехніка», Житомир, Україна*

МУЛЬТИФРАКТАЛЬНІ ПАРАМЕТРИ ПОВЕРХНЕВОГО МІКРОРЕЛЬЄФУ, СФОРМОВАНОГО ТОРЦЕВИМ ФРЕЗЕРУВАННЯМ

Серед теоретичних досліджень стану поверхневого мікрорельєфу виробів, сформованих лезовою обробкою, особливий інтерес становить напрямок, пов'язаний із застосуванням досить нових, нетривіальних математичних методів аналізу складних систем. До них можна віднести роботи по застосуванню фрактальних уявлень до опису самоподібних станів, які формуються внаслідок дії на поверхню різального інструменту. Спроби описати простими математичними виразами складні геометричні форми, які експериментально спостерігаються на поверхні деталей, як правило, видаються безперспективними. У той же час ігнорувати вплив появи інших форм симетрії, а саме фрактальних, на формування остаточних експлуатаційних властивостей поверхні деталей на прецизійному рівні їх дослідження, не є виправданим.

У попередніх роботах авторів для опису складного поверхневого рельєфу, що формується на поверхні виробу в результаті торцевого фрезерування, застосовувався фрактальний аналіз. Отримані результати показали можливість кількісної параметризації такої складної поверхні цим математичним підходом. Однак для досягнення повного математичного опису складного профілю поверхні використання однієї фрактальної характеристики, а саме розмірності Хаусдорфа, недостатньо. Проблему, пов'язану з пошуком системи більш складних видів фрактальної симетрії, можна вирішити при переході до мультифрактального аналізу (МФА).

У дійсній роботі повідомляється про результати застосування МФА для опису поверхні пластин із сталі 35 після обробки фрезеруванням із змінними режимами різання на верстаті моделі 6P12. Ріжучим інструментом служила торцева фреза діаметром 40 мм з механічним кріпленням чотирьох п'ятигранних пластин із твердого сплаву Т15К6 з покриттям із нітриду титану. Оброблювані зразки – пластини товщиною 20 мм (50×300 мм). Постійним параметром при отриманні досліджуваних поверхонь була обрана частота обертання фрези (125 об/хв). Змінним параметром процесу обробки поверхні служила подача заготовки (25–400 мм/хв).

Цифрова камера Sunny P5v04a Raspberry Pi Model B+ для отримання зображень поверхні була змонтована безпосередньо на мікроскопі моделі XS-2610 MICROmed.

Вхідна інформація для МФА площі поверхні пластини була отримана з мікрофотографій (рис. 1). При цьому площа поверхні зразків розраховувалася інтерполяційним методом з урахуванням даних про кольоровість різних пікселів фотографічного зображення. Координати точок поверхневого рельєфу, інформація про які міститься в кожному пікселі фотографії, використовувалися для розрахунків площі поверхні між сусідніми пікселями відповідно до методу тріангуляції.

Математична та програмна реалізація МФА проводилася відповідно до стандартної методики. Як міра комірки v_i була прийнята відносна величина площі поверхні, яка потрапила в цю комірку розбиття. Розрахунок характеристичних функцій МФА для зазначеного параметра системи здійснювався методом огрублення розбиття. При цьому для комірки заданого розміру формувалася статистична сума:

$$Z_S(q, l_k) = \sum_{i=1}^K v_i^q,$$

де q – показник ступеня в МФА (збільшувальне число); l_k – нормована поточна довжина ребра куба.

При наявності у фізичній системі, що аналізується, елементів фрактальної симетрії ступеня q залежності $\ln Z_S(q, l_k)$ від $\ln l_k$ повинні являти собою сукупність точок, які групуються уздовж прямих ліній (рис. 2). Розрахунок параметрів лінійної кореляції між зазначеними параметрами системи здійснювався

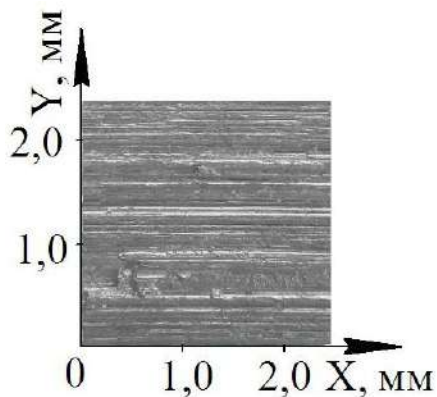


Рис. 1 – Мікрофотографія поверхні пластини із сталі 35 після торцевого фрезерування ($n = 125$ об/хв, $t = 1$ мм, $S = 50$ мм/хв)

методом найменших квадратів для кожного з обраних значень параметра q . Ці дані дозволяють розрахувати всі параметри МФ спектру системи. Очевидно, що всі зазначені функції розраховувалися чисельними методами.

На рис. 1, як приклад, показана вихідна фотографія мікроструктури поверхні зразків із сталі 35, отримана для зазначених умов обробки. Зображення, що отримано в різних умовах обробки поверхні, були оброблені методами МФА з використанням розробленого авторами програмного забезпечення.

Основні результати застосування програмного забезпечення фрактального аналізу до зображень, подібних до рис. 1, представлені на рис. 2–3. Так, на рис. 2, для прикладу, представлені залежності статистичних сум $Z_S(q, l_k)$ від нормованої довжини ребра комірки в методі огрублення розбиття, які отримані при обрахуванні зображення рис. 1. Із рис. 2 слідує, що експериментальні дані чітко групуються вздовж прямих ліній. Високі значення кореляційних коефіцієнтів дозволяють стверджувати про наявність самоподібних структур у рельєфі поверхні та, звичайно, наявність фрактальної симетрії для елементарних площ на отриманих фрезеруванням поверхнях.

На рис. 3 показаний набір характеристичних функцій МФА, які відповідають зображенню рис. 1. Також представлені і величини найважливіших параметрів МФ спектру цієї поверхні, тобто число Реньї D_0 та параметр фрактального впорядкування $\Delta_{q \rightarrow 80} = D_1 - D_{\rightarrow 80}$. Зазначимо, що величина числа Реньї D_0 (розмірність Хаусдорфа) для площі обробленої поверхні за величиною перевищує два. Дійсно, саме такий результат відповідає поставленому завданню з опису розмірності поверхні, яка є непланарною, розвиненою на мікрорівні.

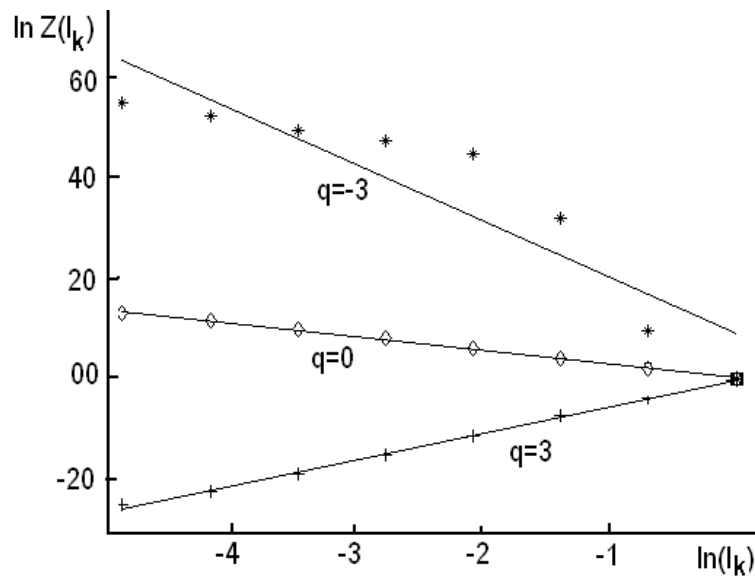


Рис. 2 – Залежності статистичних сум $\ln Z_S(q, l_k)$ для зображення із рис. 1

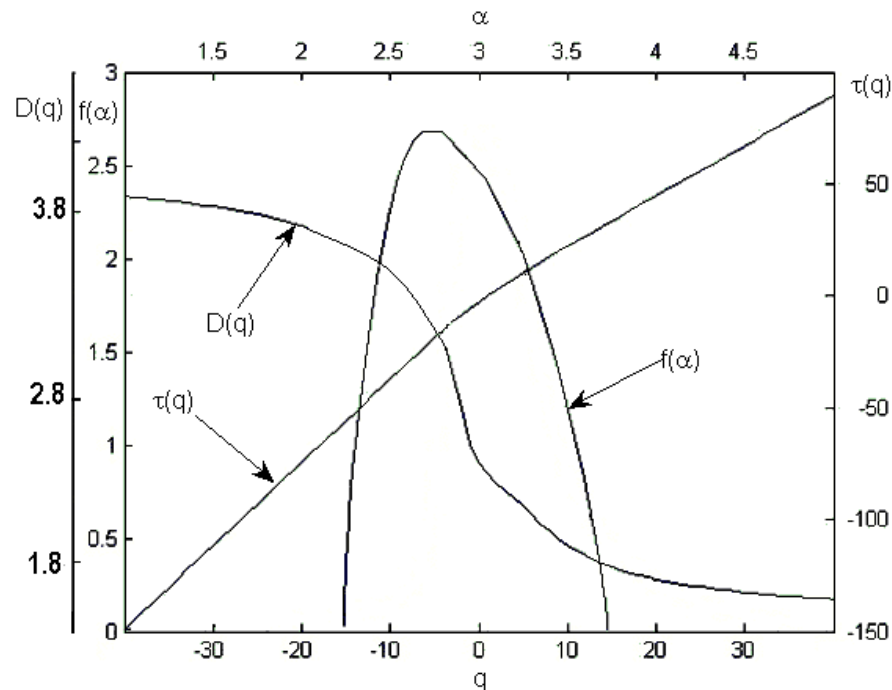


Рис. 3 – Характеристичні функції МФА $\tau(q)$, $f(\alpha)$ і $D(q)$ для зображення рис. 1: $D_0 = 2,696$; $\Delta_{q \rightarrow 80} = 0,6868$

Висновки. Метод МФА застосований для обробки зображень поверхні пластин зі сталі 35, сформованих торцевим фрезеруванням. Розраховані та проаналізовані всі характеристичні функції МФА для площі поверхні геометричних мікроформ, що формуються на поверхні зразків у процесі різання. Показано, що всі характеристики МФА відповідають своїм канонічним формам, що служить вагомим доказом можливості застосування МФА для опису стану поверхні, яка сформована внаслідок періодичного впливу різального інструменту.

*Нежебовський В.В. АТ «Світло Шахтаря», Харків
Рябченко С.В. Інститут надтвердих матеріалів
ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ, Україна*

ПРОФІЛЬНЕ ШЛІФУВАННЯ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС ВУГЛЕДОБУВНИХ КОМБАЙНІВ КРУГАМИ ІЗ РУБІН- КОРУНДУ

Обробка зубчастих коліс приводів шахтних комбайнів є актуальною проблемою виробництва гірничого машинобудування.

Підвищити якість обробки зубчастих коліс можливо шляхом застосування ефективних технологій зубошліфування. Технологія обробки полягає у використанні абразивних кругів з рубін-корунду при профільному шліфуванні зубчастих коліс. Шліфування кругами з рубін-корунду дозволяє підвищити точність обробки та знизити висотні параметри шорсткості зубчастих коліс і, тим самим, підвищити надійність і ресурс зубчастих передач. Шліфувальні круги з рубін-корунду мають гарне самозаточування та дозволяють шліфувати деталі з мінімальним виділенням тепла у зоні різання порівняно із звичайними кругами.

Для досягнення мети роботи виготовлені абразивні круги з рубін-корунду, розроблені технологічні режими обробки, досліджена точність та шорсткість поверхонь зубчастих коліс після обробки. Дослідження виконувались у промислових умовах на підприємстві АТ «Світло Шахтаря» (м. Харків). Шліфування зубчастих коліс виконувалось на зубошліфувальному верстаті з ЧПК мод. HÖFLER RAPID 1250. Оброблялись зубчасті колеса P96M.00.05.001: діаметр $d_a = 345$ мм; $z = 41$; $m = 8$; ширина вінця $B = 90$ мм, припуск на обробку $t = 0,66$ мм, число етапів – 4.

Результати дослідження процесу шліфування зубчастих коліс кругом $400 \times 32 \times 127$ з рубін-корунду A8960K9V показали, що потужність зубошліфування складає у середньому значенні $P_{\text{ср}} = 1100$ Вт при напівчистовому (2) етапі та $P_{\text{ср}} = 900$ Вт при чистовому (3) етапі (рис. 1). Точність обробки зубчастого колеса також відповідає 4 ступеню точності.

Для цих верстатів Інститутом надтвердих матеріалів спільно з абразивною фірмою ДП «БЕСТ-БІЗНЕС» розроблені та впроваджені спеціальні шліфувальні круги форми Т4 (конічні круги) діамет-

ром 400 мм та висотою до 32 мм з рубін-корунду. Раніше на підприємстві використовували круги з білого корунду.



Рис. 1 – Установка шліфувального круга з рубін-корунду на верстаті

Висновки. Шліфування зубчастих коліс кругами з рубін-корунду дозволяє забезпечити якісні показники профілю зуба приводів шахтних комбайнів в порівнянні з шліфуванням кругами з звичайними кругами з білого корунду. А саме, забезпечуються висока точність профілю колеса, яка відповідає 2 ступеню точності (по DIN 3962). Шорсткість профілю зубчастого колеса дорівнює $Ra\ 0,63$, що відповідає вимогам креслення. Правку шліфувального круга з рубін-корунду проводиться через 7–8 зубців (при вико ристанні білого корунду через 4–5 зубців), що забезпечує підвищену стійкість шліфувального круга з рубін-корунду.

Застосування шліфувальних кругів з рубін-корунду на машинобудівних підприємствах України показали високу ефективність інструментів з даних абразивних матеріалів в процесах шліфування зубчастих коліс високої якості.

ОПОСЕРЕДКОВАНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ТОВЩИНИ ПОКРИВУ АБРАЗИВНИХ ПОРОШКІВ З ВИКОРИСТАННЯМ 3D МОДЕЛІ ЗЕРНА У ФОРМІ ЕЛІПСОЇДА

Покрив є дієвим засобом впливу на експлуатаційні властивості виробів різного функціонального призначення. Головна мета такого впливу – захист робочих поверхонь від дії зовнішніх агресивних середовищ, збільшення терміну служби різального шару абразивних інструментів [1, 2].

Товщина покриву зерен абразивних порошків надтвердих матеріалів (НТМ) впливає на міцність їхнього утримання в різальному шарі абразивного інструменту, а тому і на питому витрату самого абразивного порошку. При цьому такий позитивний ефект досягається лише за певної оптимальної товщини покриву [3]. Тому важливо володіти інформацією щодо товщини покриву, а відтак і методами визначення цієї характеристики. Як показав аналіз відомих публікацій [4], питанню визначення товщини покриву у сфері абразивних порошків належної уваги не приділялось. Головна увага була зосереджена на технологічних аспектах нанесення покриву. Тому розробка методів визначення товщини покриву із залученням нових 3D моделей зерна абразивних порошків та підвищення їх точності є актуальною і важливою матеріалознавчою задачею.

Одним із способів підвищення точності методів визначення товщини покриву є залучення для цього нових 3D моделей зерна абразивних порошків, зокрема еліпсоїда. Саме еліпсоїд вважався найбільш адекватним аналогом зерна шліфпорошків синтетичного алмазу [5]. Такі позитивні переваги цієї 3D моделі зерна обумовлені тим, що вона успадковує від реального зерна відразу три його розмірні параметри – дожину і ширину (в сучасній інтерпретації максимальний (F_{max}) і мінімальний (F_{min}) діаметри Фере [6]) його проєкції та висоту (H) зерна. Тому складає прикладний інтерес доповнення арсеналу відомих розрахункових залежностей визначення товщини покриву абразивних порошків ще і залежністю для 3D моделі зерна у формі еліпсоїда. Будуть також проведені порівняльні дослідження відносної похибки визначення товщини покриву,

отриманої із застосуванням і відомих 3D моделей зерна, зокрема у формі кулі та куба, які вже давно використовуються на практиці.

При мікроскопіюванні порошку, проекцією зерна, що має 3D форму еліпсоїда з осями $A \geq B \geq C$, буде еліпс з осями A і B . При діагностуванні морфометричних характеристик приладом Dia-Inspect.OSM [6], як це було у нашому випадку, A ототожнюється з F_{max} , B – з F_{min} , а C – з висотою зерна (H).

Для отримання розрахункової залежності опосередковано-аналітичного визначення товщини покритву зерен абразивних порошків НТМ на базі 3D моделі зерна у формі еліпсоїда будемо виходити із пікнометрично-адитивного підходу [4]. Такий підхід передбачає аналітичне подання об'ємів початкового зерна (V_a) та зерна з нанесеним на його поверхню покритвом (V_M). Для еліпсоїда $V_a = \pi ABC/6$, $V_M = \pi(A+2h)(B+2h)(C+2h)/6$, де h – товщина покритву. Об'єм V_M , використовуючи пікнометричне співвідношення між об'ємом, масою (m_M) і густиною (ρ_M) матеріалу покритву як твердого тіла, ступінь покритву ($\mu = m_a/m_M$), який є технологічним параметром нанесення покритву, та густину матеріалу синтетичного алмазу (ρ_a), можна подати у вигляді $V_M = \mu V_a \rho_a / \rho_M$. З урахуванням цього основне рівняння пікнометрично-адитивного методу для зерен у формі еліпсоїда набуває вигляду

$$(A + 2h)(B + 2h)(C + 2h) = ABC + \mu \frac{\rho_a}{\rho_M} ABC. \quad (1)$$

Розкриваючи дужки у лівій частині цього рівняння та після спрощення, отримуємо кубічне рівняння для визначення h . Оскільки $h/A \ll 1$, то нехтуючи членом з h^3 зводимо рівняння (1) до квадратного, розв'язуючи яке матимемо

$$h = A \frac{S_1}{4S_2} \left\{ \sqrt{1 + \frac{4S_2 \tilde{B} \tilde{C} \mu \rho_a}{S_1^2 \rho_M}} - 1 \right\}, \quad (2)$$

де $S_1 = \tilde{B} + \tilde{C} + \tilde{B}\tilde{C}$; $S_2 = 1 + \tilde{B} + \tilde{C}$; $\tilde{B} = B/A$; $\tilde{C} = C/A$.

Зауважимо, що у випадку кулі та куба, які в подальшому також будуть використовуватися як 3D моделі зерна, залежності для визначення товщини покритву опосередковано-аналітичним методом є однотипними [4]

$$h = \frac{d}{2} \left\{ \sqrt[3]{\frac{\mu \rho_a}{\rho_M} + 1} - 1 \right\} \quad (3)$$

з різним трактуванням сенсу параметра d . У випадку кулі – це її діаметр (D , тобто $d = D$), у випадку куба – це ребро куба (a , тобто $d = a$).

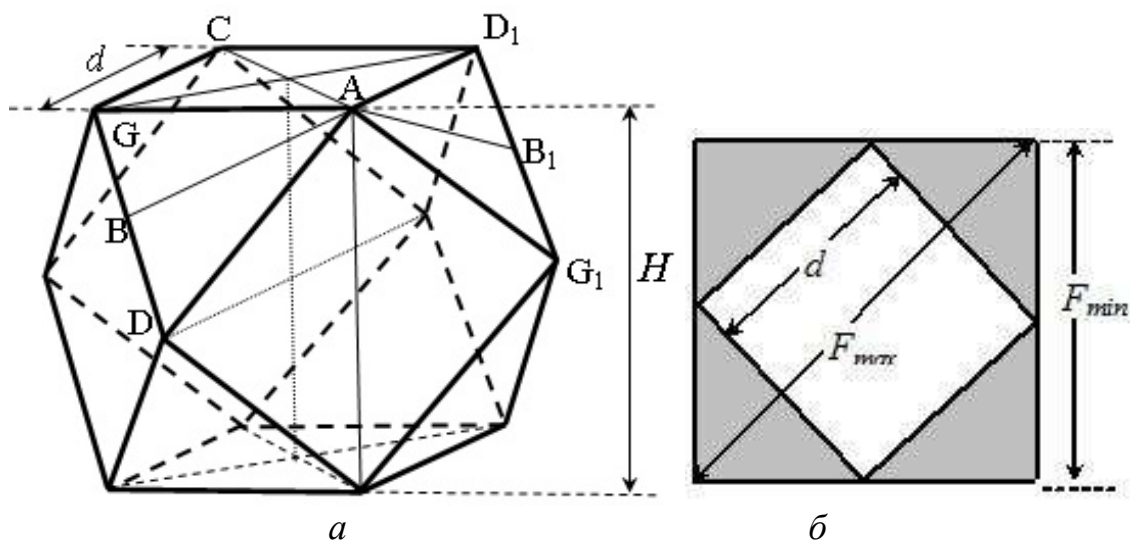


Рис. 1 – Кубооктаедр як 3D модель абразивного порошку (розташування на грані у формі квадрата) та його проекція

Відносну похибку визначення товщини покриття зерен запропонованим методом здійснювалася шляхом тестування. Процедура тестування виконувалася для ідеалізованого шліфпорошку, всі зерна якого мали 3D форму кубооктаедра (рис. 1, a), тобто були рівновеликі за розміром і однорідними за 3D формою. Зауважимо, що 3D форма зерен у вигляді кубооктаедра характерна, наприклад, високоміцні крупнозернисті шліфпорошки синтетичного алмазу. Проекцією кубооктаедра на площину, паралельну його грані у формі квадрата (рис. 1, b), на якій він розташовується на предметному столі мікроскопу, буде знову ж таки квадрат із довжиною сторони $l = \sqrt{2}d$, де d – довжина ребра кубооктаедра. Взаємозв'язок між F_{max} , F_{min} і H та ребром кубооктаедра виражається такими залежностями: $F_{max} = 2d$, $F_{min} = \sqrt{2}d$, $H = \sqrt{2}d$.

У процесі тестування передбачалось, що на такий алмазний порошок був нанесений титановий покриття товщиною $h = 5$ мкм. Такому значенню h при густині алмазу $\rho_a = 3,51$ г/см³, густині титану $\rho_M = 4,5$ г/см³ та $d = 100$ мкм відповідає ступінь покриття $\mu = 42,4\%$, який був врахований із залежності (3).

Застосування залежності (2) із використанням прийнятих для тестування початкових даних дає $h = 5,5423$ мкм для 3D моделі зерна у формі еліпсоїда.

Порівняльний аналіз фактичної товщини покриття тестового зерна ($h = 5$) з результатом, отриманим при використанні 3D моделі зерна у формі еліпсоїда, показує, що відносна похибка опосередкованого визначення становить 29,79%. Хоча така похибка не є малою, проте може бути прийнятною для практики опосередкованого визначення товщини покриття. Для двох інших досліджуваних 3D моделей зерна (кулі та куба) похибка значно більша і становить 70,71%. Це дозволяє зробити висновок про доцільність практичного застосування 3D моделі зерна у формі еліпсоїда для визначення товщини покриття абразивних порошків. Зменшення значень похибки потребує подальшого вивчення впливу способу узгодження розмірних параметрів фактичного зерна з прийнятою 3D його моделлю на відносну похибку опосередковано-аналітичного визначення товщини покриття. Зокрема схем з прирівнюванням площ і периметрів проєкцій цих двох об'єктів. Саме в цьому напрямку слід продовжити подальші дослідження за цією тематикою.

Література

1. Sknar, Yu.E. Influence of methylsulfonate anions on the structure of electrolytic cobalt coatings / Yu.E. Sknar, N.V. Amirulloeveva, I.V. Sknar, F.I. Danylov // *Mat. Sci.* – 2016. – 52, № 3. – P. 396–401.
2. Лавріненко В.І. Надтверді матеріали / В.І. Лавріненко.– К. : Академперіодика, 2018. – 336 с.
3. Батурич, В.Е. Измерение толщины металлических покрытий на зернах алмаза и кубического нитрида бора / В.Е. Батурич, Ю.Д. Клебанов, В.Н. Сумароков // *Синтетические алмазы.* –1973. – вып. 3. С. 13–16.
4. Petasyuk, G.A. Methodological and Application Aspects of Indirect Analytical Determination of Coating Thickness on Metal-Coated Superabrasive Grits / G.A. Petasyuk // *J. of Superhard Mat.*, 2019, Vol. 41, No. 3, pp. 201–209.
5. Бакуль В. Н. Число зерен в одном карате – одна из важнейших характеристик алмазного порошка // *Синтетические алмазы.* – 1976.– вып. 4.– С. 22–27.
6. <https://vdiamant.de/diainspect-osm.html>. (Partikelanalyzer - Vollstaedt Diamant GmbH)

Посвятенко Е.К. Національний транспортний
університет, Київ,
Немировський Я.Б., Шепеленко І.В.
Центральноукраїнський національний технічний
університет, Кропивницький, Україна

ІНЖЕНЕРІЯ КАМЕР ЗГОРЯННЯ ТВЕРДОПАЛИВНИХ НЕКЕРОВАНИХ РАКЕТ

Камери згоряння твердопаливних некерованих ракет є особливо тонкостінними гільзами масового виробництва довжиною $L = (6-15)d$, де d – діаметр отвору. Камери працюють при тиску 30–50 МПа твердого палива, що горить. При виготовленні 100% камер випробовують тиском, що перевищує робочий, у 1,5 рази. Особливості експлуатації цих деталей ставлять певні вимоги до матеріалів, зокрема поєднання високих міцності і пластичності. Практика показала, що кращими матеріалами для цього є сталі марок 30ХГСА і 10ГН, а також деформівний алюмінієвий сплав В95 (АА-7075; UNS-A97075).

Деякі фізико-механічні властивості цих матеріалів. Сталь 30ХГСА після гартування від температур 860–880 °С у маслі і середнього відпускання від температур 350–400 °С у маслі має міцність $\sigma_b = 1000-1100$ МПа, відносне видовження $\delta = 9\%$ і твердість HRC 35–40. Сталь 10ГН використовується у холоднодеформованому стані і має міцність $\sigma_b = 520-540$ МПа, при початковому відносному видовженні $\delta = 34-36\%$ і твердості HV 174–192. Високоміцний алюмінієвий сплав В95 системи Al–Zn–Mg–Cu після гартування і штучного старіння від температури 150 – 200 °С протягом 10–20 год. отримує такі основні фізико-механічні характеристики: $\sigma_b = 560-600$ МПа; $\delta = 8\%$; HV 150. Сплав зберігає високу в'язкість руйнування і корозійну стійкість, що важливо для камер згоряння.

Діапазон геометричних характеристик досліджуваних деталей: діаметри отворів $d = 20-115$ мм; довжина $L = 150-1500$ мм; відношення товщини стінки t до діаметру отвору d (жорсткість) складає $t/d = 0,03-0,05$. При цьому вимоги до точності отвору – Н10–Н11 при забезпеченні шорсткості поверхні Rz 10–20 і кривизні твірної $\Delta \leq 0,2$ мм на 500 погонних міліметрів.

При виконанні дослідницької роботи і промислової перевірки отриманих результатів було встановлено наступне. Запропонований технологічний процес виготовлення камери згоряння ракети С5

"повітря–повітря" і "повітря–земля" передбачає заміну холоднотягнутої трубної заготовки 56×4 на заготовку 54×3; за рахунок цього коефіцієнт використання металу (КВМ) зросте з 0,45 до 0,60. Те ж для камери згоряння ракети ВВ7 відповідно: 40×5 замість 42×7 і КВМ = 0,77 замість діючого КВМ = 0,49. Щодо камери ракети залпового вогню КВМ зросте з 0,65 до 0,82. Типовий технологічний процес у всіх випадках рекомендується таким: деформуюче протягування на "стиск" у розсувній опорі з правкою зі сторони інструменту з сумарною відносною деформацією 0,01–0,03 для виправлення некруглості отвору трубної заготовки металургійного походження; термічна обробка за заводською схемою; чистове різальне протягування з сумарним припуском 0,2–0,5 мм для видалення дефектного шару заготовки.

У всіх випадках протягування слід виконувати на горизонтально-протяжних верстатах з зусиллям 200–400 кН при швидкостях 0,1–0,15 м/с у середовищі мастильно-охолоджувальної рідини на основі ріпакової оливи [1, 2].

Література.

1. Посвятенко, Е.К. Наукове обґрунтування ефективності процесу деформуюче-ріжучого протягування: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук / Е.К. Посвятенко. – К., 1993. – 35 с.
2. Посвятенко, Е.К. Інженерія деталей, оброблених протягуванням: монографія / Е.К. Посвятенко, Я.Б. Немировський, С.Є. Шейкін та ін. – Кропивницький : Видавець Лисенко В.Ф., 2021. – 466 с.

Посвятенко Е.К., Посвятенко Н.І., Рибак І.П.
Національний транспортний університет, Київ, Україна

МЕХАНІКА ЗАГЛИБЛЕННЯ ЛІНІЙНОГО ІНДЕНТЕРА У ПОВЕРХНЮ ДЕТАЛІ

Важливу роль у поліпшенні показників надійності та експлуатаційних властивостей деталей машин відіграють спеціально створені регулярні рельєфи поверхонь останніх [1–3]. Для реалізації ХПД у цьому випадку використовується серійне обладнання: верс-

тати, преси, волочильні стани тощо. На відміну від інших способів модифікування, цей процес може бути формоутворювальним, тобто заготовка отримує нові потрібні розміри, які поєднуються з регулярними рельєфами поверхневого шару деталі.

Нормальна сила P , тобто сила, що діяла на лінійний індентор у напрямку формування канавки рельєфу, створювалась на гідравлічних пресах: лабораторному ($P_{\max} = 0,02$ МН; рис. 1) і випробувально-дослідницькому ($P_{\max} = 0,2$ МН; рис. 2).



Рис. 1 – Лабораторний прес Hydraulic shop press



Рис. 2 – Гідравлічний прес ПММ-200

Лінійні індентори, що слугували для отримання одиничних канавок рельєфів, були виготовлені із швидкорізальної сталі Р18 (63 HRC; $\sigma_{\text{зг}} = 320$ кг/мм²; ударна в'язкість 3,5 Дж/м²; теплостійкість 550 °С). Робоча поверхня інденторів шліфувалась і полірувалась до шорсткості $Ra \leq 0,02$. Подвійний кут при вершині становив: $\alpha = 60^\circ; 70^\circ; 80^\circ; 90^\circ$, радіус при вершині був рівним $\rho = 0,005; 0,02; 0,1; 0,5$ мм. Глибина канавок h мікро- і макрорельєфу знаходилась в межах 0,02–5,00 мм. Досліджувані зразки, на котрі наносились канавки рельєфу, виготовлялись із матеріалів, механічні властивості яких подано у табл. 1.

Досліди показали, що при подвійному куті при вершині лінійного індентора $\alpha = 60^\circ$ і радіусі при вершині $\rho = 5$ мкм між силою заглиблення P у зразок із сталі 38ХН3МА і глибиною канавки h спостерігається залежність $h/P = 0,075$, а при силі $P = 0,02$ МН формується канавка глибиною $h = 2$ мм.

Таблиця 1 – Марка та механічні властивості матеріалів

Матеріал	Стан	Властивості				
		HB/HV10 кг/мм ² /МПа	σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ , %	ψ , %
Сталь 38ХНЗМА, крупногабаритні від- повідальні деталі	гартування + середнє відпус- кання	260/2700	790	620	11	33
Сталь 12Х18Н10Т, корозійностійка ау- стенітна	гартування, 1050 °С	170/1950	510	200	40	55
Бронза ливарна оло- в'яниста ОЦС 5–5–5	лиття у кокіль	60/700	160	100	6	10
Латунь деформівна Л62, деталі, отриму- вані холодним пре- суванням	відпал	56/600	330	110	49	–
Дуралюмін Д16 (2117), за ДСТУ 11069–01	природно зіста- рений плакова- ний	27/300	520	380	11	15
Титановий сплав ВТ6 (6% Al; 4% V); деталі високої пи- томої міцності	лиття у кокіль у захисній атмо- сфері + відпал	270/2900	900	770	10	30
Чавун сірий ферит- но-перлітний СЧ20; блоки і гільзи ДВЗ; станини верстатів	виплавка шихти у вагранках та електропечах	230/2500	200	–	–	–
Чавун сірий ферит- ний ковкий КЧ 33– 8; фланці; картери редукторів; важелі	графітизуючий відпал білих до- евтектичних ча- вунів	160/1750	320	–	8	–

На рис. 3 дано загальний вигляд такої канавки. На рис. 4 показана схема дії сили P заглиблення лінійного індентора у металевий зразок. При розробці цієї схеми за основу була прийнята схема проф. Давиденкова Н.Н. (Некоторые проблемы механики материалов. Ленинград, 1943). На рис. 4: h – глибина заглиблення; α – кут при вершині індентора; ρ – радіус округлення вершини індентора; h_1 – висота ви-

ступів матеріалу після заглиблення індентора; A – площа цих виступів; B – площа поперечного перерізу утвореної канавки.

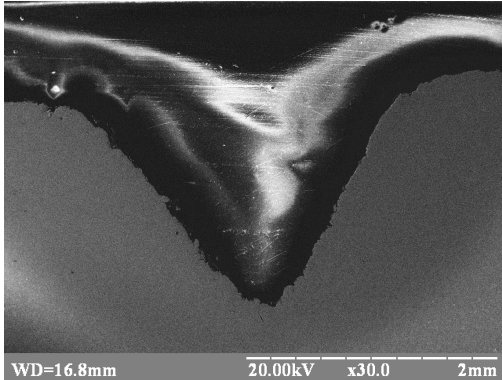


Рис. 3 – Мікрофотографія канавки, отриманої заглибленням трикутного лінійного індентору

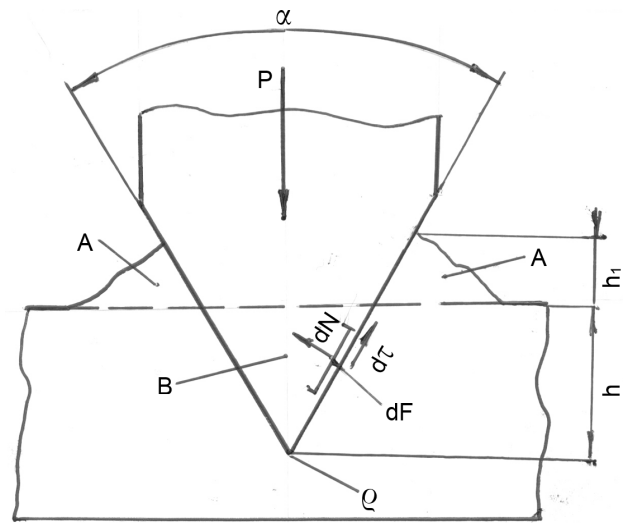


Рис. 4 – Схема дії сили заглиблення на елементарну площадку твірної індентора

Проекція елементарної нормальної сили dN на напрямок дії зовнішньої сили P дорівнюватиме:

$$dN = \sigma_N \sin \frac{\alpha}{2} dF, \quad (1)$$

де σ_N – контактне напруження; dF – площа елементарної площадки.

Проекція дотичного напруження $d\tau$:

$$d\tau = \eta \sigma_N \cos \frac{\alpha}{2} dF, \quad (2)$$

де η – коефіцієнт тертя (за законом Амонтона–Кулона).

Таким чином:

$$P = \int_0^F \left(\sigma_N \sin \frac{\alpha}{2} + \eta \sigma_N \cos \frac{\alpha}{2} \right) dF, \quad (3)$$

або після інтегрування:

$$P = \pi h^2 \sigma_N \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \left(\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + \eta \right), \quad (4)$$

чи:

$$h = \sqrt{\frac{P}{\pi \sigma_N \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \left(\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + \eta \right)}}. \quad (5)$$

Для визначення глибини h канавки за залежністю (5) слід знати значення середнього коефіцієнта тертя η та контактного напруження σ_N . Приймаємо середнє значення для заглиблення лінійного індентора у всі матеріали $\eta \approx 0,3$. Контактне напруження σ_N можна визначити із залежності (4), знаючи силу P і глибину канавки h .

На рис. 5 подано приклади наших експериментів по отриманню канавок при заглибленні лінійного індентора, причому на позиції (рис. 5, а) – досліджуваний зразок – сталь 38ХН3МА; $h = 3$ мм; $\rho = 0,02$ мм; $\alpha = 70^\circ$; на позиції (рис. 5, б) – досліджуваний зразок – бронза ОЦС 5–5–5; $h = 1$ мм; $\rho = 0,5$ мм; $\alpha = 90^\circ$.



Рис. 5 – Поперечний переріз канавок, які отримано у зразках зі сталі 38ХН3МА (а) і бронзи ОЦС 5–5–5 (б) при заглибленні лінійного індентора

У результаті проведеного дослідження встановлено наступне.

Розроблена механіка заглиблення лінійного індентора у металевий зразок, що об'єднує значення сили заглиблення з геометричними параметрами індентора, коефіцієнта тертя, контактним напруженням та глибиною канавки.

Експерименти на 8 типових представниках конструкційних матеріалів підтвердили теоретичні положення механіки заглиблення.

Процес поліпшення експлуатаційних властивостей деталей машин за рахунок нанесення рельєфів рекомендується здійснювати у такий послідовності основних операцій: підготовка поверхні під індентування; заглиблення лінійного індентора; видалення виступів металу різанням. Для отворів порожнистих деталей останнім може бути різальне протягування.

Література

1. Афтаназів, І.С. Підвищення надійності деталей машин поверхневим пластичним деформуванням: посібник / І.С. Афтаназів, А.П. Гавриш, П.О. Киричок та ін. – Житомир : ЖДТУУ, 2001. – 516 с.

2. Нахайчук, О.В. Исследование механики внедрения плоского штампа в жесткопластический материал с использованием метода конечных элементов / О.В. Нахайчук // Физ. и техн. высоких давлений. – 2004. – Т.14, № 1. – С. 71–78.

3. Посвятенко, Е.К. Підвищення експлуатаційних властивостей деталей машин рельєфами поверхні / Е.К. Посвятенко, Н.І. Посвятенко, І.П. Рибак // Вісник Нац. транспорт. ун-ту: Серія техн. науки. – К. : НТУ, 2021. – вип. 1 (48). – С. 270–282.

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

ПОКРАЩЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК АЛМАЗІВ ЗЕРНИСТОСТЕЙ 160/125-100/80, СИНТЕЗОВАНИХ В СИСТЕМІ Ni-Mn-C

Для розвитку машинобудівної галузі важливим напрямком є застосування ефективних абразивних інструментів на основі порошків синтетичного алмазу. При алмазно-абразивній обробці поверхні деталей на зносостійкість та ефективність роботи шліфувального інструменту впливають характеристики алмазних порошків, які формуються в процесі синтезу алмазу, сортування та класифікації.

Розміри кристалів алмазу, кількість включень в них і характеристики міцності багато в чому залежать від швидкості росту кристалів. У робочому об'ємі апарату високого тиску неможливо забезпечити однакові умови для росту всіх кристалів внаслідок неоднорідності температури і тиску, що призводить до утворення кристалів алмазу з різними фізико-механічними характеристиками. Як правило, кристал алмазу під час росту захоплює всі побічні фази, присутні в реакційній камері. У таких випадках включення є об'ємними дефектами кристалів алмазу, які впливають на термостійкість кристалів, що безпосередньо позначається на експлуатаційних характеристиках алмазного інструменту.

В зв'язку з цим для підвищення працездатності абразивного інструменту актуальним є удосконалення способів отримання порошків синтетичного алмазу з різним вмістом об'ємних дефектів і з ви-

сокою однорідністю за міцністю і лінійними розмірами. Тому для отримання алмазних порошків, які синтезовано в системі Ni-Mn-C, однорідних за міцністю та лінійними розмірами необхідно покращувати їхні фізико-механічні та фізико-хімічні властивості шляхом розробки методів впливу на об'ємні дефекти зерен дією силових полів (гравітаційних, магнітних) та хімічної і термохімічної обробок.

В процесі роботи алмазного абразивного інструменту основним видом зносу синтетичних алмазів є крихке руйнування окремих виступаючих частин алмазного зерна внаслідок розвитку мікротріщин у ньому при контакті з поверхнею обробленою деталі. В зв'язку з цим для підвищення працездатності абразивного інструменту актуальним є удосконалення способів отримання порошків синтетичного алмазу абразивного призначення з різним вмістом об'ємних дефектів і з високою однорідністю за міцністю і лінійними розмірами.

В Інституті надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України розроблено технологію отримання шліфпорошків алмазу марок АС4-АС50, яка включає подрібнення алмазної сировини, її розділення за крупністю та формою зерен алмазу. В наш час серійні алмазні порошки вітчизняного і зарубіжного виробництва являють собою сукупність зерен певної зернистості, які в значній мірі розрізняються за основними технологічними характеристиками якості. Для алмазів марки АС6 зернистості 160/125, синтезованих в системі Ni-Mn-C, виконано аналіз вмісту алмазів за марками відповідно до їх міцності. Однорідність алмазних шліфпорошків марок АС6 зернистості 160/125-100/80 становить приблизно 25%.

В зв'язку з цим актуальним є створення методів, що забезпечують отримання шліфпорошків алмазу марок АС6-АС20, які мають підвищену абразивну здатність і є однорідними за фізико-механічними та розмірними характеристиками.

Дослідження проводили на алмазах зернистостей 160/125-100/80, синтезованих в системі Ni-Mn-C. Алмазні шліфпорошки оцінювали за зерновим складом (вмісту основної фракції (ОФ)), питомою магнітною сприйнятливістю (χ), міцністю у вигляді показника міцності при статичному стисненні (P), термостійкістю за коефіцієнтом термостабільності ($K_{ТС}$), однорідністю за міцністю ($K_{\text{одн.міц}}$) та однорідністю за розмірами ($K_{\text{одн.л.р}}$).

Елементний склад домішок і включень (β , % (за масою)) в шліфпорошках алмазу визначали шляхом рентгенофлуоресцентного інтегрального аналізу з використанням растрового електронного мікрос-

копа BS-340 і енергодисперсного аналізатора рентгенівських спектрів Link-860 (Велика Британія). Результати представлено у табл. 1.

Таблиця 1 – Оцінка фізико-механічних та геометричних характеристик

Зернистість, мкм	Ni-Mn-C				
	P, H	$K_{\text{одн.міц.}}$	$K_{\text{ТС}}, \%$	ОФ, %	$K_{\text{одн.л.р.}}, \%$
160/125	7,2	25	61	72	22,4
125/100	6,3	23	63	71	21,5
100/80	5,9	24	59	71	24,7

Для покращення характеристик алмазів зернистостей 160/125-100/80, синтезованих в системі Ni-Mn-C шліфпорошки алмазу марки АС6 піддавали механічному дробленню в планетарному млині, а також ультразвуковій обробці, розподілу у магнітному полі з отриманням фракцій алмазів, які відрізняються між собою за магнітними властивостями. Механічне і ультразвукове вибіркове дроблення забезпечує руйнування друз, зростків і зерен, що мають раковини і включення, в результаті чого забезпечується підвищення ізометричності порошків. Для підвищення однорідності за лінійними розмірами зерна алмазу додатково розділяли на ситах R-20 з виділенням вузьких зернистостей. Алмази немагнітних фракцій додатково піддавали термохімічній обробці у лужному сплаві при температурі не більше 450 °С. За рахунок хімічної овалізації при обробці зерен алмазу розплавом твердофазного окислювача ефект овалізації відбувається за рахунок окисної дії атомарного кисню. Взаємодія атомарного кисню з атомами алмазу в першу чергу відбувається на активованих центрах, які на поверхні зерен алмазу з'являються на виступах, де накопичується максимум дислокацій, що приводить до збільшення вмісту основної фракції окремої зернистості. Алмазний порошок марки зернистості 100/80, отриманий за існуючою технологією, піддавали хімічній обробці.

Результати розділення алмазних порошків показано на прикладі розділення алмазів марки АС20 зернистості 100/90 (табл. 2 та 3).

Встановлено, що в алмазних порошках після розділення за формою їх зерен та додаткової класифікації на ситах R-20 збільшується коефіцієнт однорідності за характеристиками міцності алмазних зерен більше ніж в 1,5 рази. Підвищення вмісту основної фракції в складі порошків вузьких зернистостей, отриманих в системах Ni-Mn-C ~ на 10 % сприяє збільшенню коефіцієнта однорідності за лінійни-

ми розмірами не менше ніж в 1,7 рази. Шліфпорошки марки АС20 зернистістю 100/90, виділені за розробленою методою із алмазів, синтезованих в системах Ni-Mn-C фракцій магнітних і немагнітних фракцій (з $\chi = 69,1 \times 10^{-8}$ і $7,3 \times 10^{-8}$ м³/кг). Міцність магнітної фракції за рахунок більшого вмісту в них внутрішньокристалічних металевих домішок і включень трохи вище в порівнянні з міцністю немагнітних фракцій підвищується в 1,25 рази. При цьому термостійкість шліфпорошків алмазу магнітних фракцій у порівнянні з термостійкістю немагнітних фракцій, синтезованих знижується ~ в 1,5 рази.

Таблиця 2 – Отримання алмазних порошків марки АС20 вузької зернистості 100/90

Зернистість	Характеристики				
	ОФ, %	$K_{одн.л.р.}, \%$	P, H	$K_{одн.міц.}, \%$	Марка
100/80 (вих.)	74,1	17,9	6,17	15,9	АС6
100/90	83,5	29,7	16,2	26,5	АС20

Таблиця 3 – Фізико-механічні характеристики алмазів марки АС20 зернистості 100/90, синтезованих в системах Ni-Mn-C після розділення в магнітному полі

Фракція розділення	Характеристики				
	$\chi, \times 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$		вміст домішок, % (за масою)	P, H	$K_{ТС}, \%$
	алмазу	включень			
магнітна	69,1	2052	1,505	16,8	44
немагнітна	7,3	693	0,765	13,5	68
вихідна	16,8	1526	1,141	16,2	53

Таким чином в результаті впливу фізико-механічної обробки зерен алмазів та їх магнітного сортування на ряд фракцій отримано шліфпорошки алмазу, що відрізняються між собою за магнітними властивостями через різну кількість захопленого металу-розчинника для створення шліфувального інструменту підвищеної зносостійкості.

*Сагалович А.В., Сагалович В.В., Попов В.В.,
Дуднік С.Ф. ПАО «ФЕД»,
Олійник А.К. ДП завод ім. Малишова, Харків, Україна*

ТРИБОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ АЗОТОВАНИХ У ПЛАЗМІ ТЛІЮЧОГО РОЗРЯДУ ЗРАЗКІВ З ТИТАНОВОГО СПЛАВУ ВТ5 У ПАРАХ З РІЗНИМИ МАТЕРІАЛАМИ

Область застосування титанових сплавів може бути суттєво розширена, якщо модифікувати їх поверхню різними методами обробки або нанесення покриттів, які підвищують їх зносостійкість, антифрикційні та інші властивості. Одним із сучасних методів поліпшення експлуатаційних характеристик титану та сплавів на його основі в умовах тертя та підвищених контактних навантажень є метод іонно-плазмового азотування. Метою даної роботи було дослідження впливу азотування сплаву ВТ5 в плазмі тліючого розряду, що збуджується в порожнистому катоді, на його трибологічні характеристики в парах з різними матеріалами в паливі Т-1 та в умовах сухого тертя.

Для досліджень і випробувань були виготовлені зразки зі сплаву ВТ5 у вигляді кубів зі стороною 10 мм з шорсткістю поверхні Ra 0,63. Азотування зразків проводили в плазмі тліючого розряду, що збуджувався в порожнистому катоді у формі кубу з розмірами 100x100x100 мм³, при температурі 975±15 °С і тиску 58±2 Па протягом 4 годин в азотно-аргоновій газовій суміші з вмістом азоту 78%. Трибологічні випробування виконували на машині тертя 2070 СМТ-1 за схемою «кубик–ролик». Випробування в умовах тертя з мастилом проводилися при навантаженні 200 Н. Швидкість ковзання при випробуваннях становила 1,3 м/с, час випробування 75 сек. Змащування здійснювалося шляхом занурення рухомого контртіла у ванну з паливом ТС-1, ГОСТ 10227-86. Випробування в умовах сухого тертя здійснювалося при навантаженні 100 Н та швидкості ковзання 0,785 м/с, час випробувань – 30 хв. У якості нерухомого зразка – «колодки» використовували кубічні зразки. У якості рухомого зразка – «диска» – стандартні зразки діаметром 50 мм і висотою 12 мм, виготовлені з різних матеріалів, що застосовуються в різних галузях машинобудування та авіабудування. (Сталь 12Х18Н10Т, сталь ШХ-15, азотована сталь 20Х3МВФ, цементована сталь 20Х3МВФ, високоміцний чавун ВЧ2169-2 – аналог ВЧ80-2, бронзи Бр.СуЗНЗЦЗС20Ф0,2, Бр.О10С2НЗ, Бр.СубФ0,9).

Дослідження зразків із сплаву ВТ5 після азотування показали, що шорсткість поверхні Ra знаходилася в межах 0,58–0,64, а твердість поверхні HV5 становила 525 ± 20 кгс/мм² за твердості основи 325 ± 15 кгс/мм². У структурі азотованого шару виявляється тонкий, товщиною 3–4 мкм, темний зовнішній шар, далі світлий суцільний однорідний шар товщиною 25–30 мкм, за яким знаходиться проміжний шар між основою сплаву та суцільним світлим шаром. Трибологічні випробування азотованих зразків зі сплаву ВТ5 в парах з різними матеріалами в умовах змащування в паливі Т-1 показали, що низьку зношуючу здатність по відношенню до азотованого титану ($< 2,4 \cdot 10^{-4}$ мм³/с), а також коефіцієнти тертя на рівні від 0,08 до 0,12 в порядку їх зростання мали бронзи БрСу3Н3Ц3С20Ф0,2, Бр.О10С2Н3, БрСу6Ф0,9, сталь ШХ-15, чавун ВЧ2169-2, цементована сталь 20Х3МВФ, в парі з якою мала колодка навіть деякий приріст у вазі. Доріжки тертя з цією групою матеріалів при візуальному огляді ледь помітні на поверхні азотованих зразків і практично не мали зміни в структурі поверхні порівняно з вихідною до випробувань. Азотована сталь 20Х3МВФ і сталь 12Х18Н10Т мали однакове значення коефіцієнту тертя 0,54 і значно більшу величину зносу контактуючих матеріалів у парах тертя. Для прогнозування поведінки роботи вузлів та механізмів у разі недостатньої кількості мастила або перебоїв у його подачі необхідно знати характеристики вибраної трибопари також і в умовах сухого тертя. На ПАТ «ФЕД» при виробництві різних агрегатів широко використовується цементована сталь 20Х3МВФ, яка була обрана контртілом для такого роду випробувань з урахуванням умов роботи цих агрегатів. При проведенні випробувань було встановлено, що в початковий момент протягом 75 с випробувань коефіцієнт тертя мав практично постійну, величину рівну 0,34. Після цього періоду часу величина коефіцієнта тертя стала непостійною і нижчою, порівняно з початком випробувань, з коливаннями значень від 0,32 до 0,2, які збільшилися до кінця випробувань до значень від 0,26 до 0,52. Після випробувань пари тертя «азотований сплав ВТ5-цементована сталь 20Х3МВФ» без мастила колодка додала у вазі, також як і після випробувань такої пари з мастилом. Але якщо після випробувань такої пари з мастилом поверхня азотованого сплаву титану в області контакту з контртілом не зазнала істотних змін, то в даному випадку утворилася доріжка тертя, яка, як показали виміри, мала глибину близько 13 мкм. Зміна величини коефіцієнта тертя в процесі випро-

бувань можна пояснити зміною складу матеріалу поверхні колодки при її зносі під час випробувань. яка викликає нестабільність величини коефіцієнта тертя та збільшення амплітуди його коливання. При збільшенні глибини доріжки тертя адгезійна взаємодія матеріалу ролика посилюється за рахунок появи контакту з не зміцненим сплавом титану, ковзання яким супроводжується процесом перенесення матеріалу ролика і актами локального схоплювання контактуючих матеріалів.

Проведені в даній роботі дослідження показали, що в залежності від матеріалу, що контактує в парі тертя з азотованим сплавом VT5, можна забезпечити ковзання з досить низькими значеннями коефіцієнта тертя та зносу матеріалів трибопари при вибраних у цій роботі умовах випробувань.

Саленко О.Ф., Цуркан Д., Костенко А.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОНКОСТІННИХ ОБОЛОНКОВИХ FDM-ВИРОБІВ ЗА РАХУНОК ЕФЕКТІВ АВТОСКРІПЛЕННЯ

Аддитивне виробництво нині набуває все більшого застосування і поширюється на галузі, які донедавна вважалися практично консервативними. Так званий 3-D друк нині все ширше застосовується у машинобудуванні, аеро- та космонавтиці, автомобіле-будуванні, будівництві, біоінженерії тощо. Значні резерви і перспективи зберігаються у виготовленні виробів, що мають осесиметричну форму, серед яких важливе місце залишається за баками різного функціонального призначення.

У комплексі питань, висунутих сучасним спеціальним машинобудуванням, питання про раціональне проектуванні порожнистих циліндричних деталей, призначених чинити опір значним внутрішнім тискам, знаходиться у окремому положенні [1]. Специфічність вимог, що пред'являються до подібного роду виробів, та недостатність систематизованих методик їх розрахунку і випробувань змушують проектувальника в кожному окремому випадку проводити теоретичні до-

слідження або користуватися застарілим довідковим матеріалом. Ще гострішим постає питання проектування виробів, які виготовляються адитивними процесами, зокрема FDM із використанням інженерних високоміцних полімерів. Однак впровадження FDM процесів для вирішення зазначених проблем стикається із рядом складнощів, перед усім, обмеженою міцністю баків, а також порожнистістю отриманої структури матеріалу після екструзії.

Якщо піддати порожнистий циліндр внутрішньому статичному тиску, то, як відомо, в стінках його виникне складний напружений стан, що характеризується в загальному випадку трьома головними напруженнями, різними за величиною і за знаком [1, 2].

В межах пружного опору матеріалу задача про розподіл напружень в циліндрі, що зазнає деформації під дією заданих навантажень, вирішується просто, і функціональна залежність між величинами головних напружень в будь-якій матеріальній точці циліндра, його розмірами і внутрішнім тиском визначається рівняння Ляме. Однак при встановленні меж пружного опору циліндра, тобто області безпечно допустимих значень зазначених головних напружень, рішення задачі ускладнюється, тому що дослідницькі дані про міцність деталі, що знаходиться в будь-якому складному напруженому стані, вельми обмежені. Це особливо стосується виробів отриманих FDM, як таких, що мають значну анізотропію властивостей, а також нещільну структуру. Навіть для однорідних ізотропних матеріалів відомо, що допустиме значення найбільшого за абсолютною величиною головного напруження є функцією значень двох інших головних напружень. Функція як правило невідома, приймається гіпотетично, застосовуючи ту чи іншу теорію міцності.

Відповідно до розв'язку задачі про опір циліндра з теорії міцності найбільших сколюючих напружень, максимальне значення межі пружного опору циліндра не може перевищувати половини значення, межі пружності його матеріалу. Отже, якщо високоміцні пластики мають межу міцності на рівні 60–95 МПа (при температурах до моменту скловання), максимальні напруження, що виникають в оболонці, не повинні перевищувати 27–30 МПа. Однак для FDM ці значення будуть ще меншими (приблизно на рівні 13–18 МПа) [3], оскільки у готовому виробі щільного контакту між шарами не існує, а міцність обумовлюється утвореними під час друку площинками адгезійного зчеплення, рис. 1.

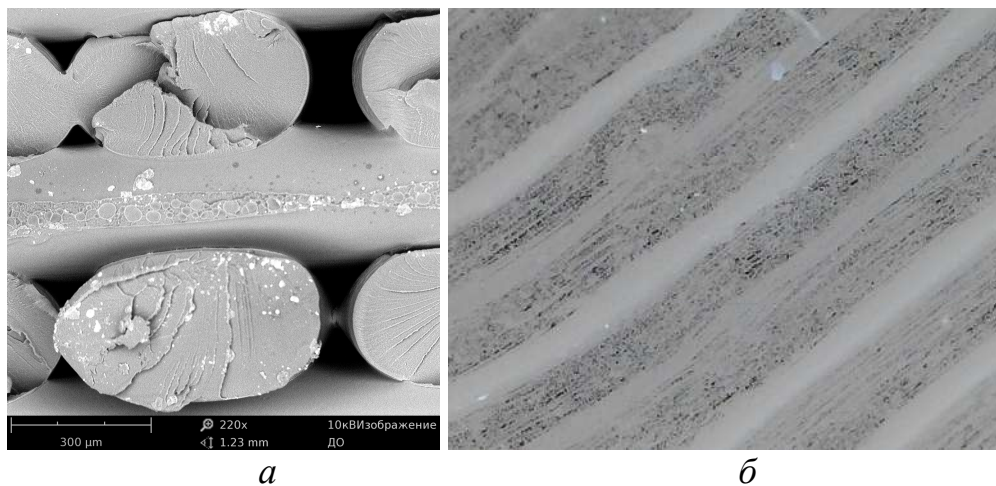


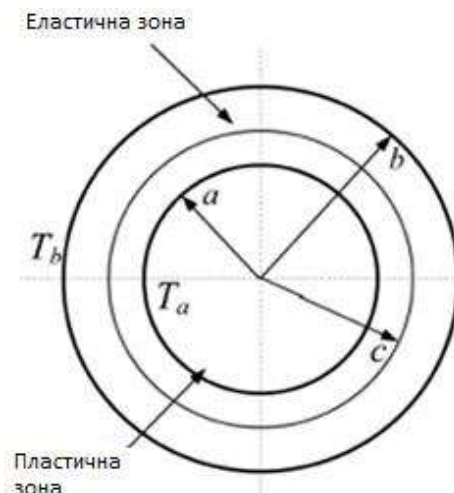
Рис. 1 – Електронне фото (а) та мікрофото (×40) фрагменту викладки філаменту (б)

Оскільки відомо, що підвищувати межу опору статичному навантаженню газом або рідиною можна тільки двома аналогічними за своїм принципом, але відмінними за ефектом і здійсненню способами: скріплюючи з натягом кілька циліндричних шарів і автоскріпленням циліндрів-моноблоків, виконано спробу застосувати даний підхід і для виробів, отримуваних FDM.

В процесі автоскріплення матеріал циліндричної заготовки частково або повністю переходить за межу пружності, і в стінках автоскріпленого циліндра виникає напружений стан, аналогічний стану скріпленого багат шарового циліндра (рис. 2). Роботу окремих циліндрів при цьому виконують концентричні, послідовно шари суцільного матеріалу, що перейшли за межу пружності, які створюють в циліндрі необхідний ефект скріплення: попередні напруження стиснення і розтягування, а отже, і більш рівномірний розподіл напружень під дією тиску.

Для конструкційних пластиків із характеристиками, наведеними в табл. 1, автоскріплення можливе, Якщо шари формуватимуться на циліндричній оправці, про що зазначалося в роботі [4] або [5], перехід у пластичну зону внутрішнього шару можливий при застиганні зовнішнього шару внаслідок термоусадження пластику.

Практично процес автоскріплення під час FDM друку можливий завдяки зміні параметрів друку, зокрема: температури екструдера T_e , швидкість подачі філаменту v_f , температура в камері принтера T_0 . Додатковим чинником є щільність викладання філаменту δ та відстань між соплом та поверхнею викладки (крок по координаті h_z).



Матеріал	Міцність під час розривання, МПа	Модуль Юнга, МПа	Питома в'язкість, Дж/м	Тепло-стійкість, °С
PC	30–40	1950	28–90	127
ABS	42	1900	190	95
PA6	30–49	2100	43–106	93
PA12	28–32	1150	55–135	82
PEEK	97	3000		160
ULTEM 9085	45	2150	48–120	153
PPSF	55	2100	58	189

Рис. 2 – Автоскріплення

Робота передбачала проведення віртуальних експериментів в у програмному середовищі ANSYS, що дозволило за створеною моделлю баку вирішити ряд стаціонарних та нестационарних просторових задач механіки деформованого твердого тіла, задач механіки рідини та газу, теплопередачі та теплообміну, електродинаміки, акустики, а також механіки пов'язаних полів. Статистичну обробку даних та планування експерименту виконано у середовищі STATGRAPHICS. Для досліджень було розроблено модель сферичного баку із ніпелем підведення робочого середовища, рис. 3, яка передбачала наявність двох стінок із стільниковим заповненням. Така конструкція баку обумовлена тим, що залучений стільник дозволяє не тільки пов'язувати дві концентричних оболонки, а і забезпечити високу теплоізоляційну властивість баку.

Процес автоскріплення моделювали як зміною температури T_0 у камері принтеру після викладання першого (базового) шару, так і зміною умов екструзії. Симуляційні результати порівнювали із натурним експериментом, що полягав у оцінці напружень у оболон-

ках баку до моменту його руйнування. Змінні параметри – товщина оболонки баку (x_1), висота стільника (x_2), товщина стінки стільника (x_3), розмір комірки стільника (x_4). Вибір саме цих параметрів був обумовлений пошуком раціональних конструктивних параметрів баку при мінімізації ваги (за максимумом p_{max} , а отже і $[\sigma]$ виробу). Приклад модельних результатів поданий на рис. 4. Автоскріплення виконували за рахунок зміни умов екструзії. Вважали, що напруження сформовані при застиганні зовнішнього шару від температури $T_e = 210$ °С до температури основи (при $T_0 = 20$ °С), яке відбувалося протягом 12 хв. дозволить сформувати залишкові напруження у шарі на рівні 15–18 МПа; при цьому максимальне очікувані напруження до руйнування мають складати 28–32 МПа.

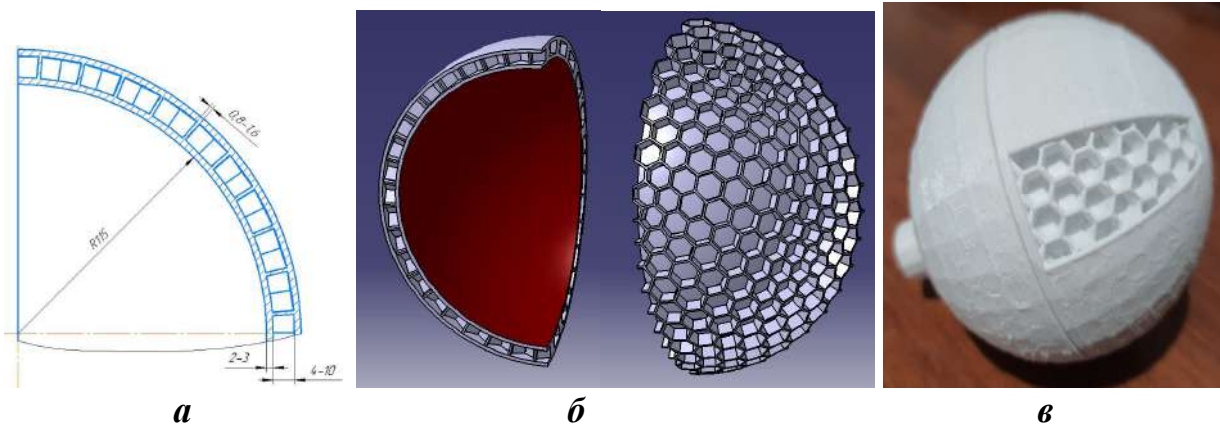


Рис. 3 – Параметри моделі (а), модель (б) та натурний демонстратор (в)

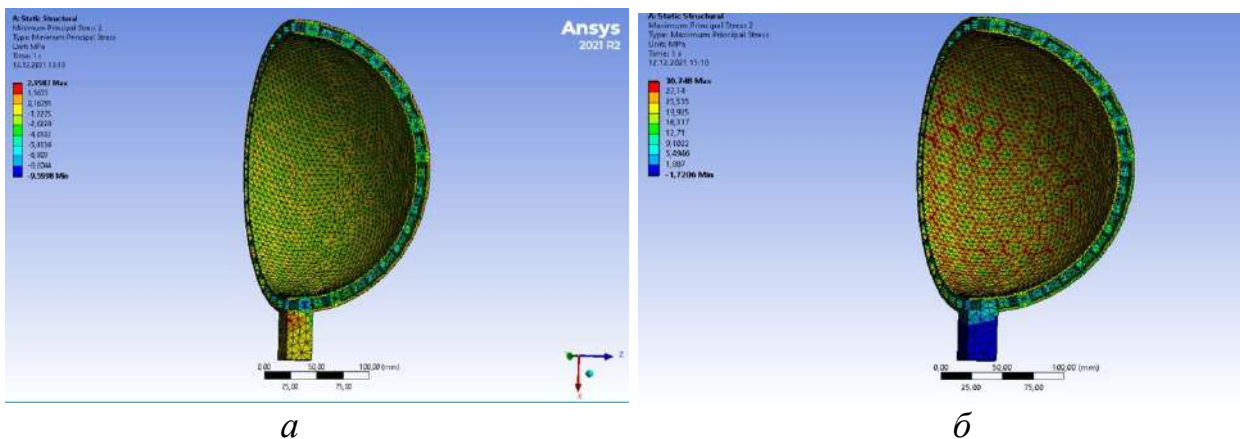


Рис. 4 – Нормальні (а) і тангенціальні (б) напруження, що виникають у баці при навантаженні внутрішнім тиском у 5 МПа

Друк демонстратора виконували із роз'ємом баку по екваторіальній лінії, матеріал PA12, режими друку: швидкість викладання $v_f = 27$ мм/хв.; швидкість обходу контуру – 150 мм/хв.; температура поверхні столу для викладення першого шару – 65 °С, крок $h_z =$

0,12 мм; щільність викладання філаменту $\delta = 90\%$. На рис. 5. наведений розподіл напружень в радіальному напрямку вздовж стінки стільника.

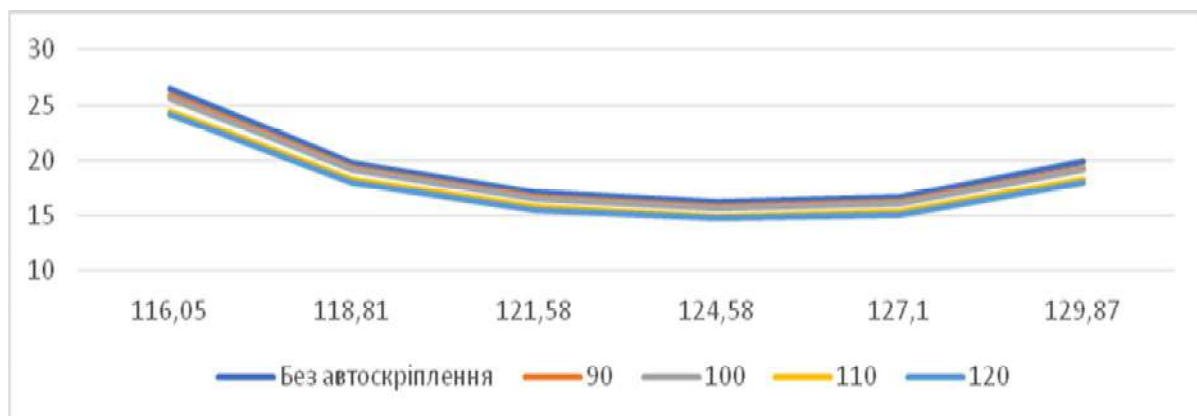


Рис. 5 – Розподіл еквівалентних напружень за Мізесом в поперечному перерізі стінки баку

Встановлено, що збільшення перепаду температур для даного виду пластику (РА12) суттєво впливає на розподіл еквівалентних напружень, внаслідок чого при статичному навантаженні тиском у 5,0 МПа напруження у перетині знижуються на 10–12% і падають на $\Delta\sigma_e = 3,4$ МПа. При цьому максимальне значення напружень спостерігається на внутрішній стінці, що відповідає результатам рішень задач автоскріплення [2].

Вплив факторів x_1 – x_4 описується регресійним рівнянням

$\sigma_e = 11,4 - 1,13x_1 - 0,0625x_2 + 4,57x_3 - 1,67x_4 + 1,03x_1x_3 - 0,42x_1x_4$,
де рівні факторів x_1 – x_4 відповідають рис. 3, а.

Слід зазначити що ефект від скріплення шарів поміж собою вищий при більшій жорсткості системи – при зменшенні розміру стільника та збільшенні товщини його стінки, що відповідає принципу компенсації створеною зовнішньою оболонкою напружень тих, що виникають від дії внутрішнього тиску.

Таким чином, проведено теоретичне дослідження процесу автоскріплення для полімерних осесиметричних виробів, отриманих методом FDM друку. Для забезпечення процесу автоскріплення при FDM застосовували проміжне охолодження основи друку, а напруження створювалися термоусадженням при застиганні зовнішнього шару. В результаті еквівалентні напруження за Мізесом вдалося зменшити на 10–12%.

Література

1. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести / Н.Н. Малинин – М. : Машиностроение, 1975. – 399 с.
2. Комаишко, С.Г. Автофретирование как способ повышения прочности труб, работающих при давлениях до 250 МПа в условиях температурных перепадов / С.Г. Комаишко, М.В. Моисей, В.Я. Дмитриев // Обработка материалов давлением. – 2012. – № 1 (30). – С. 243–249.
3. Brian Evans, Practical 3D Printers: The Science and Art of 3D Printing, Apress 2012, ISBN 9781430243939
4. Саленко, О. Про можливість створення герметичних міцних конструкцій ракетно-космічної техніки методами FDM друку / О. Саленко, К. Аврамов, І. Дерев'яно, О. Самусенко // Мат. наук.-техн. конф., 2021.
5. Reeser, Kyle. 3D Printing and Additive Manufacturing / Kyle Reeser, Amber L. Doiron. – Dec. 2019. – P. 293–307.

Сапон С.П. Національний університет
«Чернігівська політехніка», Чернігів, Україна

ПРОБЛЕМАТИКА МОНІТОРИНГУ ВІБРАЦІЙ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ШПИНДЕЛЬНИХ ВУЗЛАХ

Ключовою особливістю smart-верстатів нового покоління є можливість самостійного моніторингу та керування кількома технологічними модулями на основі технологій штучного інтелекту. Відповідно, порівняно з традиційними шпиндельними вузлами (ШВ), інтелектуальні ШВ для забезпечення необхідних динамічних характеристик, експлуатаційних параметрів, довговічності, продуктивності повинні володіти функціями самостійного розпізнавання, прийняття рішень, адаптивного управління. Для реалізації цих функцій ШВ повинні володіти автономністю, здатністю самонавчання, інтегрованістю і відкритістю. Загальна концепція інтелектуальних ШВ детально висвітлена в роботі [1]. В даній роботі увага зосереджена на моніторингу та управлінні вібраціями, як одній з ключових функцій інтелектуальних ШВ.

Функція моніторингу та управління вібраціями в інтелектуальному ШВ реалізована трьома модулями: розпізнавання (моні-

торинг стану в режимі реального часу), прийняття рішень (виявлення/прогнозування вібрацій) та управління (активне управління вібраціями).

Модуль розпізнавання включає датчики переміщення та акселерометри, інтегровані в конструкцію шпинделя для вимірювання сигналів вібрації оснащення для закріплення різального інструменту та корпусу шпинделя. З модуля розпізнавання виміряні вібраційні сигнали в якості вхідних даних імпортуються в модулі прийняття рішень і управління.

У модулі прийняття рішень виміряні вібраційні сигнали аналізуються за допомогою сучасних методів обробки сигналів. Характеристики, які описують стан процесу обробки, відокремлюються з вібраційних сигналів, а потім вводяться в алгоритми розпізнавання образів для діагностування типу, причин та прогнозування розвитку вібраційних процесів. З розвитком технологій штучного інтелекту для розпізнавання і аналізу вібраційних процесів успішно використовуються алгоритми штучних нейронних мереж, які теоретично можуть апроксимувати будь-яку безперервну функцію та здатні самонавчатися на основі даних спостереження безпосередньо в процесах обробки [2–4].

Для зниження вібрацій активується модуль управління. Функцією цього модуля є управління процесами, спрямованими на зниження вібрації або зупинка ШВ у випадку виявлення у модулі прийняття рішень вібраційних процесів, пов'язаних з пошкодженням компонентів ШВ або різального інструменту, які не допускають подальшу обробку.

Слід відзначити, що існують певні обмеження, які потрібно подолати для успішної інтеграції функції моніторингу та управління вібраціями в інтелектуальному ШВ. По-перше, найбільш поширеними на даний час для розпізнавання і вимірювання вібраційних сигналів є зовнішні датчики, які прикріплюються ззовні до конструкції ШВ або взагалі поза ШВ. А для того, щоб отримати якісні сигнали та зменшити розсіювання інформації важливо інтегрувати відповідні датчики безпосередньо в конструкцію інтелектуальних ШВ. При цьому це треба здійснити таким чином, щоб забезпечити надійну передачу якісного вібраційного сигналу, не створюючи обмежень для реалізації різних процесів різання. До того ж датчики повинні забезпечувати тривалий термін експлуатації або простий демонтаж для заміни чи технічного обслуговування.

Основним недоліком існуючих методів моніторингу і управління вібраціями ШВ є те, що вони в більшості працездатні вже при наявності відчутних вібрацій. Тобто вони фактично чекають на появу проблеми, засвідчують її наявність та здійснюють дії, спрямовані на її усунення. При цьому можливі ситуації, коли відбувається пошкодження різального інструменту, оснащення, ШВ або брак високовартісної деталі швидше, ніж система відреагує. В той же час більш розумним та «інтелектуальним» було б прогнозування та якнайшвидше виявлення початкової вібрації, щоб запобігти подальшому її розвитку. Це є однією з ключових функцій інтелектуальних систем моніторингу і управління вібраціями ШВ. В даному напрямку дослідженням не приділялося належної уваги.

Кожен верстат, кожен його вузол або система мають свої індивідуальні особливості, які еволюціонують. Відповідно динамічні характеристики ШВ також не є інваріантними в часі та еволюціонують в процесі експлуатації. Причому не всі абсолютно прогнозовано і далеко не лінійним чином. Тому важливо отримувати онлайн максимально достовірну інформацію про стан ШВ, його функціональні показники і характеристики. Відповідно для максимально точного діагностування стану ШВ потрібна система інтеграції та розпізнавання сигналів з різних вимірювачів та датчиків, вбудованих у ШВ. Фактично декілька інтелектуальних функцій діагностування мають бути інтегровані в одну систему моніторингу ШВ та зв'язані з системою ЧПК верстата. Наразі в комплексі ця проблема повноцінно не вирішена. Реалізувати таку систему можна тільки із застосуванням засобів штучного інтелекту, а для повноцінного її функціонування потрібно інтегрувати в промислове середовище великих даних, реалізуючи таким чином функцію відкритості. В цьому напрямку також достатньо невирішених питань.

Література

1. Cao, H. The concept and progress of intelligent spindles: a review / H. Cao, X. Zhang, X. Chen // Inter. J. of Machine Tools & Manufacture. – 2017. – 112. – P. 21–52.
2. Кабалдин, Ю.Г. Управление динамическими процессами в технологических системах механообработки на основе искусственного интеллекта / Ю.Г. Кабалдин, С.В. Биленко, С.В. Серый. – Комсомольск-на-Амуре : КНАГУ, 2003. – 201 с.

3. Искусственный интеллект и киберфизические механообрабатывающие системы в цифровом производстве / под. ред. Ю.Г. Кабалдина. – Нижний Новгород : НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2018. – 271 с.

4. Кабалдин, Ю.Г. Интеллектуальное управление технологическими системами в условиях цифрового производства / Ю.Г. Кабалдин, Д.А. Шатагин, М.С. Аносов, А.М. Кузьмишина // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2020. – № 1. – С. 3–12.

Сахнюк І.О. Технічний центр
НАН України, Київ, Україна

РОЗВИТОК СФЕРИ ТЕХНІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ В РАМКАХ МІЖНАРОДНИХ НОРМАТИВНО-ПРАВОВИХ АКТІВ, ЗАПЛАНОВАНИЙ НА 2022 р.

Інформацію подано за результатами участі 13.01.2022 р. в засідання науково-технічної ради у сфері технічного регулювання, стандартизації, метрології та метрологічної діяльності при Міністерстві економіки України (Мінекономіки) у режимі відеоконференції [1, 2].

1 Підготовка до укладення Угоди про оцінку відповідності та прийнятність промислових товарів

Із 19 січня 2022 року мало бути розпочато і триватиме півроку оцінювання інституцій інфраструктури якості України експертами Попередньої оціночної місії ЄС в рамках укладення Угоди Agreements on Conformity Assessment and Acceptance of Industrial Goods – Угоди про оцінку відповідності та прийнятність промислових товарів (далі – Угода АСАА). До інституції інфраструктури якості України належать: національні метрологічні центри, національний орган стандартизації, національне агентство акредитації, органи оцінки відповідності (рис. 1).

Метою укладення Угода АСАА є відкриття доступу промислової продукції України на ринок ЄС на основі взаємного визнання результатів робіт з оцінки відповідності на промислову продукцію за трьома пріоритетними секторами (низьковольтне електричне обладнання, електромагнітна сумісність обладнання, машини, визначеними Додатком III Угоди про асоціацію).

Мінекономіки мало забезпечити виконання пріоритетних завдань Президента та Уряду України, щодо сприяння визнанню сис-

теми технічного регулювання України на міжнародному та європейському рівні завдяки виконанню міжнародних зобов'язань та укладення Угоди АСАА. На січень 2022 р. зусиллями Мінекономіки досягнуто значного прогресу у переговорному процесі з ЄС щодо укладення Угоди АСАА.



Рисунок 1 — Національна інфраструктури якості

Наразі завершено I фазу Попередньої оціночної місії ЄС щодо стану адаптації (понад 85%) горизонтального та вертикального законодавства інфраструктури якості України до актів законодавства ЄС, результатом якої стало отримання Мінекономіки позитивного звіту європейських експертів щодо високого ступеня адаптації (відповідності) законодавства України до законодавства ЄС.

Із вересня 2021 року розпочато II фазу Попередньої оціночної місії ЄС щодо готовності інституцій інфраструктури якості України функціонувати за оновленим законодавством, під час якої європейськими експертами здійснено оцінювання системи стандартизації (20–24.09.2021) та перший етап оцінювання системи метрології України (29–30.09.2021).

За результатами оцінювання системи стандартизації європейськими експертами надано позитивну оцінку щодо імплементації Україною європейського досвіду у сфері стандартизації та ефективності впровадження європейської системи стандартизації на національному рівні.

Для забезпечення укладення Угоди АСАА та розвитку інфраструктури якості України Мінекономіки здійснено заходи щодо посилення інституційної спроможності Мінекономіки, Державних Підприємств, НОС, НААУ; розроблено понад 200 норма-

тивно-правових актів, укладено Меморандум про взаєморозуміння між Міністерством економіки України та Державним бюро метрології Республіки Хорватія та підготовлено сім проєктів міжнародних договорів щодо співробітництва, зокрема, із Польщею, Словенією, Туреччиною. Реалізується п'ять проєктів технічної допомоги, зокрема, TAIEХ, GIZ, Twinning, PTB, UNIDO на суму понад 9 мільйонів євро. Започатковано підготовку з реалізації нового проєкту технічної допомоги щодо підтримки розвитку національного органу стандартизації.

Розроблено та підтримується Комуникативна платформа з технічного регулювання України (techreg.in.ua), на якій налагоджено діалог та консультації з бізнесом та зацікавленою громадськістю з актуальних питань технічного регулювання. Функціонування Платформи продовжено за сприяння проєкту технічної допомоги «Застосування та імплементація Угоди про асоціацію ЄС — Україна у сфері торгівлі», що фінансується Урядом Федеративної Республіки Німеччини та виконується Німецьким товариством міжнародного співробітництва (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH).

З метою захисту інтересів українського виробника на міжнародному ринку забезпечено участь України у засіданнях міжнародних та регіональних організацій зі стандартизації, технічного регулювання та метрології, а також Комітету з технічних бар'єрів у торгівлі СОТ.

Успішне завершення II фази Попередньої оціночної місії ЄС стане передумовою започаткування Оціночної місії ЄС щодо готовності України до укладання Угоди АСАА, а кінцевим результатом — укладення до кінця 2022 року Угоди з «промислового безвізу» у трьох пріоритетних секторах.

2 Етапи підготовки та укладання Угоди АСАА

Станом на січень 2022 р. в рамках підготовки до укладення Угоди АСАА:

- прийнято три базові закони України: «Про стандартизацію», «Про метрологію та метрологічну діяльність», «Про технічні регламенти та оцінки відповідності»;
- прийнято три технічних регламенти в трьох пріоритетних секторах промислової продукції, що відповідають законодавству ЄС;
- прийнято 25 технічних регламентів з 27 актів законодавства ЄС, визначених Додатком III до Угоди про асоціацію;

- затверджені всі Переліки національних стандартів, що ідентичні гармонізованим європейським стандартам, для цілей застосування технічних регламентів (низьковольтне електричне обладнання – 1017 національних стандартів; електромагнітна сумісність обладнання – 201 національних стандартів; машини – 913 національних стандартів);
- сформована інфраструктура призначених органів з оцінки відповідності (призначено 56 органів) у пріоритетних секторах;
- забезпечено приєднання України до Конвенції щодо заснування Міжнародної організації законодавчої метрології (OIML). Україна повноправний член OIML з 03.04.2021 р.
- затверджено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 22.09.2021 № 1145-р. План заходів щодо розвитку системи технічного регулювання України до 2025 року;
- створено Комунікативну платформу з технічного регулювання України (techreg.in.ua) з метою налагодження прозорого діалогу з бізнесом та зацікавленою громадськістю.

Подальші дії щодо підготовки до укладення Угоди АСАА такі:

- Попередня оціночна місія ЄС.
- Оціночна місія ЄС.
- Переговорний процес щодо процедури укладання Угоди АСАА.
- Укладання Угоди АСАА.

За умови успішного завершення попередньої оціночної місії ЄС, гармонізації національного законодавства відповідно до європейських норм та політичної волі Сторін оціночна місія ЄС в Україні мала бути завершена у вересні 2022 року.

Переговорний процес щодо процедури укладання Угоди АСАА мав бути впроваджений у вересні – листопаді 2022 р.

Отримання Мандату на укладання Угоди АСАА та укладання Угоди АСАА мало бути з листопаду по грудень 2022 р. Проте терміни встановлено орієнтовні та можуть бути змінені Сторонами.

3 Плани науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт у сфері стандартизації та метрології на 2022 рік

З метою гармонізації національних стандартів з міжнародними та європейськими у проєктів плану науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт Мінекономіки у сфері стандартизації передбачено тему «Розроблення методом перекладу та прийняття 105 національних стандартів, гармонізованих з міжнародними та європейськими».

Також було передбачено виконання 5 прикладних наукових досліджень у сфері стандартизації за темами «Науково-методичне та науково-організаційне забезпечення діяльності технічних комітетів стандартизації», «Розроблення програми робіт з національної стандартизації на 2022 рік», «Науково-методичне та науково-організаційне забезпечення співробітництва в Міждержавній раді із стандартизації, метрології та сертифікації», «Науково-методичне та науково-організаційне забезпечення робіт з міжнародної і європейської стандартизації та взаємодії з міжнародними і європейськими організаціями стандартизації», «Науково-технічне забезпечення внесення 2300 національних стандартів до повнотекстової електронної бази національних стандартів та її актуалізація», а також видання 115 національних стандартів, прийнятих у 2021 р.

На 2022 р. у сфері метрології за бюджетною програмою 1201220 передбачено видатки за такими напрямками:

- «Виконання прикладних наукових досліджень у сфері метрології та стандартизації» – одна науково-дослідна робота (далі – НДР) щодо дослідження основних тенденцій розвитку міжнародної та національних метрологічних систем з метою модернізації метрологічної інфраструктури та еталонної бази України (ННЦ «Інститут метрології»). Результатом НДР має бути науково-технічний звіт щодо основних тенденцій розвитку національних метрологічних систем розвинених країн світу, зокрема проведення досліджень напрямків інноваційного розвитку ЄС та наукових проєктів EURAMET;
- «Виконання науково-технічних (експериментальних) розробок зі створення та вдосконалення державних еталонів, утримання та експлуатація державних первинних еталонів, звірення державних первинних еталонів з національними еталонами інших держав і міжнародними еталонами» – виконання одної науково-дослідної та дослідно-конструкторської роботи (далі – НДДКР) щодо створення державного первинного еталона одиниць масової (молярної) частки (концентрації) компонентів в рідких та твердих речовинах і матеріалах, чотирьох НДР щодо дослідження стабільності відтворення та зберігання одиниць вимірювання державними первинними еталонами та одної НДР щодо дослідження ступеня еквівалентності державних первинних еталонів шляхом звірень з національними еталонами інших держав і міжнародними еталонами. Виконувати НДДКР мали ННЦ «Інститут метрології», ДП «Укрметртестстандарт», ДП «Івано-Франківськстандартметрологія», ДП «НДІ «Система»;

- «Забезпечення функціонування Служби єдиного часу і еталонних частот, Служби стандартних зразків складу та властивостей речовин та матеріалів, Служби стандартних довідкових даних про фізичні сталі та властивості речовин і матеріалів» – виконання двох НДР щодо дослідження стабільності відтворення та зберігання одиниць часу і частоти та шкал часу; дослідження щодо створення стандартних зразків складу та властивостей речовин і матеріалів (ННЦ «Інститут метрології») та одної НДР дослідження щодо створення стандартних довідкових даних про фізичні сталі та властивості речовин і матеріалів (ДП «Укрметртестстандарт»);
- «Збереження та функціонування національної еталонної бази» з метою підтримки у робочому стані національної еталонної бази (державних еталонів та лінійно-геодезичного полігону), що становить національне надбання, – виконання чотирьох НДР, які мали виконувати ННЦ «Інститут метрології», ДП «Укрметртестстандарт», ДП «НДІ «Система», ДП «Івано-Франківськ-стандарт метрологія».

4 Участь наукових метрологічних центрів (НМЦ) України у діяльності міжнародних та регіональних метрологічних організацій

4.1 Участь у діяльності Міжнародного комітету з мір і ваг

З 2002 року Україна є асоційованою країною Генеральної конференції з мір та ваг (Conférence Générale des Poids et Mesures, CGPM) та з 14 жовтня 2003 року підписантом Угоди про визнання національних еталонів та сертифікатів з калібрування CIPM MRA (Міжнародне бюро мір і ваг BIPM, Comité international des poids et mesures), в рамках якої встановлюється ступінь еквівалентності національних метрологічних еталонів, які зберігаються в національних метрологічних інститутах, та забезпечується взаємне визнання сертифікатів про калібрування і вимірювання, які видаються національними метрологічними інститутами.

Таким чином забезпечуються уряди та інші сторони надійною технічною основою для більш широких угод, пов'язаних з міжнародною торгівлею, комерцією і встановленими відносинами.

НМЦ України мають право на використання логотипа CIPM MRA: ННЦ «Інститут метрології» – з 23 березня 2007 р.; ДП «Укрметртестстандарт» – з 17 серпня 2007 р.; ДП НДІ «Система» – з 30 липня 2007 р.; ДП «Івано-Франківськстандартметрологія» – з 11 грудня 2013 р.

ННЦ «Інститут метрології», ДП «Укрметртестстандарт», ДП НДІ «Система», ДП «ІваноФранківськстандартметрологія» є призначеними інститутами в рамках Угоди CIPM MRA.

23 травня 2018 року Верховна Рада України прийняла Закон «Про приєднання України до Метричної конвенції». Міністерство закордонних та Європейських справ Франції повідомило BIPM, що Україна приєдналась до Метричної Конвенції, з датою приєднання 7 серпня 2018 року. У 2020–2021 рр. НМЦ України взяли участь у засіданнях Консультативних комітетів CIPM з довжини (CCL), з акустики, ультразвуку та вібрації (SSAUV), з електрики та магнетизму (SSEM), з маси та пов'язаних з нею величин (SCM), з фотометрії та радіометрії (SCPR), з кількості речовини: метрологія у хімії та біології (SCQM), з іонізуючих випромінювань (SCRI), з термометрії (SCT), з часу та частоти (SCTF), з одиниць (SCU).

4.2 Діяльність НМЦ у рамках Угоди про визнання національних еталонів та сертифікатів з калібрування (CIPM MRA)

У 2020–2021 роках національні метрологічні центри України взяли участь у засіданнях Консультативних комітетів CIPM з довжини, акустики, ультразвуку та вібрації, електрики та магнетизму, маси та пов'язаних з нею величин, фотометрії та радіометрії, кількості речовини, метрології у хімії та біології, іонізуючих випромінювань, термометрії, часу та частоти, одиниць.

Загальна кількість СМС-рядків та звірень за НМЦ України та метрологічними галузями, що опубліковані в Базі даних ключових звірень (KCDB) на сайті Міжнародного бюро з мір та ваг (BIPM) в рамках Угоди про взаємне визнання національних еталонів і сертифікатів калібрування й вимірювання, що видаються національними метрологічними інститутами CIPM MRA.

Калібрування у BIPM У 2019 р. ДЕТУ 02-01-09 (1 kg), що зберігається в ННЦ «Інститут метрології», пройшов калібрування у BIPM (сертифікат № 48). У 2020 р. – еталонні конденсатори ДП «Укрметртестстандарт» були відкалібровані у BIPM (10 pF, 100 pF). Наразі для калібрування у BIPM готуються до відправки еталонні резистори (1 Ω , 100 Ω , 10 k Ω) та еталони напруги (10 V, 1.018 V). Ведеться листування з організації калібрування TTS-4 (часо-частотні вимірювання).

Загальна кількість СМС-рядків та звірень: КС – 61, SC – 83, СМС – 308.

4.3 Діяльність НМЦ у рамках Європейської асоціації національних метрологічних установ

Наукові метрологічні центри України беруть участь у діяльності Європейської асоціації національних метрологічних установ (англ. European Association of National Metrology Institutes, EURAMET) з 1998 року. Наразі статус України в EURAMET – організація, що співробітничає. З 2019 р. представники національних метрологічних центрів України приймають участь у діяльності технічних комітетів EURAMET як спостерігачі.

5 Переваги набуття повноправного членства Україною в Міжнародній організації законодавчої метрології

На сьогодні в Міжнародній організації законодавчої метрології OIML (МОЗМ) налічується 62 країни — повноправних члени та 63 країни членів-кореспондентів. Члени МОЗМ можуть впливати на політику OIML та забезпечувати внесок у Стратегію OIML, щоб їхні потреби були враховані при роботі Організації. Стратегія присвячена загальній політиці Організації, а також підтримкою, яку пропонує OIML національним законодавчим метрологічним органам усіх своїх членів, і зокрема тих, що знаходяться в країнах, що розвиваються. Завдяки набуттю повноправного членства Україною в OIML 121 документ цієї організації вже в ранзі національних стандартів ДСТУ, міжнародні словники з метрології перекладено українською мовою тощо.

Переваги членів від участі в МОЗМ вагомі, зокрема:

- участь у визначенні пріоритетів технічної роботи OIML, виділяючи особливі потреби своєї країни або регіону;
- обмін інформацією про законодавство в країнах;
- отримання актуальної інформації від інших учасників стосовно нових технологій;
- обмін передовими практиками оцінки відповідності, шляхів та засобів випробувань.

Система сертифікації МОЗМ — це добровільна система, і держави-члени OIML та члени-кореспонденти можуть вільно брати участь. Система сертифікації МОЗМ — OIML-CS — це система для видачі, реєстрації та використання сертифікатів OIML та пов'язаних з ними OIML оцінок/звітів про випробування для типів вимірювальних приладів (включаючи сім'ї вимірювальних приладів, модулів або сімейств модулів) на основі вимог Рекомендацій OIML.

Метою OIML-CS є сприяння, прискорення та гармонізація роботи національних та регіональних органів, які відповідають за оцінку типу та затвердження засобів вимірювання, що підлягають пра-

вовому метрологічному контролю. Так само виробники приладів, яким необхідно отримати схвалення типу в деяких країнах, де вони хочуть продавати свою продукцію, мають вигоду від OIML-CS, оскільки вона надає докази того, що їх тип приладу відповідає вимогам відповідних Рекомендації МОЗМ.

До відома, Німеччина визнає сертифікати 19 категорій засобів вимірювальної техніки (ЗВТ).

Заходи набуття повноправного членства Україною в МОЗМ за 2019 – 2020 роки:

- затвердження МЗС офіційного перекладу Конвенції щодо заснування Міжнародної організації законодавчої метрології (OIML);
- розроблення проекту Закону України «Про приєднання України до Міжнародної організації законодавчої метрології»;
- узгодження проекту Закону України «Про приєднання України до Міжнародної організації законодавчої метрології»;
- правова експертиза проекту Закону України «Про приєднання України до Міжнародної організації законодавчої метрології»;
- повідомлення посольства України у Франції щодо прийняття Закону України «Про приєднання України до МОЗМ»;
- передбачення у проекті бюджету на наступний календарний рік оплати членського внеску до МОЗМ.

Перевагою для України від набуття повноправного членства Україною в OIML є ліквідацію торговельних бар'єрів через законодавчу метрологію шляхом гармонізації законодавчих та нормативних актів щодо засобів вимірювальної техніки, гармонізації законодавчих та нормативних актів щодо попередньо упакованого вмісту продукту, взаємного визнання результатів вимірювань для оцінки відповідності.

6 Стратегія розбудови національного органу стандартизації

ДП «УкрНДНЦ» виконує функції НОС України та має статус наукової установи. У контексті підготовки до попередньої оціночної місії ЄС щодо укладання Угоди АСАА була запропонована стратегія розбудови національного органу стандартизації (НОС).

Стратегія розбудови національного органу стандартизації спрямована на його інституційне зміцнення та досягнення фінансової стабільності. Важливим напрямком є поглиблення міжнародного та регіонального співробітництва з національними органами стандартизації інших держав та відповідними міжнародними організаціями, проводиться робота щодо отримання статусу науко-

вого об'єкта, що становить національне надбання, Національним фондом нормативних документів.

Література

1 Міністерство економіки України. Щодо засідання науково-технічної ради: від 12.01.2022 № 3412-06/1142-08.

2 Міністерство економіки України. Щодо протоколу засідання науково-технічної ради: від 26.01.2022 № 3412-08/3922-08.

*Сахнюк І.О., Кириленко Л.В., Битков М.Х.,
Рудак Н.П. Технічний центр НАН України,
Київ, Україна*

ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ ЩОДО СТАНДАРТИЗАЦІЇ, СЕРТИФІКАЦІЇ, АКРЕДИТАЦІЇ, ОЦІНКИ ВІДПОВІДНОСТІ ТА МЕТРОЛОГІЇ В УКРАЇНІ

За роки незалежності було зроблено чимало для того, щоб Україна органічно інтегрувалася до міжнародної спільноти у галузі стандартизації, сертифікації, акредитації, оцінки відповідності та метрології. Зокрема, у галузі стандартизації, метрології і сертифікації 13 березня 1992 р. була укладена відповідна Угода про проведення узгодженої політики [1], були зроблені кроки до укладення Угоди про партнерство і співробітництво з Євросоюзом, до членства в Раді Європи тощо. Україна як незалежна держава виконувала функції члена Ради Безпеки ООН, що означало підвищення її відповідальності та ролі у збереженні миру на нашій планеті.

В Україні з березня 2014 р. триває російська агресія. На запрошення нашої держави з того часу діє Моніторингова місія ООН у галузі прав людини, що фіксує правозахисні наслідки російської агресії. Але через неспровоковане повномасштабне вторгнення військ РФ на територію суверенної України з лютого 2022 р. відповідно до норм міжнародного права розірвано дипломатичні відносини з РФ. У зв'язку з російською агресією в Україні постали нові завдання щодо функціонування сфери стандартизації, сертифікації, акредитації, оцінки відповідності та метрології і актуальності певних міжнародних угод.

Кабінет Міністрів України 01 квітня 2022 р. відповідною постановою припинив Угоду між Урядом України та Урядом Російської Федерації про співробітництво в галузі стандартизації, метрології та сертифікації та Угоду між Урядом України та Урядом Республіки Білорусь про співробітництво в галузі стандартизації, метрології та сертифікації [2]. У травні 2022 р. Кабінет Міністрів України здійснив вихід України з угоди щодо проведення узгодженої політики в галузі стандартизації, метрології та сертифікації з цими державами, і набрала чинності постанова Кабінету Міністрів України [3]. Було зазначено, що вихід із угоди сприятиме актуалізації участі України в договірно-правовій базі в рамках СНД з урахуванням сучасного стану відносин.

Крім того, уряд схвалив проекти законів «Про вихід із Угоди про підтримку та розвиток малого підприємництва в державах – учасниках СНД» та «Про вихід України з Конвенції про транснаціональні корпорації». Зазначається, що обидва міжнародні документи не відповідають сучасному стану торговельно-економічних відносин між державами-учасниками СНД, а також актуальній євроінтеграційній політиці України.

Міністерство економіки України звернулося до всіх міжнародних та регіональних організацій зі стандартизації, сертифікації, акредитації, оцінки відповідності та метрології стосовно того, щоб виключити РФ та Білорусь із членів даних організацій. Уже є інформація від CENCENELEK, яка однією з перших виключила ці країни зі свого членства, а також Німеччина не рекомендує (забороняє) комунікацію і продаж стандартів РФ і Білорусі. Уряди ряду держав підтримують Україну і розпочали процедури виключення цих країн із членства в міжнародних та регіональних організаціях зі стандартизації, сертифікації, акредитації, оцінки відповідності та метрології.

У процесі виконання міжнародних, міжурядових, міжвідомчих угод між Україною та РФ здійснюється їх денонсація (ліквідація, припинення).

Україна багато зробила для синхронізації системи з європейськими стандартами. Але сьогодні через вторгнення військ РФ ми змушені адаптувати її до нових реалій.

Важливим елементом забезпечення якості й надійності товарів та послуг, що виходять на ринок, є оцінка відповідності. Неперервність функціонування акредитованих органів з оцінки відповідності необхідна для роботи українських підприємств. Задля

дерегуляції відносин із питань оцінки відповідності Національне агентство з акредитації надало повідомлення щодо органів, які мають атестат про акредитацію, термін дії яких закінчився або закінчується у період воєнного стану, про продовження дії атестатів про акредитацію органів з оцінки відповідності. Вони будуть чинними впродовж року.

Кабінетом Міністрів України схвалюється постанова щодо продовження міжповірочних інтервалів робочих еталонів, а також пролонгується період калібрування і додається перехідний піврічний період. Зараз ідуть перемовини щодо спрощення процедур сертифікації з оцінки відповідності.

Міністерство економіки та інші інституції України підтримують бізнес-контакти з європейцями, які допоможуть нашій системі стандартизації, сертифікації, акредитації, оцінки відповідності та метрології вижити. Зокрема, формуються шляхи щодо надання онлайн послуг у ЄС, починаючи від логістичних моментів, моментів на митниці, завершуючи моментами продажу товарів у країнах ЄС, для бажаючих експортувати свою продукцію, а також переліки підприємств промисловості, що функціонують в Україні і мають бажання експортувати свою продукцію за кордон тощо.

Література

1 Угода про проведення узгодженої політики в галузі стандартизації, метрології і сертифікації (укр/рос). – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/997_102#Text.

2 Про припинення дії Угоди між Урядом України та Урядом Російської Федерації про співробітництво в галузі стандартизації, метрології та сертифікації та Угоди між Урядом України та Урядом Республіки Білорусь про співробітництво в галузі стандартизації, метрології та сертифікації : постанова Кабінету Міністрів України від 01 квітня 2022 р. № 392.

3 Про вихід з Угоди про проведення узгодженої політики в галузі стандартизації, метрології і сертифікації : постанова Кабінету Міністрів України від 3 травня 2022 р. № 526. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/526-2022-%D0%BF#Text>.

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ ВАКУУМНО-ДУГОВИХ БАГАТОШАРОВИХ НІТРИДНИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ РОБОТИ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

Розвиток високотехнологічної промисловості починаючи з 20-го століття призвів до дослідження все більш і більш нових матеріалів. Суперсплави є одними з найліпших з точки зору опору різним факторам. При цьому, навіть, якщо вони вирішують багато проблем, вони створюють і нові: при збільшенні їх твердості труднощі, пов'язані з механічною обробкою цих матеріалів, збільшуються. Наприклад, суперсплави, що містять нікель Ni, відомі завдяки своїй неймовірній твердості. Пошук різального інструменту, який здатен витримати процес механічної обробки таких матеріалів тривалий час, є великою проблемою. Після декількох секунд контактна зона між заготовкою та ріжучим інструментом стає дуже гарячою (температура поверхні складає 500–1000 °C) та сили, діючі в зоні контакту призводять до руйнування поверхні різального інструменту. Серед інших компаній Seco Tools була однією з перших, що виготовила свою продукцію з цементованого карбіду. Но взагалі однієї такої надтвердої основи не достатньо і потрібне створення захисного шару, тобто покриття. У 1969 р. був зроблений реальний прорив шляхом використання нітриду титану в якості такого покриття. З тих пір шари, що складаються з нітриду титану Ti-N, широко використовуються завдяки їх унікальним властивостям. Процес руйнування інструменту при механічній обробці різних матеріалів ще не має достатньо експериментальних даних для повного розуміння механізмів, що відбуваються. Крім того, багато хімічних реакцій та процесів фізичного зносу відбуваються одночасно. Тому експериментальне дослідження цих процесів та реакцій є величезною актуальною проблемою. Метою досліджень було вивчення поведінки захис-

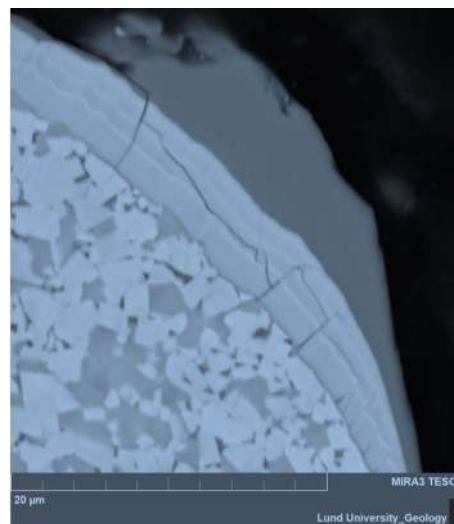


Рис. 1 – Поперечний переріз покриття WN/ZrN на різальному інструменті

них покриттів в процесі їх використання для відбору найбільш придатних для механічної обробки важкооброблюваних матеріалів. Ці дослідження охопили велику кількість можливих комбінацій вакуумно-дугових багат шарових нітридних покриттів, а саме WN/ZrN, WN/NbN, WN/CrN, WN/MoN, WN/TiSiN та інші, які були отримані на установці типу «Булат-6» у ННЦ ХФТІ НАН України.

Дослідження властивостей цих покриттів та випробування їх при різних умовах експлуатації різального інструменту (швидкість різання 120 та 160 м/хв., подача 0,1 мм/об) дозволило встановити оптимальні режими нанесення вакуумно-дугових багат шарових нітридних покриттів та вибрати покриття з найліпшими характеристиками зносостійкості та тріщиностійкості. На рис. 1 представлено фото різальної кромки інструменту із покриттям WN/ZrN з утвореними паралельними тріщинами.

Сороченко В.Г., Сороченко Т.А. Інститут
надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля
НАН України, Київ, Україна

ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОГО ШЛІФУВАННЯ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Ефективність шліфування полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) одношаровими алмазно-абразивними кругами і барабанами в значній мірі залежить від технологічного обладнання, надійності і зручності його експлуатації [1]. Спеціальні верстати для алмазного шліфування ПКМ, і зокрема щільникових заповнювачів, в теперішній час відсутні. Тому при експлуатації алмазно-абразивних барабанів можуть бути застосовані модернізовані поздовжньо-фрезерні верстати рейсмусового типу, які за кінематикою основних і допоміжних рухів найбільш повно відповідають процесу що розглядається.

Шліфування полімерних композиційних матеріалів необхідно виконувати на модернізованих верстатах моделі Michoma (Німеччина) і моделі 07WB-125 (Польща); для шліфування деталей із щільникових заповнювачів при ширині обробки до 600 мм – модернізовані верстати моделей CP6-6, CP6-7 і CP6-8; при ширині обро-

бки до 1200 мм – модернізовані верстати моделі CP12-1 та інші подібного типу.

Модернізовані верстати повинні мати регульовану частоту обертання приводу головного руху різання (шпинделя) в діапазоні 2500–5000 об/хв., регульовану швидкість різання в діапазоні 15–50 м/с, регульовану поздовжню подачу в діапазоні 0,1–0,5 м/с; мати можливість переміщення стола верстату по висоті ручним та механічним приводом.

Модернізація поздовжньо-фрезерних верстатів, що серійно випускаються повинні включати конструктивну зміну механізмів вузлів головного руху різання і руху подачі, розрахунок їх потужності; виготовлення спеціальних устаткувань для ефективного видалення стружки і пиляки. Конструктивна зміна вузла різання включає заміну ножового валу спеціальною оправкою для монтажу алмазно-абразивного барабану. Потужність приводу головного руху різання (N_p) і руху поздовжньої подачі (N_n) при шліфуванні полімерних композиційних матеріалів треба визначати за формулами, що приведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Потужність приводу головного руху різання (N_p) і руху поздовжньої подачі (N_n) при шліфуванні полімерних композиційних матеріалів

$N_p = 163 v^z S^y t^x B h^p d^q K_m K_a$, кВт										
v	S	t	B	h	d	z	y	x	p	q
16–41	0,1–0,4	0,5–2,5	10–1200	(0,25–0,45) d	200/160–1000/800	–0,67	0,74	0,83	0,20	–0,09
$N_n = 1173 v^z S^y t^x B h^p d^q K_m K_a$, кВт										
16–41	0,1–0,4	0,5–2,5	10–1200	(0,25–0,45) d	200/160–1000/800	–0,33	1,74	0,83	0,20	–0,09

Примітки: 1.Значення постійних коефіцієнтів наведено для випадку шліфування дерево-шаруватих пластиків.

2. v – швидкість різання, м/с; S – поздовжня подача, м/с; t – глибина різання, мм; B – ширина шліфування, мм; h – зношування алмаза в крузі, мкм; d – зернистість алмаза в крузі, мкм; K_m і K_a – поправочні коефіцієнти, які враховують фізико-механічні властивості оброблювального матеріалу і марку синтетичного алмазу.

Середнє значення коефіцієнта K_m :
 Щільникові заповнювачі – 0,80
 Деревно-стружкова плита – 1,00
 Вугле- та склопластик – 1,25
 Деревно-шаруватий пластик – 1,50

Органосклопластик – 2,00

Середнє значення коефіцієнта K_a :

АС6 – 0,90

АС15 – 1,00

АС20 – 1,10

АС32 – 1,00.

Ефективна потужність шліфування полімерних композиційних матеріалів визначається по формулі

$$N_3 = 0,11 BK_N,$$

де N_3 – ефективна потужність, кВт; $K_N = K_v K_s K_t$ – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив режиму різання (K_v – швидкість різання, K_s – подача, K_t – глибина різання).

Середнє значення коефіцієнтів K_v , K_s та K_t наведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Середнє значення коефіцієнтів K_v , K_s і K_t

Швидкість різання v , м/с					
v	16	21	27	33	41
K_v	1,21	1,02	1,00	0,96	0,85
Подача S , м/с					
S	0,10	0,20	0,27	0,30	0,40
K_s	0,48	0,86	1,00	1,03	1,39
Глибина різання t , мм					
t	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50
K_t	0,54	1,00	1,33	1,70	2,11

Для оптимальних умов шліфування полімерних композиційних матеріалів потужність приводу головного руху різання не повинна перевищувати 0,8–1,0 кВт на 10 мм ширини шліфування при довжині контакту 16 мм, а потужність механізму руху поздовжньої подачі повинна складати приблизно одну десяту потужності приводу головного руху різання. Знання цих номінальних величин потужності приводів різання і поздовжньої подачі дозволяють по їх змінюванні в виробничих умовах машинобудівних цехів оцінювати енергоємність технологічного обладнання і стан робочої поверхні алмазно-абразивних кругів і барабанів, які в значній мірі визначають якість обробленої поверхні полімерних композиційних матеріалів. Підвищення більше ніж на 60–80% ефективної потужності різання у порівнянні з номінальною, а також зменшення в 1,5–2,0 рази поздовжньої подачі, яке супроводжується прослизанням деталей у подаючих валках верстату, є

свідомством неприпустимого погіршення якості обробки (прожоги, збільшення шорсткості, сколювання кромки у виробів та ін. [2, 3]. Це також є свідомством того, що алмазні зерна в інструменті досягли критичної величини зносу за рахунок мікро- та макроруйнування алмазов, збільшення випадання зерен із зв'язки і збільшення тертя останньої [4]. Якісною оцінкою досягнутого критерію затуплення інструменту у виробничих умовах можуть бути також підвищення рівня шумових параметрів процесу різання і вібрацій верстату.

Конструкція пилестружкоприймача повинна забезпечувати місцеве відсмоктування пилу і стружки з коефіцієнтом ефективності не менше 0,95. Витрати повітря, яке видаляє відходи шліфування повинно бути в межах 3000–4000 м³/год при швидкості повітряного потоку 20–22 м/с [5].

Таким чином, реалізація високоефективної технології алмазно-абразивної обробки деталей і виробів із ПКМ алмазно-абразивними кругами і барабанами замість традиційно використовуваних абразивних інструментів дозволяє покращити якість обробленої поверхні (звести до мінімуму дію термічної деструкції полімерної складової, виключити прожоги, сколювання кромки, розшарування, ворсистість та інші дефекти на обробленій поверхні ПКМ, забезпечуючи при цьому параметр шорсткості поверхні в межах R_z 20–40;

- збільшити продуктивність обробки при шліфуванні в 3–9 раз;
- покращити санітарно-гігієнічні умови праці робочих верстатників;
- підвищити строк служби інструменту при шліфуванні вугле-, скло-, органопластиків в 5–10 разів, щільникових заповнювачів в 9–10 разів. Надзвичайно висока розмірна стійкість одношарового алмазно-абразивного інструмента, забезпечувана ним точність обробки, виключення правки, скорочення часу на заміну інструмента, можливість інтенсифікації режимів різання створює реальні можливості для механізації і автоматизації виробничих процесів алмазно-абразивної обробки ПКМ.

Література

1. Инструменты из сверхтвердых материалов / под. ред. Н.В. Новикова, С.А. Клименко. – М. : Машиностроение, 2014. – 608 с.
2. Шепелев, А.А. Температура при алмазно-абразивном разрезании полимерных композиционных материалов / А.А. Шепелев, В.И. Дрожжин, В.Г. Сороченко // Наука і освіта : зб. наук. праць. – Харків : НТУ «ХП», 2004. – С. 231–242.

3. Шепелев, А.А. Механизм образования поверхностного слоя при алмазно-абразивной обработке полимерных композиционных материалов / А.А. Шепелев, В.Г. Сороченко // Прогрессивные технологии и системы машиностроения : международ. сб. науч. тр. – Донецк : ДонНТУ, 2004. – вып. 28. – С. 202–205.

4. Шепелев, А.А. Закономерности износа однослойных алмазно-абразивных кругов и их стойкость при механической обработке полимерных композиционных материалов / А.А. Шепелев, В.Г. Сороченко // Прогресивні технології і системи машинобудування : міжнародний зб. наук. праць. – Донецьк : ДонНТУ, 2005. – вип. 32. – С. 258–267.

5. Шепелев, А.А. Экологические аспекты механической обработки полимерных композиционных материалов алмазно-абразивными инструментами / А.А. Шепелев, В.Г. Сороченко, Т.А. Сороченко // 25 Юбилейная международ. науч.-практ. конф. и блиц-выставка «Композиционные материалы в промышленности» (СЛАВПОЛИКОМ), Крим, 30 мая-3 июня 2005 г. – С. 302–304.

Сохань С.В., Сороченко В.Г. Інститут
надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля
НАН України, Київ, Україна

ФІЗИЧНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ПРОЦЕСУ АЛМАЗНО- АБРАЗИВНОГО ШЛІФУВАННЯ КЕРАМІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

Найбільш складним та трудомістким при виготовленні гібридних підшипників кочення з конструкційної кераміки є технологічний процес алмазно-абразивного шліфування керамічних кульок з карбіду кремнію, карбіду бору та нітриду кремнію. Вимоги до точності та якості виготовлення прецизійних керамічних кульок великого діаметру ($> 40\text{--}45\text{ мм}$) є досить високими – відповідно до стандарту ISO 3290 – 2:2014 для керамічних щариків класу точності G40 відхилення від сферичності виробу має бути $\leq 1,0\text{ мкм}$, діаметра кульки $\leq 1,0\text{ мкм}$, різномірність виробів у партії $\leq 2,0\text{ мкм}$ та якість поверхні виробів за параметром шорсткості поверхні $Ra \leq 0,06$.

Встановлено основні фізичні закономірності процесу алмазно-абразивного шліфування керамічних кульок великого діаметру:

- запропоновано критерій оцінки працездатності алмазно-абразивного круга для процесу алмазно-абразивного безцентрового шліфування керамічних кульок з карбіду кремнію, карбіду бору та нітриду кремнію, що дозволяє визначати вплив режиму обробки на показники шліфування. Експериментально визначено значення співвідношень усереднених у часі подачі кола на врізання s_b/t_o до швидкості обертання столу з кульками s_k . Ці співвідношення є різними для трьох діапазонів відхилень від сферичної форми кульок, а саме: вище 300 мкм між 300 і 150 мкм і менше 150 мкм. За умови виправлення відхилення від сферичності поверхні куль у двох останніх діапазонах співвідношення повинні бути в межах 0,1–0,3 мкм/об за умови обертання стола з кульками зі швидкістю 20–35 об/хв. ; у першому діапазоні, де перевагу слід віддавати продуктивності процесу – у 2,0–2,5 рази більше. Стратегічною метою процесу алмазно-абразивного шліфування керамічних кульок є насамперед максимально можливе виправлення відхилення від сферичності поверхні кульок і лише у другу чергу досягнення необхідної продуктивності обробки;
- у результаті дослідження впливу схеми перекриття поверхні алмазно-абразивного круга круговою подачею кульок та режиму обробки на знос алмазно-абразивного кола та точність партії керамічних кульок з конструкційної кераміки встановлено, що для збереження вихідної плоскої форми алмазно-абразивного круга статистично значущий вплив має і частота подачі круга, дискретна подача круга на врізання прямого впливу на нерівномірність зносу круга не має. Умовою виправлення різномірності діаметра кульок у партії за збереження вихідної плоскої форми алмазно-абразивного круга є вибір схеми перекриття з траєкторією подачі кульок, що стосується середини зовнішнього краю круга, зменшення до мінімуму (20 мкм) дискретної подачі круга на врізання при одночасному підвищенні до максимуму подання круга. При цьому розкид величин варіації діаметра кульок у межах партії за таких умов досягає мінімально можливого значення;
- експериментально встановлено при дослідженні впливу режиму обробки (об'єднання дискретної подачі кола на врізання, періоду часу шліфування кульок між подачами та швидкістю обертання столу з кульками в сепараторі) на показники безелеваторного алмазно-абразивного шліфування (швидкість знімання припуску та швидкість зміни величини відхилення кульки) на технологічному

стенді – верстаті моделі ВШ-204 М найбільш ефективно об'єднання досліджуваних факторів, яке визначається значенням комплексного показника режиму шліфування в межах 0,1–0,3 мкм/об та зниженою швидкістю обертання столу з кульками у сепараторі;

- експериментально визначено відносну продуктивність процесу шліфування ($\text{мм}^3/\text{мм}^3$), для чого об'ємну продуктивність процесу шліфування визначали як об'єм кульової оболонки товщиною стінки, що дорівнює швидкості знімання припуску з керамічної кульки, а швидкість об'ємного зносу кола з урахуванням конусної форми поверхні робочого шару усіченого конуса висотою, що дорівнює усередненій за профілем поверхні кола швидкості зносу алмазозного робочого шару;
- завдання ефективної підготовки керамічних кульок після алмазно-абразивного шліфування під наступну технологічну операцію – алмазно-абразивне доведення полягає у виборі схеми алмазного шліфування з траєкторією подачі кульок дотичної до середини зовнішнього краю круга $s_B \rightarrow s_{B\min}$ и $f_K \rightarrow f_{K\max}$. За таких умов відбувається максимально можливе виправлення різнорозмірності діаметра кульок у партії при максимально можливому збереженні вихідної плоскої форми алмазно-абразивного круга та оптимально досяжному розкиді величин варіації діаметра кульок.

Сохань С.В., Сороченко В.Г., Сороченко Т.А.
Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля
НАН України, Київ, Україна

ВПЛИВ НАНОПОРОШКІВ НА ТВЕРДІСТЬ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ КОМПОЗИТІВ ІЗ НАДТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ СИСТЕМИ Cu-Sn-алмаз

З метою встановлення впливу наночастинок порошків міді та олова на твердість композитів із надтвердих матеріалів (СТМ) інструментального призначення було проведено три серії дослідів.

Об'єктом дослідження були композити з СТМ у вигляді брусків призматичної форми розмірами 55040 мм. Концентрація алмазу АС100 400/315 прийнята рівною 100%. Зміст компонентів порошкової суміші в шихті наведено нижче в кожній серії дослідів.

Твердість (HRB_{100}) композитів із надтвердих матеріалів вимірювали на твердомірі Роквелла HRA – 2 Мікротех® за допомогою сталевий кульки діаметром $1,588 \text{ мм} \pm 0,001 \text{ мм}$ ($1/16''$) при навантаженні 100 кгс (шкала В). Поточна перевірка приладу проводилася шляхом вимірювання жорсткості зразкових заходів (еталонів). За середнє значення твердості кожної точки на досліджуваному зразку приймали результат середнього значення твердості чотирнадцяти вимірювань по двох бокових поверхнях (по сім відбитків з кожного боку), відстань від центру відбитка до краю зразка та відстань між центрами двох сусідніх відбитків прийнято рівним $3d$ (де d – діаметр кульки).

Перша серія дослідів. Встановлювали вплив наночастинок порошку олова на жорсткість композиту системи Cu-Sn-алмаз. Зміст наночастинок порошку олова у зв'язці системи Cu-Sn-алмаз варіювалося від 0 до 10% (0; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 5,0; 10,0). Зміст компонентів мікро- та нанопорошків олова при постійній масі мікропорошку міді, а також середнє значення твердості досліджуваних зразків інструментальних композитів з надтвердих матеріалів наведено в табл. 1.

З даних табл. 1 видно, що зі зростанням вмісту наночастинок олова до 1% (мас.) твердість інструментального композиту збільшується з 91,5 до 98,0 HRB_{100} , а потім практично залишається постійною зі слабко вираженою тенденцією до зниження.

Друга серія дослідів. Встановлювали вплив наночастинок порошку міді на жорсткість композиту системи Cu-Sn-алмаз. Вміст наночастинок порошку міді у зв'язці системи Cu-Sn-алмаз, як і в першій серії дослідів, варіювалося від 0 до 10% (0; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 5,0; 10, 0). Зміст компонентів мікро- та нанопорошків міді при постійній масі мікропорошку олова, а також середнє значення твердості зразків композитів із НТМ наведено у табл. 1.

З даних табл. 1 видно, що зі зростанням вмісту наночастинок міді до 2% (мас.) твердість інструментального композиту збільшується з 91,3 до 94,7 HRB_{100} , а потім знижується до початкової твердості. Слід зазначити важливу закономірність, яка полягає в тому, що вплив вмісту наночастинок порошку міді дещо відрізняється від впливу вмісту наночастинок порошку олова: екстремум зсувається у бік збільшення (2% маси) з меншою інтенсивністю росту твердості.

Третя серія дослідів. Прагнули встановити спільний вплив наночастинок порошків олова та міді на твердість інструментального композиту системи Cu-Sn-алмаз. Вміст наночастинок порошків олова та міді у зв'язці системи Cu-Sn-алмаз, як у першій, так і другій серії дослідів варіювалося від 0 до 10% (0; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 5,0;

10,0). Зміст компонентів мікро- та нанопорошків олова та міді, а також середнє значення твердості досліджуваних зразків композитів із НТМ (див. табл. 1).

Таблиця 1 – Зміст компонентів складових шихти у зв'язці та твердість HRB₁₀₀ інструментальних композитів

Зміст наночастинок Sn у навішуванні шихти, % (мас.)	Зміст компонентів складової шихти у зв'язці, г					Твердість HRB ₁₀₀ композитів із НТМ
	Cu	Cu _{нано}	Sn	Sn _{нано}	алмаз	
Серія 1						
0	5,64	—	1,41	0	0,97	91,5
0,5			1,37	0,04		95,4
1,0			1,34	0,07		98,0
2,0			1,27	0,14		97,8
3,0			1,20	0,21		97,4
5,0			1,06	0,35		96,8
10,0			0,70	0,71		95,9
Серія 2						
0	5,64	—	1,41	—	0,97	91,3
0,5	5,60	0,04				92,9
1,0	5,57	0,07				94,0
2,0	5,50	0,14				94,7
3,0	5,43	0,21				93,8
5,0	5,29	0,35				92,0
10,0	4,92	0,71				91,6
Серія 3						
0	5,64	0	1,41	—	0,97	91,0
0,5	5,60	0,04	1,37	0,04		94,3
1,0	5,57	0,07	1,34	0,07		95,7
2,0	5,50	0,14	1,27	0,14		99,8
3,0	5,43	0,21	1,20	0,21		97,8
5,0	5,29	0,35	1,06	0,35		97,9
10,0	4,92	0,71	0,70	0,71		97,5

Відповідно даних табл. 1 збільшення спільного вмісту наночастинок порошків олова і міді на твердість інструментального композиту призводить до того, що екстремум твердості досягається при 2,0% (мас.) їх вмісту і становить 99,8 HRB₁₀₀. Подальше збільшення вмісту наночастинок порошків олова та міді практично не впливає на твердість композиту.

Таким чином, проведені дослідження щодо встановлення впливу наночастинок олова та міді на твердість інструментального компози-

ту системи Cu-Sn-алмаз дозволяють зробити висновок, що найбільший вплив на твердість інструментального композиту надає спільний вплив наночасточок олова та міді. Так, при 2,0% (мас.) їх вмісту у композиті твердість його становить 99,8 HRB₁₀₀, що на ~10% більше, ніж твердість вихідного інструментального композиту.

Тимофєєв С.С. Український державний університет
залізничного транспорту, Харків, Україна

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПЛУНЖЕРНИХ ПАР

Надійність машин і механізмів у більшості випадків визначається надійністю паливної апаратури, у якої найшвидше зношуються прицеві пари.

В процесі роботи плунжер здійснює зворотно-поступальний рух у втулці насосу зі значною швидкістю (до 3,5 м/с). При цьому зазор між спряженими поверхнями плунжера і втулки становить 0,8–2,0 мкм і плунжер піддається більшому тиску палива. Тому внаслідок надмірних пружних деформацій втулки і вигинаючих деформацій деталей плунжерної пари виникають задири поверхонь, тертя плунжерних пар і заклинювання плунжерів у втулках, кавітаційно-ерозійні руйнування і знос деталей плунжерних пар.

Паливна апаратура, а саме плунжерні пари паливних насосів високого тиску (ТНВД), відноситься до важливих елементів дизелів, на яку приходить найбільша кількість відмов. Ефективність роботи дизеля в більшості випадків залежить від надійності роботи паливної апаратури, так як вона є системою для організації якісного процесу згоряння палива. Вона виконує впорскування точно дозованої циклової подачі палива, задані фази і характеристику впорскування палива, чітке відсікання подачі палива та т.і.

На даний момент технологічний процес виготовлення плунжерних пар ТНВД включає: свердління – зенкерування – розгортку – хонінгування (або притирання) – попередню доводку втулки; обточування – шліфування – попередню доводку плунжера. Після чого придатні плунжери та втулки направляють на збирання для кінцевої доводки поверхні одної деталі по поверхні іншої (спільне притирання – зазвичай ручне), із-за чого деталі пари не взаємозамінні.

Відомі методи виготовлення і відновлення зношених плунжерних пар – гальванічне хромування, хімічне нікелювання, дифузійне легування та інші – мають такі недоліки, як складність режимів обробки, низькі технічні показники, реалізуються при високих температурах, що приводить до порушення термічної обробки деталей.

В зв'язку з цим пропонується технологія відновлення і зміцнення плунжерних пар паливних насосів дизельних двигунів з використанням метода низькотемпературного алюмохромофосфатування. Даний спосіб полягає в нанесенні на підготовлену поверхню деталей фосфоровмісного розчину, що в результаті хімічної взаємодії основного металу і активних елементів забезпечує утворення в поверхневому шарі деталей інтерметалідних з'єднань типу фосфідів металів, наприклад: Fe, Al, Cr, які сприяють підвищенню якості припрацювання та зносостійкості плунжерних пар.

Зниження зносу металевих поверхонь пов'язано з присутністю на них оксидних плівок, попереджуючих безпосередню взаємодію металів або ще утворення інтерметалідних з'єднань (металідів) в нанесеному покритті сприяє зниженню шорсткості.

Отже, для зниження зносу важливо, щоб одночасно зі збільшенням поверхні контакту металів при збереженні високої твердості основного металу на поверхні тертя утворювалася плівка з низьким опором зсуву. Цього можна досягнути за рахунок нанесення на поверхні тертя хімічних покриттів, які містять в своїй основі сульфіди, фосфіди та інші хімічні похідні металів. Крім того, при способі зміцнення і відновлення не повинна порушуватися термічна обробка деталей плунжерних пар.

Тимофєєва Л.А. Український державний університет
залізничного транспорту, Харків, Україна

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ КОЛІС ЦІЛЬНОКАТАНИХ РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦІ

Залізничні вагони і транспортна система країни в цілому є невід'ємною частиною виробничої і соціальної інфраструктури держави, забезпечуючи її територіальну цілісність і національну безпеку. Підвищений попит на послуги транспорту потребують важливих

структурних перетворень, удосконалення правових, економічних і адміністративних механізмів, які регулюють транспортну діяльність.

На відновлення і ремонт колісних пар залізничний транспорт України витрачає щорічно величезні суми державних коштів, тому підвищення їх працездатності і зносостійкості є важливою задачею.

Більше двох десятиліть проводяться роботи зі зниження зносу коліс рухомого складу з використанням різних заходів, таких як рейкозмащування і гребнезмащування, плазмове зміцнення, оптимізація технології обточування колісних пар, профільна механічна обробка головки рейки. Впровадження на залізниці всього комплексу заходів дозволило знизити знос в парі тертя «колесо–рейка» в 3–6 разів.

Підвищення зносостійкості колісної пари – складний багатофакторний процес, який вимагає комплексного підходу. В той же час, першим і природним кроком до вирішення цієї проблеми є усунення сформованого співвідношення твердостей.

На сьогоднішній день існує декілька способів підвищення твердості гребенів колісних пар, які класифікуються по способу нагрівання і охолодження: об'ємне гартування в печах, гартування ТВЧ; гартування лазерним, електронним променем; гартування плазмовою дугою (струменем); електроконтактне гартування; киснево-ацетиленове гартування; лазерна наплавка; плазмове напилення.

З середини 90-х років, почалися роботи з розробки і впровадження плазмового поверхневого зміцнення гребенів колісних пар, як найбільш простого та дешевого способу, порівняно з іншими, який дозволяє обробляти як викочені колісні пари, так і, що головне, проводити гартування безпосередньо під електровозом або вагоном (без викочування колісних пар).

При проведенні аналізу відомих методів поверхневого зміцнення можна зробити висновок, що вони мають загальні ознаки, які складаються в зміні хімічного складу, структури і властивостей поверхневого шару.

При розробці нового методу поверхневого зміцнення за допомогою нанесення зносостійкого покриття брали за основу принцип, що задана твердість і структура повинні відповідати ДСТУ 10791-2004, а саме: твердість 255HB і структура тростит (середній відпуск 450 °C). Новий спосіб полягає в комплексній обробці коліс цільнокатаних (гартування, насичення, середній відпуск) для підвищення їх фізико-механічних і експлуатаційних властивостей. Насичуюче середовище містить в своєму складі фосфіди металів, наприклад:

фосфіди Fe, Cr, що забезпечує підвищену твердість, зносостійкість, задиристійкість, гарну припрацьовуваність робочої поверхні пари тертя «колесо–рейка».

Були обрані раціональні параметри, досліджені покриття нового технологічного процесу, які забезпечують підвищення зносостійкості колісних пар рухомого складу залізниці, що як наслідок, сприяє збільшенню довговічності їх роботи. Установлено, що в своєму складі вони містять хімічні елементи, які входили в склад насичуючого середовища.

Проведені випробування показали, що у відповідності з запропонованою технологією величина зносу має тенденцію до достатньо усталеного процесу зносу, який забезпечує збільшення міжремонтного пробігу більш ніж в 1,5 рази.

Тимофєєва Л.А., Тимофєєв С.С., Козловська І.П.
Український державний університет залізничного
транспорту, Харків, Україна

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ЧАВУНУ ПАРООКСИДУВАННЯМ ІЗ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ СОЛЕЙ

У вітчизняному машинобудуванні для виготовлення деталей, які працюють в умовах тертя зношування, широко застосовують як сірий легований чавун із пластинчастим графітом, так і високоміцний чавун із графітом кулястої форми, що відповідають вимогам: висока міцність при достатньому запасі пластичності, підвищена теплопровідність, досить високий модуль пружності, підвищена зносостійкість і гарна припрацьовуваність. Однак при тривалій експлуатації чавунні деталі найчастіше не виробляють свого ресурсу через відмови за рахунок прискореного зношування поверхні, що в основному викликається утворенням точок схоплювання.

Аналіз відомих методів зміцнення робочої поверхні (азотування, сульфідкування, сульфоціанування та ін.) показує, що вони трудомісткі, тривалі, вимагають застосування дефіцитних і шкідливих хімікатів та складного устаткування. Для підвищення триботехнічних характеристик поверхневих шарів у роботі пропонується екологічно більш чистий метод хіміко-термічної обробки – пареоокси-

дування. Сутність його в тому, що деталі обробляють у середовищі перегрітої пари при температурі трохи нижче A_{C}^{H1} чавуну. Поверхневий шар, отриманий таким методом, складається з вюститу та магнетиту. Проведені дослідження показали, що деталі, оброблені паром, мають підвищену зносостійкість. Однак коефіцієнт тертя матеріалу з таким покриттям має високі значення: 0,6–0,4 для чавуну з пластинчастим графітом; 0,8–1,0 для високоміцного чавуну.

У зв'язку з цим для забезпечення надійної безвідмовної роботи чавунних деталей, що працюють в умовах тертя та зношування, необхідно на поверхні одержати такий шар, який одночасно забезпечував би гарну та швидку припрацьовуваність, низький коефіцієнт тертя і мале зношування, мав здатність добре втримувати масляну плівку та протистояти задирам і захоплюванню.

Усім цим вимогам може задовольняти багатофазний поверхневий шар, у якому присутні як тверді фази, що сприймають високі тиски, так і м'які складові, які сприяють поліпшенню антифрикційних властивостей чавуну. У той же час для гарного видалення продуктів зношування матеріал поверхневого шару повинен бути відносно крихким.

Поверхневий шар з необхідними властивостями може бути отриманий, якщо його формування буде відбуватися в середовищі перегрітої пари водяного розчину водорозчинних солей, зокрема амонію молібденово-кислого.

При підвищеній температурі в контакті з металевою поверхнею відбувається дисоціація розчину та хімічних сполук з утворенням атомарних кисню, сірки, азоту, молібдену. Елементи адсорбуються поверхнею, збільшують зносостійкість і поліпшують припрацьовуваність. Так як основне робоче середовище — перегріта водяна пара, то і температурний режим цього процесу може бути тим же, що і для парооксидування чавуну: нагрівання до $600\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 20$, час витримки не повинний бути більш 1 години (за цей час встигає утворитися багат шарове покриття, що містить оксиди, нітриди та сульфід).

Для встановлення закономірностей формування поверхневого шару у роботі досліджена обробка чавунів (сірого СЧ-ХНМ) і високоміцного з перлітною матрицею паром, отриманим з 20% водяного розчину амонію молібденово-кислого. Обробку вели протягом 40 хв при $600\text{ }^{\circ}\text{C}$. За цей час утворювався шар товщиною ~ 20 мкм. Формування поверхневого шару відбувалося не тільки на металевій

основі, але і по границях графіту як пластинчастого, так і глобулярного, що виходить на поверхню металу без розриву суцільного шару. Така будова забезпечує необхідний комплекс властивостей чавуну, працюючого в умовах тертя та зношування. У тому випадку, якщо графіт викришується в процесі тертя, починає працювати шар, що сформувався під включеннями, що викришилися. М'які складові згладжують на поверхні нерівності, що утворилися.

Поверхневий шар для чавуну із пластинчастою та кулястою формою графіту складається з декількох підшарів, верхній з яких містить в основному більш м'які складові. Нижній підшар, прилеглий до металевої основи чавуну містить переважно тверді складові. Розподіл хімічних елементів змінюється за товщиною шару. Максимальна концентрація Мо, N, С спостерігається у верхніх шарах. Вказана будова поверхневого шару чавуну забезпечує при низьких значеннях коефіцієнту тертя підвищену зносостійкість і покращену припрацьовуваність.

Випробування поверхневих шарів після обробки були проведені на машинах тертя МІ-1 та М-22М. Швидкість ковзання була 2 м/с при навантаженні 60 МПа тривалість випробу випробувань 9 г. Критерієм зносостійкості служила втрата маси, а також зміна лінійних розмірів випробуваних зразків. Несучу здатність та коефіцієнт тертя визначали при швидкостях від 1 до 3 м/с і навантаженнях від 200 до 1000 Н. Одночасно фіксували навантаження, при якому відбувалася зміна моменту тертя. Також випробовували зразки, що не проходили обробку, з одношаровим і багатошаровим покриттям.

Таким чином, зменшення інтенсивності зношування чавуну може бути досягнуте застосуванням комплексної обробки з дифузійним насиченням поверхні в середовищі водяної пари декількома елементами, у тому числі сіркою, азотом та іншими. При зазначеній обробці формується шар, який містить одночасно м'які і тверді складові, що сприяє поліпшенню припрацьовуваності, зносостійкості та зменшенню коефіцієнта тертя.

МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХОНЬ, ОТРИМАНИХ 3D ДРУКОМ ЗА ДОПОМОГОЮ ЗАСОБІВ МГВА

Важливим етапом дослідження будь-якого процесу є створення його математичної моделі. Сьогодні існує безліч методів обробки результатів експерименту. Починаючи від класичних планів ПФЕ вищих порядків закінчуючи методами заснованими на методі групового врахування аргументів (МГВА) на основі нейронних мереж.

Продовжуючи дослідження якості поверхонь отриманих в адитивному виробництві описаних в [1–7], проведено дослідження направлене на перевірку гіпотези сформованої в роботі 0. Для створення всебічного опису впливу температурних параметрів на результат друку одним із методів обробки результатів експерименту обрано МГВА.

Основна перевага при використанні штучних нейронних мереж (ШНМ) моделювання полягає в кращому визначенні зв'язків між змінними ніж це вдається зробити класичними методами. До інших переваг можна також віднести: високу надійність роботи (інформація зберігається та кодується не в окремих елементах пам'яті, а у вигляді розподілених зв'язків між нейронами).

Таким чином стан кожного окремого нейрона визначається станом багатьма інших це означає, що втрата одного нейрона або зв'язку не несе істотного впливу на роботу всієї мережі.); висока завадо- та шумо-стійкість.

На рис. 1 зображено модель штучних нейронних мереж. Така мережа може містити як один шар (такі мережі називають одношаровими) та і кілька шарів (багатошарова мережа). Кожен шар моделі складається з так званих нейронів котрі зв'язані між собою зв'язками з певними ваговими коефіцієнтами. Схематично штучний нейрон зображено на рис. 2.

Фактично робота по отриманню моделі за допомогою ШНМ складається з трьох етапів: конфігурація мережі – вибір кількості шарів, функції активації, кількості входів, виходів, вибір алгоритму навчання; навчання мережі; апробація отриманої моделі. На етапі

навчання мережі змінюються значення вагових коефіцієнтів за певним алгоритмом, що відповідає методу навчання. На даному етапі розвитку цього методу обробки даних існує три парадигми навчання: «з вчителем», «без вчителя» (самонавчання), змішана.

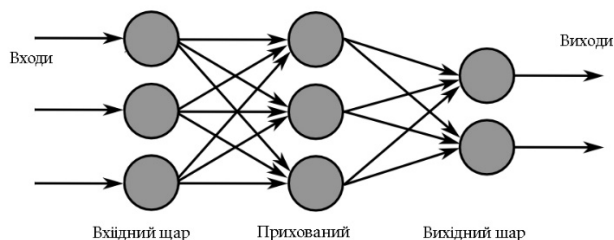


Рис. 1 – Модель штучної нейронної мережі

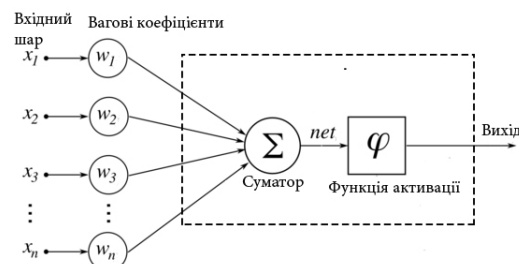


Рис. 2 – Модель штучного нейрона

Функції активації в свою чергу підбираються відповідно до задачі моделювання, приклад деяких із них зображено на рис. 3.

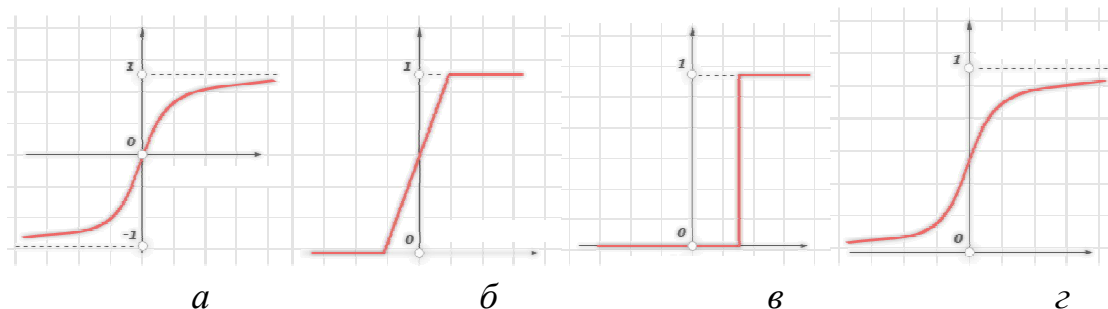


Рис. 3 – Функції активації. а – гіперболічний тангенс, б – гістерезис, в – одиничний скачок, г – сигмоїда

В першому випадку при навчанні ШНМ окрім початкових даних додаються також цільові виходи (результат що повинна видати мережа). Ваги налаштовуються таким чином щоб мережа надавала результат максимально близький до результату навчального прикладу. Другий випадок не потребує правильних відповідей на кожен приклад вибірки.

У даному випадку розкривається внутрішня структура даних й кореляція між зразками у навчальній множині – дозволяє розподілити зразки за категоріями. В останньому випадку частина ваг визначається за допомогою самонавчання, інша за допомогою навчання зі вчителем.

Для зручності вирішення даної задачі було зроблено вибір на користь програмного комплексу GMDH Shell. Дана програма дозволяє обробити отримані дані буквально в кілька кроків.

При виконанні досліджень магістерської дисертації отримано три вибірки даних, що відображають параметри шорсткості робочої поверхні зразка. Перша вибірка характеризує шорсткість поверхні паралельно до базової лінії (рис. 4, Вимір 1), друга – перпендикулярно до базової лінії (рис. 4, Вимір 2), третя – під кутом 45° (рис. 4, Вимір 3). З рисунку можна бачити, що перша та друга вибірка відображають шорсткість рисок відносно поверхні, третя – шорсткість самої риски. Таким чином завдяки цим вимірам маємо достатній рівень опису поверхні. Обробивши зібрані початкові дані за допомогою GMDH Shell отримано три математичні моделі. Результат моделювання зображено на рис. 5–7. В табл. 1 представлено точність результатів моделювання.

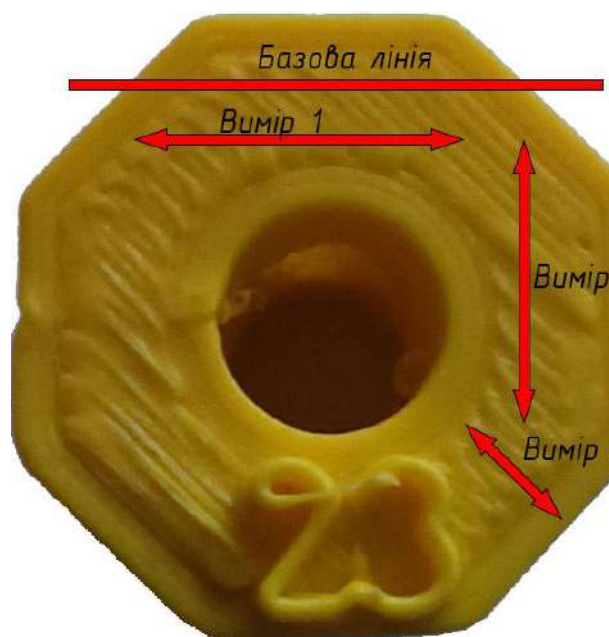


Рис. 4 – Світлина досліджуваного

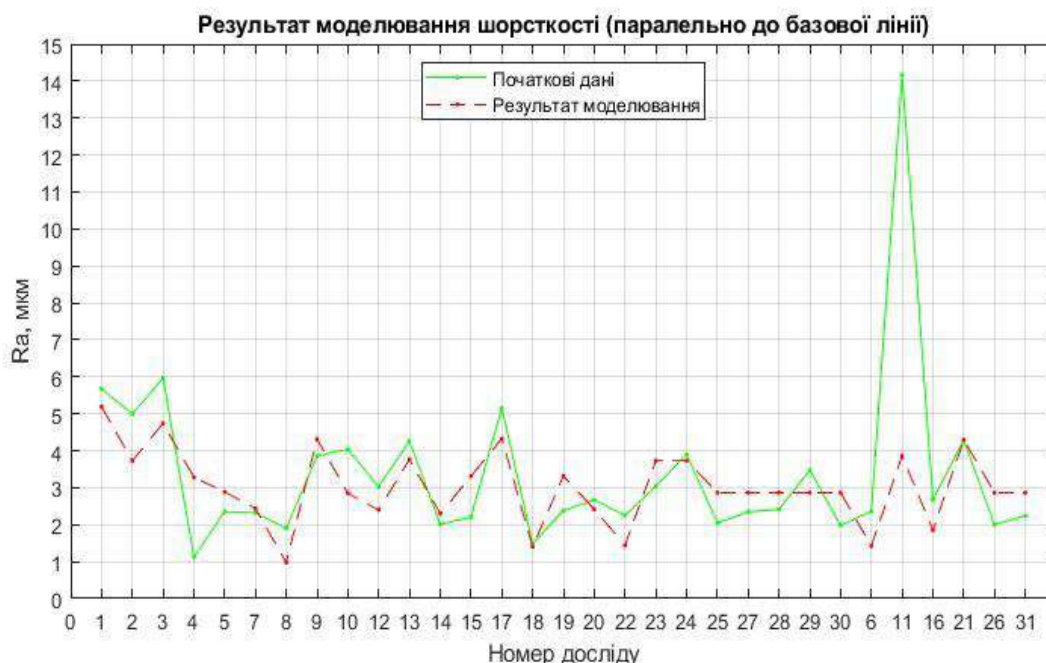


Рис. 5 – Результат моделювання за вибіркою 1



Рис. 6 – Результат моделювання за вибіркою 2

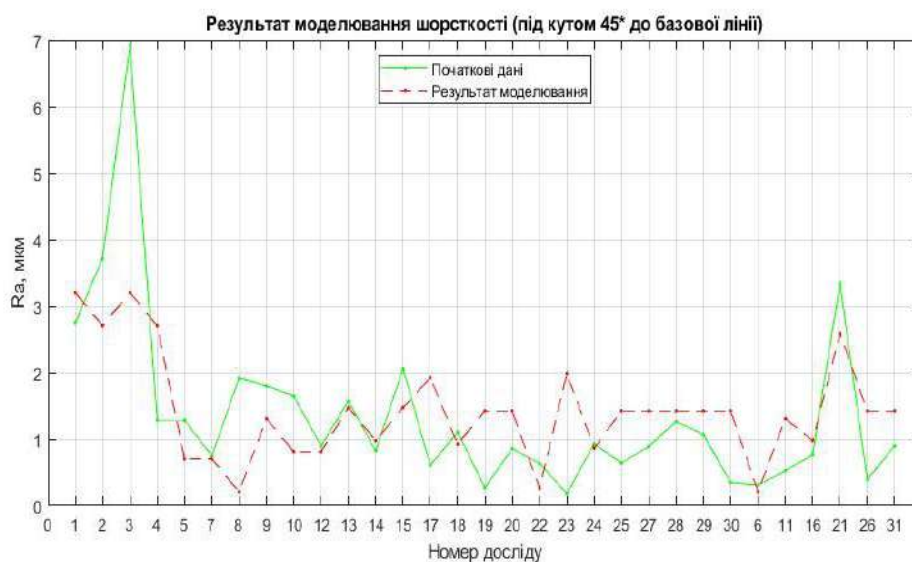


Рис. 7 – Результат моделювання за вибіркою 3

Таблиця 1 – Точність моделювання*

	Ra_1		Ra_2		Ra_3	
	Н	Е	Н	Е	Н	Е
Число спостережень	25	6	25	6	25	6
Макс. від'ємне відхилення	-1,265	-10,298	-1,609	-1,311	-3,717	-0,747
Макс. додатне відхилення	2,156	0,865	1,617	1,143	1,805	1,032
Середній модуль похибки	0,715	2,258	0,667	0,807	0,782	0,567
СКВ	0,842	4,257	0,814	0,924	1,108	0,654
Сума відхилень	0	-10,556	0	-1,981	0	1,703
Стандартне відхилення остач	0,842	3,876	0,814	0,863	1,108	0,589
Коефіцієнт детермінації	0,578	0,034	0,452	-0,759	0,336	0,609
Кореляція	0,76	0,543	0,672	-0,403	0,58	0,844

* Н – навчання, Е – екзамен

В цілому отримані математичні моделі добре описують вплив температурних параметрів на якість отриманих поверхонь. Можна бачити певні недоліки в моделях 1 та 3 швидше за все вони є наслідком похибки вимірювань

Описані математичні моделі дозволяють сформулювати початкові судження про реальний вплив температурних режимів друку з використанням системи мікрокліматичного контролю.

Наступним етапом є створення нових моделей на основі планів ПФЕ другого порядку. А також їх порівняння з результатами МГВА й оптимізація моделей для визначення оптимальних режимів друку й підтвердження (або спростування) необхідності використання мікрокліматичних установок для покращення якості друківаних поверхонь.

Література

1. Чонка, Е.Я. Аналіз точності формування поверхонь деталей виготовлених на 3D-принтері / Е.Я. Чонка, В.С. Антонюк // XV Всеукр. наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні», м. Київ 10–11 грудня 2019 року : зб. праць конф. / КПІ ім. Ігоря Сікорського, ПБФ, ФММ. – К. : КПІ ім. Ігоря Сікорського; Центр учбової літератури, 2019. – С. 197–200.

2. Gupta, P. Accuracy and Robustness of Stress Intensity Factor Extraction Methods for the Generalized/eXtended Finite Element Method / P. Gupta, C.A. Duarte, A. Dhankhar // Eng. Fracture Mechanics. – march 2017.

3. Ahlers, Daniel 3D Printing of Nonplanar Layers for Smooth Surface Generation / Daniel Ahlers, Florens Wasserfall, Norman Hendrich Jianwei Zhang // University of Hamburg. 2018.

4. Ben, Ezair. Thesis Seminar Advanced Geometric Methods in Machining and Additive Manufacturing / Ezair Ben. // Technion. – Tel-Aviv, 2019.

5. Moritz, Walter. 3D Printer: Non-Planar Layer FDM // July 27, 2016 [https : //hackaday.com/2016/07/27/3d-printer-non-planar-layer-fdm/](https://hackaday.com/2016/07/27/3d-printer-non-planar-layer-fdm/)

6. Новаковский, А.Г. Анализ современных технологических подходов к аддитивному производству / А.Г. Новаковский, В.С. Антонюк // Республ. межотрасл. производ. практ. журнал. – Мн. – 2016. – № 3(72). – С. 11–12

7. Новаковский, О.Г. Підвищення якості поверхонь виробів, отриманих методом 3D друку / О.Г. Новаковский, М.П. Рудь, В.С. Антонюк, М.О. Бондаренко // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» : Серія приладобудування. – 2020. – вип. № 61 (2) – С. 52–57.

8. Яригін В.А. Вислоух С.П. Перспективи використання мікрокліматичних установок для fdm 3d друку / В.А Яригін., С.П Вислоух // Зб. наук. праць XIV наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», м. Київ, 18–19 травня 2021 р. – К: К. : ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. Центр учбової літератури. – 2021. – С. 184–187.

*Яценко І.В., Ващенко В.А., Семенчук К.М.,
Малиш А.М., Петров М.О. Черкаський державний
технологічний університет, Черкаси, Україна*

ВИЗНАЧЕННЯ КРИТИЧНИХ ЗНАЧЕНЬ ПАРАМЕТРІВ ЗОВНІШНІХ ДІЙ НА ОПТИЧНІ ЕЛЕМЕНТИ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-СТАТИСТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ

Сучасні оптико-електронні прилади (імпульсні лазерні далекоміри прицільних комплексів, ІЧ-прилади тощо) з оптичними елементами з скла (оптичне скло К6, К108, К208 та ін.) та кераміки (оптична кераміка КО1, КО2, КО3 та ін.) при зберіганні, транспортуванні та застосуванні піддаються екстремальним зовнішнім діям (інтенсивним тепловим потокам та зовнішнім тискам, ударним термодіям в умовах пострілу та польоту та ін.).

Тому суттєвого значення набуває попереднє визначення критичних значень основних параметрів зовнішніх дій (зовнішніх теплових потоків, часів їх дії, зовнішніх тисків та ін.) на поверхню оптичних елементів. Визначення вказаних критичних параметрів на стадії проектування приладів дозволить попереджати можливі їх руйнування та відмови у екстремальних умовах експлуатації.

Вплив зовнішніх теплових потоків та часів їх дії на поверхню оптичних пластин при їх нерівномірному нагріві. В результаті проведених експериментальних досліджень (відносна похибка не перевищувала 5–7%) було встановлено залежності критичних зна-

чень зовнішнього теплового потоку q_n^* від критичних значень часів його впливу t^* при нормальних та підвищених зовнішніх тисках, при яких відбувається руйнування поверхневих шарів оптичних елементів.

Елементи з оптичного скла. Аналізуючи отримані дані, можна зробити висновок, що при збільшенні t^* від 4 с до 24 с величина q_n^* зменшується у 5–6 разів; при цьому збільшення зовнішнього тиску від $P = 10^5$ Па до $P = 10^7$ Па призводить при заданому t^* до зменшення q_n^* у 1,2–1,7 разу, а при заданому q_n^* – до зменшення t^* у 1,3–1,5 разу.

Для підвищення ефективності практичного використання цих даних при проектуванні та виготовленні різних приладів на основі оптичних елементів з використанням відомих методів математичної статистики було отримано наступні експериментально-статистичні моделі (відносна похибка 3–5%):

$$q_n^*(t^*, P) = (a_0 + a_1 \cdot P + a_2 \cdot P^2) \cdot (t^*)^{b_0 + b_1 \cdot P + b_2 \cdot P^2},$$

де q_n^* – у Вт/м²; t^* – у с; P – у Па; $a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2$ – емпіричні константи, значення яких залежать від природи оптичного скла.

Елементи з оптичних керамік. Аналізуючи отримані дані, можна зробити висновок, що, як для оброблених електронним променем оптичних елементів, так й для необроблених, при зменшенні q_n^* від $2,5 \cdot 10^6$ Вт/м² до $1,5 \cdot 10^5$ Вт/м² величина t^* збільшується у 6–8 разів. При цьому зменшення зовнішнього тиску від $P = 10^7$ Па до $P = 10^5$ Па призводить при заданому q_n^* до збільшення t^* у 2,0–2,5 раз, а при заданому t^* – до збільшення q_n^* у 3–4 рази.

Для підвищення ефективності практичного використання отриманих результатів, також для елементів з оптичних керамік, було розроблено наступні експериментально-статистичні моделі (відносна похибка 5–7%):

$$q_n^*(t^*, P) = (c_0 + c_1 \cdot P + c_2 \cdot P^2) \cdot (t^*)^{d_0 + d_1 \cdot P + d_2 \cdot P^2}, \quad (2)$$

де q_n^* – у Вт/м²; t^* – у с; P – у Па; $c_0, c_1, c_2, d_0, d_1, d_2$ – емпіричні константи, значення яких залежать від природи оптичної кераміки

Визначення небезпечних ділянок на поверхні півсферичних обтічників ІЧ-приладів, що піддаються максимальним нагрівам

та руйнуванням в умовах надзвукового обдуву потоком повітря та вісесиметричного обертання. В результаті проведених випробувань було встановлено, що при швидкості обдуву до $8 \cdot 10^2$ – $1,2 \cdot 10^3$ м/с 30–40% випробуваних обтічників піддаються руйнуванню, а при швидкостях обдуву $1,5 \cdot 10^3$ – $2 \cdot 10^3$ м/с руйнуванню піддаються вже більше 90% випробуваних обтічників. За результатами шлірен-фотографічних досліджень структури газового потоку і безпосередньо за кінцевими результатами випробувань встановлено, що основний внесок в руйнування обтічників надає турбулентний надзвуковий обдув потоком повітря.

Для турбулентного режиму обтікання півсферичного обтічника було отримано залежність $\theta(V)$ (θ – кутова координата вздовж поверхні обтічника від передньої критичної точки до місця, де відбувається максимальний нагрів обтічника та його руйнування ($\theta = \theta_{\max}^*(V)$)) (рис. 1). З рис. 1 випливає, що із збільшенням швидкості обдуву потоком повітря місця розташування зон поверхневого руйнування обтічника практично не змінюються: при збільшенні V від $7 \cdot 10^2$ м/с до $2 \cdot 10^3$ м/с значення $\theta_{\max}^*$ лежать в межах 21–23°.

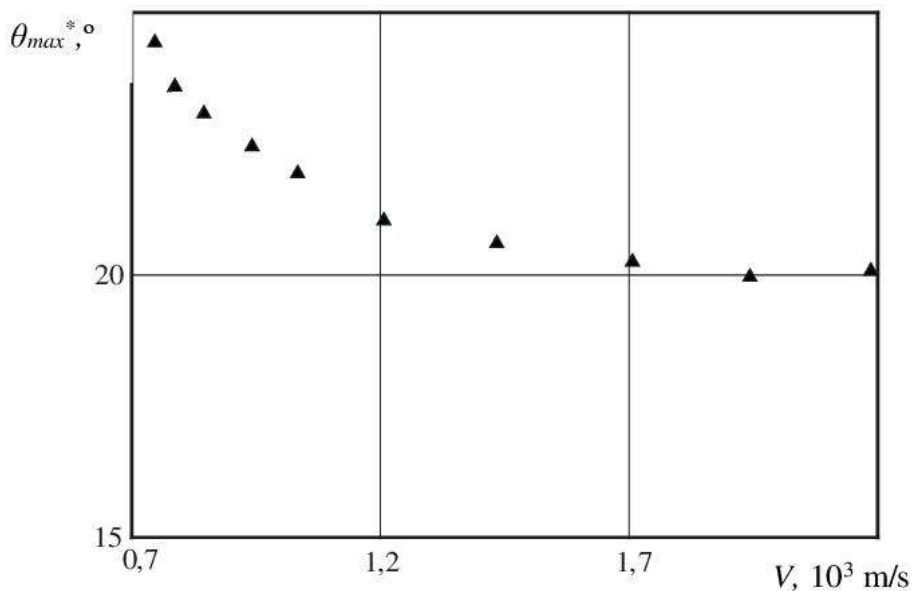


Рис. 1 – Залежність $\theta_{\max}^*(V)$ для турбулентного обдуву обтічника надзвуковим потоком повітря: ▲ – результати експериментальних досліджень

ПРОБЛЕМИ ЯКОСТІ ПРИ РЕМОНТІ КОМПОНЕНТІВ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ

Результатом ремонту, як процесу відновлення роботи техніки є забезпечення безперебійного функціонування роботи вузлів і механізмів у відповідності з технічними даними на протязі визначеного проміжку часу (ресурсу). Саме це є характеристикою якості ремонту. Все це досягається не тільки конструктивними та технологічними рішеннями, а й додержанням правил експлуатації. Зазвичай, остаточно повністю оцінити ці характеристики агрегатів можна лиш при здійсненні ремонту агрегатів. Це, в першу чергу, відноситься до агрегатів з підвищеними вимогами надійності, наприклад, агрегатів паливних систем авіаційних двигунів, де вимоги до технічних характеристик і регламентні роботи чітко визначені та ведеться їх облік. При кожному ремонті досліджується технічний стан агрегату, інформація щодо експлуатування, тому невластиві дефекти, стани, пошкодження чітко фіксуються. Наприклад, останнім часом, при перевірці агрегатів, які надходять в ремонт з експлуатації, помічені невластиві пошкодження, які не пояснюються традиційними впливами. При більш детальному дослідженні виявляється причиною є сторонні частки у системі, які не могли потрапити туди ззовні, було зроблено припущення, що однією з причин є паливо.

Щодо досліджень біодеструкторів авіаційних з відкритих джерел палив відомо, що в паливних системах може спостерігатися розвиток мікроорганізмів, що призводить до погіршення фізико-хімічних та експлуатаційних властивостей палив в результаті зміни їх вуглеводневого складу, накопичення мікробної слизу і осаду, утворення стійких емульсій. У зв'язку з цим, з метою правильного встановлення причини дефектів авіаційних агрегатів паливних систем для конструктивного їх ремонтування і запобігання можливих відмов, пов'язаних зі зміною якості палива, виникає необхідність проведення додаткових досліджень та отримання інформації стосовно: статистики випадків пошкоджень в агрегатах паливних систем до яких могла призвести зміна характеристик палива; розвитку методів і способів (створення документованих методик) виявлення наявності мікроорганізмів у авіаційному паливі, які включають

можливість оцінювання за залишковим принципом (у агрегатах, що поступають у ремонт); детальних досліджень щодо результатів діяльності мікроорганізмів та вплив на поверхні, з якими контактує паливо. Оперуючи вищезазначеною інформацією, можливо розробити варіанти вирішення проблеми: захист чи очистка палива або паливних систем взагалі в експлуатації, конструктивні заходи тощо.

Все дозволить скоротити обсяг невизначеності технічних характеристик при ремонті, скоротити трудомісткість досліджень та ремонту та забезпечити якісні характеристики техніки в авіаційній галузі.

ЗМІСТ

<i>Antipin E.V., Ziakhor I.V., Didkovsky O.V., Kavunichenko O.V.</i> TECHNOLOGIES OF FLASH-BUTT WELDING OF MODERN RAILS BASED ON PULSATING FLASHING PROCESS	3
<i>Lesich V., Bondarenko M.</i> DEVELOPMENT AND RESEARCH OF THE INFORMATION AND MEASURING SYSTEM OF THICKNESS THIN FILMS IN THE PROCESS OF THEIR DEPOSITION IN VACUUM	7
<i>Ziakhor I., Zavertannyi M., Nakonechnyi A. E.O., Wang Qichen</i> FRICTION WELDED BIMETALLIC PARTS FOR INDUSTRIAL APPLICATION	9
<i>Бандуренко М.В., Рябченко С.В.</i> АЛМАЗНО-ГАЛЬВАНІЧНИЙ ІНСТРУМЕНТ ДЛЯ ОБРОБКИ НАПЛАВОК	12
<i>Бужанська І., Аврамчук С., Волкогон В.</i> ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ КОМПОЗИТІВ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ В СИСТЕМІ «ВЮРЦИТНИЙ НІТРИД БОРУ–АЛМАЗ»	13
<i>Бужанська І., Аврамчук С., Волкогон В.</i> ВПЛИВ НАПОВНЮВАЧА У ВИХІДНІЙ ШИХТІ НА ОСНОВІ ВЮРЦИТНОГО НІТРИДУ БОРУ НА ФОРМУВАННЯ МІКРОМЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИТУ	16
<i>Б у р л а к о в В. І.</i> ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ВІБРО-МАГНІТНО- АБРАЗИВНОГО ОБРОБЛЕННЯ НАДТВЕРДОЇ КЕРАМІКИ	19
<i>Варюхно В.В., Тамаргазін О.А., Приймак Л.Б., Довгаль А.Г., Кабика С.М.</i> СКЛАД ПІДШАРУ ТЕПЛОЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ ТЕПЛОНАВАНТАЖЕНИХ ДЕТАЛЕЙ АВІАЦІЙНОЇ НАЗЕМНОЇ ТЕХНІКИ	20
<i>Волошин Д.І.</i> ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ГАЛЬМІВНИХ КОЛОДОК РУХОМОГО СКЛАДУ	25
<i>Волошина Л.В.</i> МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ	27

<i>Волошина Л.В., Волошин Д.І., Карпенко Є.Р.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ МАСЛЯНИХ ШЕСТЕРЕННИХ НАСОСІВ ДВЗ	29
<i>Воробйов Є.В., Анпілогова Т.В.</i> ПОВЕРХНЕВА ТА ІНШІ ВИДИ ЕНЕРГІЇ, ЩО ГЕНЕРУЮТЬСЯ В ПРОЦЕСІ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОЇ СТРИБКОПОДІБНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ МЕТАЛІВ	31
<i>Глембоцька Л.Є, Балицька Н.О.</i> ВПЛИВ ФОРМИ НОЖІВ ТОРЦЕВОЇ ФРЕЗИ НА ТАНГЕНЦІАЛЬНУ СКЛАДОВУ СИЛИ РІЗАННЯ	33
<i>Глембоцька Л.Є, Балицька Н.О.</i> КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ФОРМИ ПЕРЕДНЬОЇ ПОВЕРХНІ НОЖІВ ТОРЦЕВОЇ ФРЕЗИ НА СИЛОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕСУ ОБРОБЛЕННЯ	35
<i>Гущин К.В., Зяхор І.В., Самотрясов С.М., Завертанний М.С., Наконечний А.О.</i> ВПЛИВ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ З'ЄДНАНЬ АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ 6061-Т6, ВИКОНАНИХ КОНТАКТНИМ СТИКОВИМ ЗВАРЮВАННЯМ ОПЛАВЛЕННЯМ	38
<i>Даниленко Ю.А.</i> ВИКОРИСТАННЯ ОБ'ЄКТІВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ В СТАНДАРТАХ ITU-T/ITU-R/ISO/IEC	41
<i>Домуладжанов И.Х., Домуладжанова Ш.И., Латипова М.И.</i> РАСЧЕТ ВЫБРОСОВ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ МАТЕРИАЛОВ	43
<i>Ільницька Г.Д., Олійник Н.О., Лавріненко В.І., Лисаковський В.В., Зайцева І.М., Соколов О.М., Базалій Г.А., Тимошенко В.В.</i> ПОЛПШЕННЯ ЯКОСТІ ШЛІФПОРОШКІВ СИНТЕТИЧНИХ АЛМАЗІВ	48
<i>Ільницька Г.Д., Лавріненко В.І., Смоквина В.В.</i> МОНОГРАФІЯ: «АЛМАЗИ ДЛЯ ШЛІФУВАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ, ОТРИМАНІ В РІЗНИХ СИСТЕМАХ» – СУЧАСНИЙ НАУКОВИЙ ПОСІБНИК ДЛЯ ФАХІВЦІВ У АЛМАЗНІЙ СПРАВІ	50

<i>Кавуніченко О.В., Зяхор І.В., Антіпін Є.В., Левчук А.М., Шило Ю.А.</i> ТЕМПЕРАТУРНО-ЧАСОВІ УМОВИ ФОРМУВАННЯ З'ЄДНАНЬ ПРИ КОНТАКТНОМУ СТИКОВОМУ ЗВАРЮВАННІ РЕЙКОВОЇ СТАЛІ К76Ф ІЗ СТАЛЛЮ АУСТЕНІТНОГО КЛАСУ 08Х18Н10Т	52
<i>Козулін С.М., Личко І.І., Тюкалов В.Г., Майданчук Т.Б., Ілюшенко В.М.</i> ВІДНОВЛЕННЯ ЗНОШЕНИХ ДЕТАЛЕЙ ПРИВОДНИХ МЕХАНІЗМІВ ЕЛЕКТРОШЛАКОВИМ НАПЛАВЛЕННЯМ	55
<i>Комарова Г.Л.</i> УДОСКОНАЛЕННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВОЇ ОБРОБКИ КОЛІСНОЇ ПАРИ ВАГОНА	58
<i>Комарова Г.Л., Харченко А.О.</i> ІННОВАЦІЇ ЯК МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ КОНКУРЕНТОЗДАТНОСТІ МАШИНОБУДІВНИХ ПІДПРИЄМСТВ	59
<i>Кусий Я.М., Міянда П., Зінько А.В.</i> ЗАСТОСУВАННЯ КРИТЕРІЮ ОДНОРІДНОСТІ МАТЕРІАЛУ ПІД ЧАС ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН	62
<i>Лавріненко В.І., Полторацький В.Г., Бочечка О.О., Пасічний О.О., Лещенко О.В., Солод В.Ю., Кашинський І.С., Тищенко В.А.</i> ВИЗНАЧЕННЯ ОКСИДІВ, ПРИЗНАЧЕНИХ ДЛЯ МОДИФІКУВАННЯ ПОВЕРХНІ АЛМАЗНИХ ЗЕРЕН, ТА РОЗРОБКА СПОСОБІВ І ТЕХНОЛОГІЇ ЇХ МОДИФІКУВАННЯ З СУМІШІ РОЗЧИННИХ І НЕРОЗЧИННИХ ОКСИДІВ	65
<i>Лавріненко В.І., Полторацький В.Г., Ситник Б.В., Скрябін В.В., Солод В.Ю., Кашинський І.С., Гумаров О.В., Танцюра Т.О.</i> ОСОБЛИВОСТІ ОТРИМАННЯ ШЛІФОВАНОЇ ПОВЕРХНІ ІЗ СВОЄРІДНИМИ МАСЛЯНИМИ «КИШЕННЯМИ» ПІСЛЯ ШЛІФУВАННЯ КРУГАМИ З НАДТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ БЕЗ ДОДАТКОВОГО ДООПРАЦЮВАННЯ ТАКОЇ ПОВЕРХНІ	67
<i>Лещенко О.І., Рукосуєва Ю.М., Волошко О.В.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНОГО СТИСКУ ПРУЖИН ЗА ДОПОМОГОЮ САЕ СИСТЕМ	71
<i>Майданчук Т.Б., Бондаренко А.М., Колодяжний В.А.</i> РЕМОНТ МІДНОГО СТРУМОПІДВОДУ ДУГОВОЇ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЇ ПЕЧІ	74

<i>Мановицький О.С., Клименко С.А., Бурикін В.В.</i> ВИЗНАЧЕННЯ КУТУ ЗСУВУ ПРИ РІЗАННІ ІНСТРУМЕНТОМ З ВІД'ЄМНИМ ПЕРЕДНІМ КУТОМ	75
<i>Мановицький О.С., Клименко С.А., Манохін А.С.</i> ПОРІВНЯННЯ ЗНОШУВАННЯ ФРЕЗ З ПНТМ ПРИ ОБРОБЦІ АБРАЗИВНОГО ПОЛІМЕРНОГО КОМПАУНДУ	78
<i>Манохін А.С., Камчата-Степанова К.С., Конєйкіна М.Ю., Мельнійчук Ю.О.</i> МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВРІЗАННЯ ІНСТРУМЕНТУ ПРИ ЧЕРВ'ЯЧНОМУ ФРЕЗЕРУВАННІ ЗАГАРТОВАНОЇ СТАЛІ	80
<i>Мельнійчук Ю.О., Клименко С.А., Клименко С.А., Чумак А.О.</i> ФРЕЗЕРУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ІЗ ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВИХ СПЛАВІВ ІНСТРУМЕНТАМИ З КОМПОЗИТАМИ НА ОСНОВІ КУБІЧНОГО НІТРИДУ БОРУ	83
<i>Мельник Т.В., Ругаленко Т.В.</i> АСПЕКТИ ТЕХНІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ МИЙНИХ ЗАСОБІВ В УКРАЇНІ	86
<i>Москвін П.П., Балицька Н.О., Крижанівський В.Б., Мельничук П.П.</i> МУЛЬТИФРАКТАЛЬНІ ПАРАМЕТРИ ПОВЕРХНЕВОГО МІКРОРЕЛЬЄФУ, СФОРМОВАНОГО ТОРЦЕВИМ ФРЕЗЕРУВАННЯМ	90
<i>Нежебовський В.В., Рябченко С.В.</i> ПРОФІЛЬНЕ ШЛІФУВАННЯ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС ВУГЛЕДОБУВНИХ КОМБАЙНІВ КРУГАМИ ІЗ РУБИН-КОРУНДУ	94
<i>Петасюк Г.А., Петасюк О.У.</i> ОПОСЕРЕДКОВАНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ТОВЩИНИ ПОКРИВУ АБРАЗИВНИХ ПОРОШКІВ З ВИКОРИСТАННЯМ 3D МОДЕЛІ ЗЕРНА У ФОРМІ ЕЛІПСОЇДА	96
<i>Посвятенко Е.К., Немировський Я.Б., Шепеленко І.В.</i> ІНЖЕНЕРІЯ КАМЕР ЗГОРЯННЯ ТВЕРДОПАЛИВНИХ НЕКЕРОВАНИХ РАКЕТ	100
<i>Посвятенко Е.К., Посвятенко Н.І., Рибак І.П.</i> МЕХАНІКА ЗАГЛИБЛЕННЯ ЛІНІЙНОГО ІНДЕНТЕРА У ПОВЕРХНЮ ДЕТАЛІ	101

<i>Пріхна Т.О., Льницька Г.Д., Лавріненко В.І., Логінова О.Б., Зайцева І.М., Тимошенко В.В., Котинська Л.Й., Барановська К.А.</i> ПОКРАЩЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК АЛМАЗІВ ЗЕРНИСТОСТЕЙ 160/125-100/80, СИНТЕЗОВАНИХ В СИСТЕМІ Ni-Mn-C	106
<i>Сагалович А.В., Сагалович В.В., Попов В.В., Дуднік С.Ф. Олійник А.К.</i> ТРИБОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ АЗОТОВАНИХ У ПЛАЗМІ ТЛЮЧОГО РОЗРЯДУ ЗРАЗКІВ З ТИТАНОВОГО СПЛАВУ VT5 У ПАРАХ З РІЗНИМИ МАТЕРІАЛАМИ	110
<i>Саленко О.Ф., Цуркан Д., Костенко А.</i> ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОНКОСТІННИХ ОБОЛОНКОВИХ FDM-ВИРОБІВ ЗА РАХУНОК ЕФЕКТІВ АВТОСКРІПЛЕННЯ	112
<i>Сапон С.П.</i> ПРОБЛЕМАТИКА МОНІТОРИНГУ ВІБРАЦІЙ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ІШПИНДЕЛЬНИХ ВУЗЛАХ	118
<i>Сахнюк І.О.</i> РОЗВИТОК СФЕРИ ТЕХНІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ В РАМКАХ МІЖНАРОДНИХ НОРМАТИВНО-ПРАВОВИХ АКТІВ, ЗАПЛАНОВАНИЙ НА 2022 р.	121
<i>Сахнюк І.О., Кириленко Л.В., Битков М.Х., Рудак Н.П.</i> ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ ЩОДО СТАНДАРТИЗАЦІЇ, СЕРТИФІКАЦІЇ, АКРЕДИТАЦІЇ, ОЦІНКИ ВІДПОВІДНОСТІ ТА МЕТРОЛОГІЇ В УКРАЇНІ	130
<i>Сердюк І.В., Столбовий В.О.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ ВАКУУМНО- ДУГОВИХ БАГАТОШАРОВИХ НІТРИДНИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ РОБОТИ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ	133
<i>Сороченко В.Г., Сороченко Т.А.</i> ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОГО ІШЛІФУВАННЯ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ	134
<i>Сохань С.В., Сороченко В.Г.</i> ФІЗИЧНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ПРОЦЕСУ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОГО ІШЛІФУВАННЯ КЕРАМІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ	138
<i>Сохань С.В., Сороченко В.Г., Сороченко Т.А.</i> ВПЛИВ НАНОПОРОШКІВ НА ТВЕРДІСТЬ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ КОМПОЗИТІВ ІЗ НАДТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ СИСТЕМИ Cu-Sn-алмаз	140

<i>Тимофєєв С.С.</i> ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПЛУНЖЕРНИХ ПАР	143
<i>Тимофєєва Л.А.</i> ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ КОЛІС ЦІЛЬНОКАТАНИХ РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦІ	144
<i>Тимофєєва Л.А., Тимофєєв С.С., Козловська І.П.</i> ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ЧАВУНУ ПАРООКСИДУВАННЯМ ІЗ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ СОЛЕЙ	146
<i>Яригін В.А., Вислоух С.П., Антонюк В.С.</i> МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХОНЬ, ОТРИМАНИХ 3D ДРУКОМ ЗА ДОПОМОГОЮ ЗАСОБІВ МГВА	149
<i>Яценко І.В., Ващенко В.А., Семенчук К.М., Малиш А.М., Петров М.О.</i> ВИЗНАЧЕННЯ КРИТИЧНИХ ЗНАЧЕНЬ ПАРАМЕТРІВ ЗОВНІШНІХ ДІЙ НА ОПТИЧНІ ЕЛЕМЕНТИ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-СТАТИСТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ	154
<i>Павлова Г.О.</i> ПРОБЛЕМИ ЯКОСТІ ПРИ РЕМОНТІ КОМПОНЕНТІВ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ	157

ІНЖЕНЕРІЯ ПОВЕРХНІ ТА РЕНОВАЦІЯ ВИРОБІВ

Матеріали 22-ї Міжнародної науково-технічної конференції,
15–16 червня 2022 р., м. Київ

Мови конференції: українська, англійська

Комп'ютерна верстка
Копейкіна М.Ю.

Підписано 10.06.2022
Формат 60×84×1/16
Умч. вид. арк. 11,0.

.

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