МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНБАСЬКА ДЕРЖАВНА МАШИНОБУДІВНА АКАДЕМІЯ

ВАЖКЕ МАШИНОБУДУВАННЯ. ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

МАТЕРІАЛИ

XXIII МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

КРАМАТОРСЬК-ТЕРНОПІЛЬ-СВАЛЯВА 2025

Міністерство освіти і науки України
Донбаська державна машинобудівна академія
Краматорський завод важкого верстатобудування
Індустріальний парк «Френдлі Віндтехнолоджи»
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України
Луцький національний технічний університет
Національний університет «Одеська політехніка»
Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського»
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
Національний університет «Львівська політехніка»
Національний університет «Чернігівська політехніка»
Сумський державний університет

ВАЖКЕ МАШИНОБУДУВАННЯ. ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

МАТЕРІАЛИ
XXIII Міжнародної
науково-технічної конференції

Краматорськ-Тернопіль-Свалява 2025

УДК 621.9

Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. Матеріали XXIII Міжнародної науково-технічної конференції 28 – 31 травня 2025 року / за заг. ред. В. Д. Ковальова. — Краматорськ-Тернопіль-Свалява: ДДМА, 2025. — 264 с.

ISBN 978-617-7893-02-7

В збірнику наведені матеріали до вирішення актуальних проблем важкого машинобудування, обороноздатності, конструювання, виготовлення та експлуатації машин, верстатів, інструментів, розробки та впровадження прогресивних енергозберігаючих технологій та ін.

ОСНОВНА ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦІЇ

1. Сучасні проблеми машинобудування, металообробки, якості технологічних систем.
2. Нові напрямки розвитку процесів металообробки, металорізальних верстатів та інструментів.
3. Прогресивна техніка і технології для важкого машинобудування.
4. Нові інформаційні технології в управлінні виробництвом.
5. Проблеми інженерної освіти та підготовки кадрів вищої кваліфікації.
6. Автоматизація технологічних і виробничих процесів.
7. Обчислювальні мережі і системи, елементи і пристрої обчислювальної техніки та систем керування.
8. Застосування математичного моделювання в техніці та економіці.
9. Менеджмент та маркетинг.

Робочі мови конференції – українська, англійська.

МІЖНАРОДНИЙ ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

Голова

Ковальов В.Д.,	д.т.н., проф., ректор ДДМА

Члени програмного комітету:

Алієв І.С.,	д.т.н., проф. зав. каф. ДДМА
Антонюк В.С.,	д.т.н., проф. КПІ ім. Ігоря Сікорського
Васильченко Я.В.,	д.т.н., проф., зав. каф. ДДМА
Воронцов Б.С.,	д.т.н., проф. КПІ ім. Ігоря Сікорського
Гасанов М.І.,	д.т.н., проф., проректор НТУ "ХПІ"
Грицай І.Є.,	д.т.н., проф., НУ "Львівська політехніка"
Данильченко Ю.М.,	д.т.н., проф., зав. каф. КПІ ім. Ігоря Сікорського
Заковоротний О.Ю.,	д.т.н., проф., зав. каф. НТУ "ХПІ"
Залога В.О.,	д.т.н., проф. СумДУ
Калафатова Л.П.,	д.т.н., проф. ДонНТУ
Кассов В.Д.,	д.т.н., проф., декан ФМ ДДМА
Клименко Г.П.,	д.т.н., проф. ДДМА
Клименко С.А.,	д.т.н., проф., член-кор. НАНУ, заст. директора ІНМ ім. В.Бакуля НАНУ
Клочко О.О.,	д.т.н., проф., зав. каф. НТУ "ХПІ"
Луців І.В.,	д.т.н., проф. ДУ "Житомирська політехніка"
Майборода В.С.,	д.т.н., проф. КПІ ім. Ігоря Сікорського
Марков О.Є.,	д.т.н., проф., зав. каф. ДДМА
Мельничук П.П.,	д.т.н., проф., почесний ректор ДУ "Житомирська політехніка"
Мироненко Є.В.,	д.т.н., проф., декан ФЕМ ДДМА
Митник М.М.,	к.т.н., доц., ректор ТНТУ ім. І. Пулюя
Онисько О.Р.,	д.т.н., проф. ІФНТУНГ
Панчук В.Г.,	д.т.н., проф., зав. каф. ІФНТУНГ
Пасічник В.А.,	д.т.н., проф. КПІ ім. Ігоря Сікорського
Пермяков О.А.,	д.т.н., проф., зав. каф. НТУ "ХПІ"
Петраков Ю.В.,	д.т.н., проф. КПІ ім. Ігоря Сікорського
Повстяной О.Ю.,	д.т.н., проф. ЛНТУ
Равська Н.С.,	д.т.н., почесний проф. ДДМА
Родічев Ю.М.,	к.т.н., с.н.с. ІПМіц ім. Г.С.Писаренка НАН України
Сорока О.Б.,	д.т.н., ІПМіц ім. Г.С.Писаренка НАН України
Струтинський В.Б.,	д.т.н., проф. КПІ ім. Ігоря Сікорського
Ступницький В.В.,	д.т.н., проф., зав. каф. НУ "Львівська політехніка"
Тонконогий В.М.,	д.т.н., проф., директор ІПТДМ НУ "Одеська політехніка"
Турчанін М.А.,	д.х.н., проф., проректор ДДМА
Чуприна В.М.,	д.т.н., доц., ДНДІ випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки м. Черкаси
Чухліб В.Л.,	д.т.н., проф., зав. каф. НТУ "ХПІ"

Cristian Barz,	Ph.D., Full Professor, Department of Electrical Engineering, Electronic and Computers, North University Center of Baia Mare, Romania
Ehrentreich Torsten,	Dipl. Ingenieur, Berlin,Germany
Michał Bembenek,	Professor, AGH University of Science and Technology, Poland
Iwona Przychocka,	Dr hab., professor, prorector of Helena Chodkowska University of Technology and Economics
Jarosław Ziółkowski,	PhD, DSc, Prof., Military University of Technology | WAT • Faculty of Mechanical Engineering
Justyna Żylińska,	Dr, rector of Helena Chodkowska University of Technology and Economics in Warsaw
Predrag Dasic,	University Union "Nikola Tesla", Serbia
Volodymyr Hutsaylyuk,	Dr hab. Eng., Professor, MUT Institute of Robots and Machine Design | Department of Manufacturing Technologies Faculty Mechanical Engineering Military University of Technology

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Голова	**Васильченко Я.В.,** д.т.н., проф., зав. каф. КМСІТ, ДДМА
Вчений секретар	**Шаповалов М.В.,** к.т.н.
Члени організаційного комітету	**Антоненко Я.С.,** к.т.н.; **Анциферова О.О.,** к.т.н.; **Буховець В.М.,** к.т.н.; **Волошин В.Н.,** к.т.н.; **Кобельник В.Р.,** к.т.н.; **Копєйкіна М.Ю.,** к.т.н.; **Лещук Р.Я.,** к.т.н.; **Сенчишин В.С.,** к.т.н.; **Сорокіна Т.О.,** к.т.н.; **Хорошайло В.В.,** к.т.н.; **Юрчишин О.Я.,** к.т.н.; **Васильченко Ю.В.**

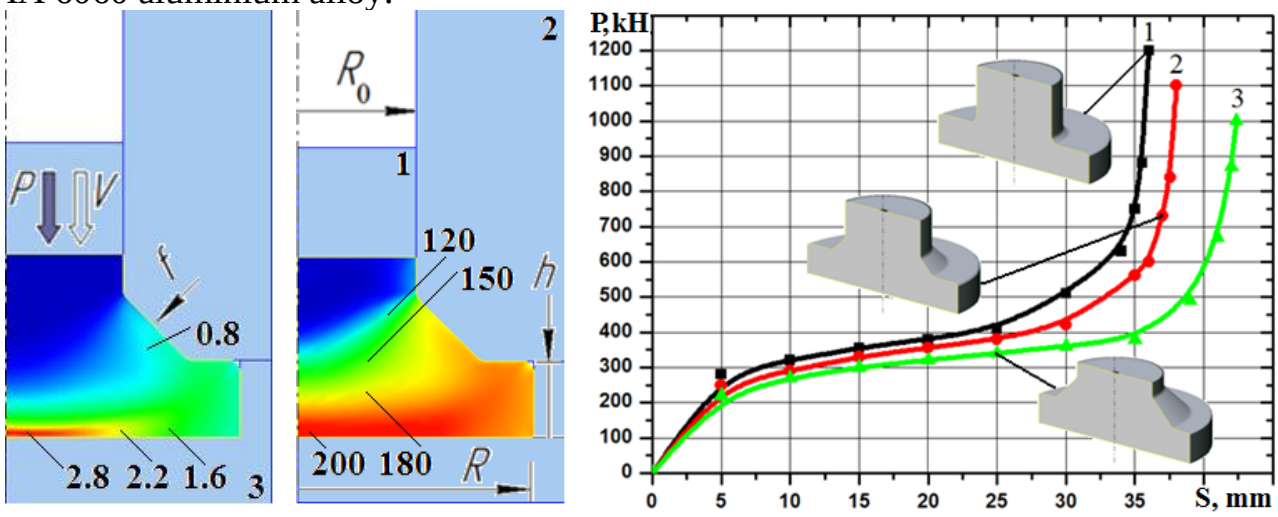
ISBN 978-617-7893-02-7
© ДДМА 2025

A FINITE ELEMENT STUDY OF UPPER DIE CHAMFER DIMENSIONS IN RADIAL EXTRUSION

Abhari P.B., Solianov D.O., Oliinyk D.S.
(Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk – Ternopil, Ukraine)

Extrusion is a widely used metal forming process valued for its versatility and industrial applications. As a high-speed, cost-effective method, it includes types such as forward, backward, radial, lateral, and combined extrusion. Radial extrusion involves pressing a billet with opposing punches to force material radially through a fixed die. The process is analyzed using the finite element method (FEM) via QForm 2D, offering key insights into material flow and process optimization [1].

The die geometry and power mode parameters for the radial extrusion process with room temperature are as follows (Fig. 1): R_0 – the radius of billet (R_0=18mm), R – the flange radius (R=36mm), the billet height (70mm), h – the relative flange height (h/R_0=0,65), r – the die chamfer (f=2; 6; 10mm), V – punch velocity (V=1mm/s), P – punch load, the friction factors between the billet and tools are constant (Zibel's law, μ=0.08), and also the material used for the simulation is AA 6060 aluminium alloy.



a) b) c)

1 – punch, 2 – upper die, 3 – lower die

Fig. 1. Effective strain distributions (a), effective stress distributions, MPa (b) and the punch load vs. the punch stroke, 1 – f=2 mm; 2 – f=6 mm; 3 – f=10 mm (d) in the radial extrusion

The maximum values of effective strain and stress are calculated as follows: ε_{max} =2.8, σ_{max} =200MPa in the radial extrusion with f=10 mm (Fig. 1). And also, the study further examines how punch load varies with stroke, comparing load–stroke curves for different upper-die chamfer dimensions. These curves reveal a pronounced rise in forming loads as the punch advances through successive deformation stages, underscoring how subtle changes in tool geometry can profoundly affect process performance (Fig. 1).

Reference: 1. Abhari Payman. Investigation of load on the tools in precision radial extrusion process with multiple ram /Payman Abhari // XVII International scientific conference «New technologies and achievements in metallurgy, material engineering and production engineering»: Series: Monographs. – Nr 56. – Częstochowa, 2016 – P. 330–333.

APPLICATION OF MULTILAYER SWITCHING FOR NETWORK DESIGN IN A METAL FORMING ENTERPRISE USING CISCO PACKET TRACER

Abhari P.B., Tokar V.O., Khmarskyi D.P.
(Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk – Ternopil, Ukraine)

In modern enterprise and campus networks, the demand for both high-speed switching and efficient routing has led to the widespread adoption of multilayer switches. A multilayer switch (MLS) combines the low-latency switching of a traditional Layer 2 switch with the dynamic routing capabilities of a router operating at Layer 3. This hybrid device is fully capable of performing routing functions such as forwarding packets between different IP subnets, participating in routing protocols, and applying advanced policy-based controls, all while maintaining the performance characteristics of hardware-based switching [1].

In designing a network topology for a metal forming enterprise, two multilayer switches are utilized in place of a traditional router. This configuration enhances performance by integrating routing and switching functions, offering greater flexibility and scalability within the network infrastructure (Fig. 1).

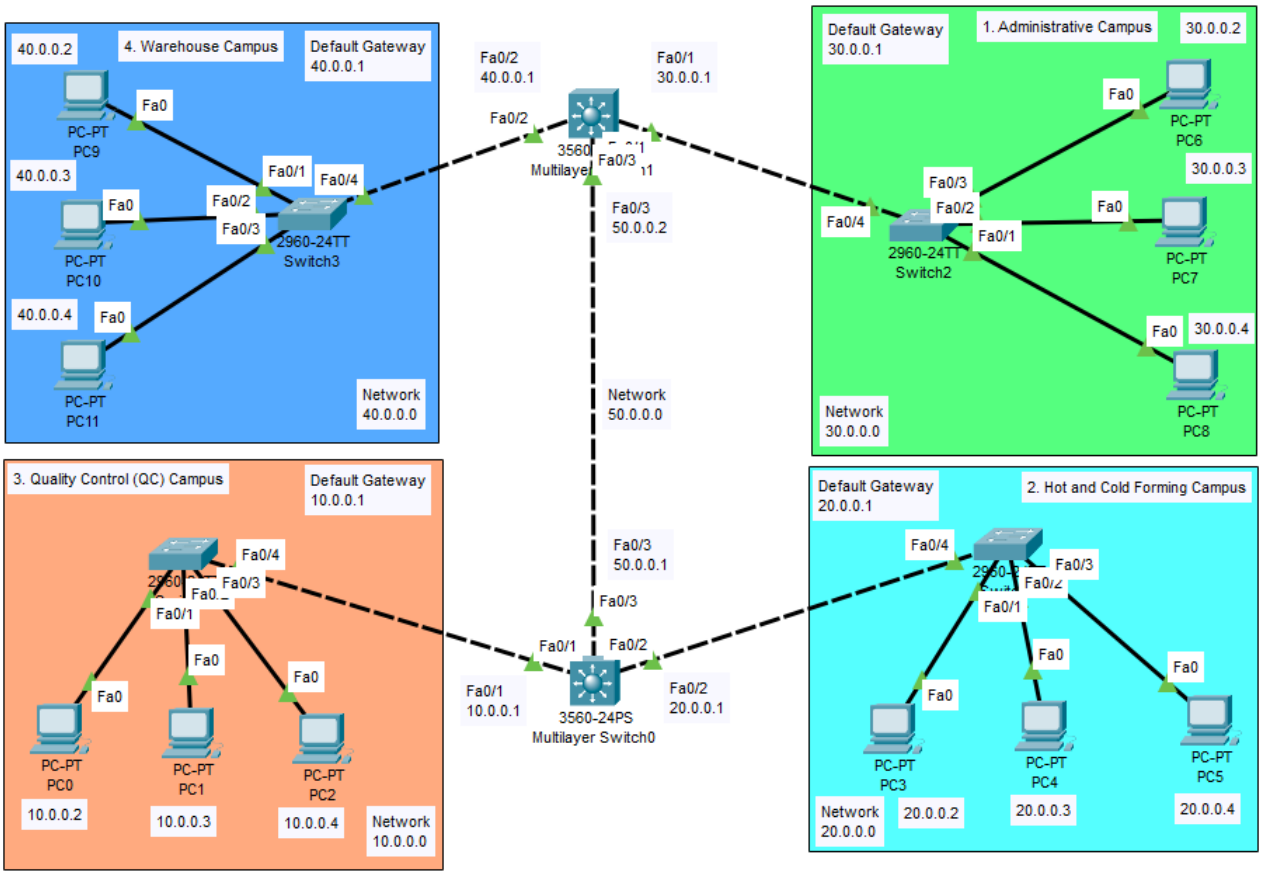


Fig. 1 Network topology design with multilayer switches for a metal forming enterprise using cisco packet tracer: administrative campus (1); hot and cold forming campus (2); quality control campus (3) and warehouse campus (4)

Reference: 1. A. Ziradkar, N. Mahendrakar, A. Palande, and Prof. Rajashri Sonawale, “Campus network architecture using cisco packet tracer,” International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), vol. Vol. 8, Issue 4, Apr 2021. [Online].

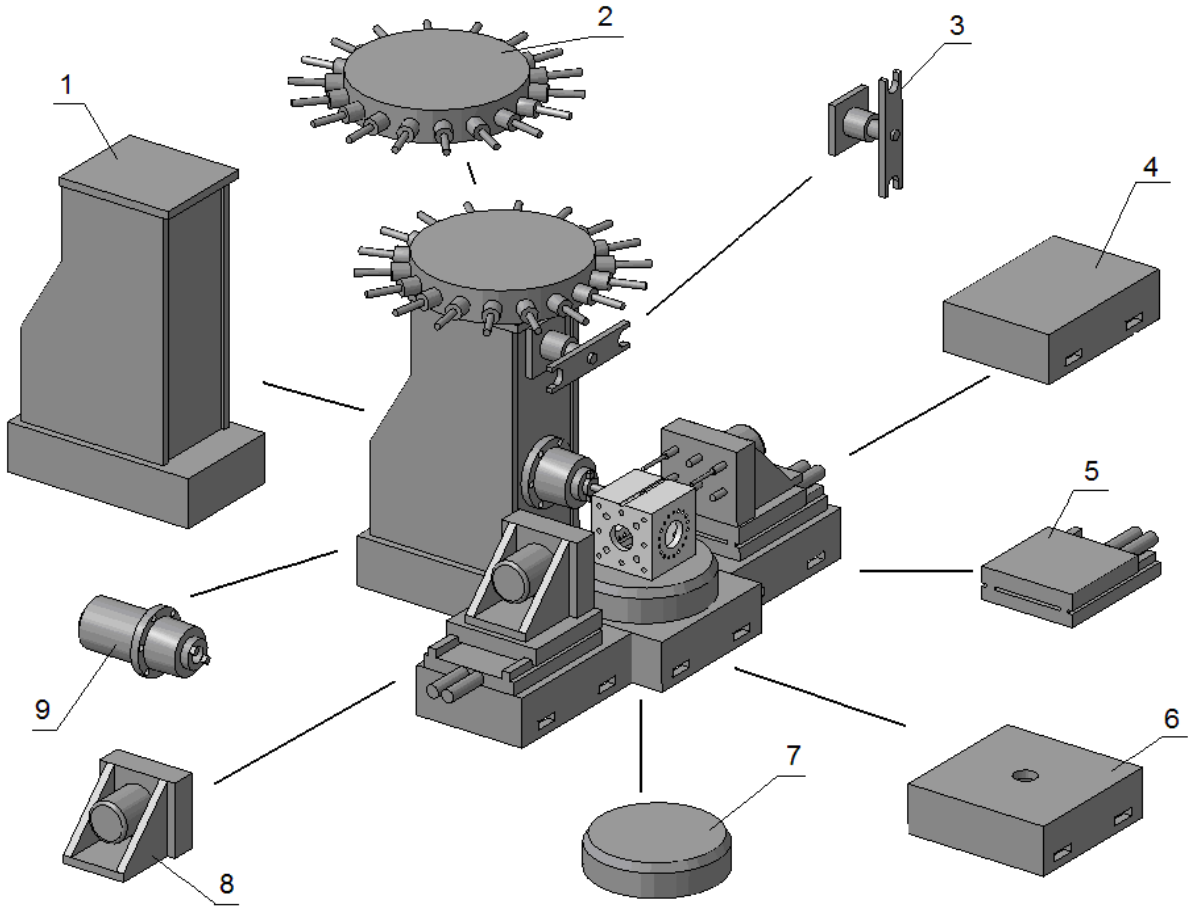
AGGREGATE-MODULAR PRINCIPLE OF CREATING METAL-CUTTING MACHINES

Chupryna V.M., Cherednikov O.M.
(State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification, Cherkasy, Ukraine)

Metal-cutting machines and complexes must be created using modern technologies and meet qualitatively new requirements for productivity and product quality. For this, it is necessary to guarantee such important indicators as accuracy, productivity, reliability, and the level of automation of machine tools.

Analysis of general trends in the development of domestic and world machine tools indicates an increase in the level of automation of machines, as well as a significant increase in the level of flexibility and modularity of metalworking equipment. In this direction, one of the main ways to develop metalworking equipment is to transition to the aggregate-modular principle of machine tool construction, which was previously used only for the production of special aggregate machines in single copies.

The aggregate-modular design of the machine tool is shown in Figure 1.



1- rack, 2 - magazine, 3 - auto-operator, 4 - side frame, 5 - power table,
6 - central frame, 7- rotary table, 8 - multi-spindle head,
9 - spindle.
Fig. 1. Layout diagram of a modular type machine:

The use of complete modules (assemblies, subassemblies, mechanisms), in particular mechatronic modules, as well as unified and normalized elements in machine tool designs allows you to create various layouts with a minimum number of original elements. This increases their flexibility, repairability, ease of modernization, significantly reduces the time for their design and production, reduces the cost of machines, makes it possible to widely unify modules and establish their production with high quality.

Figure 2 shows the basic subsystems that form the basis of modular machine tool designs. These subsystems contain the main structural elements of a modular machine tool. Such aggregate assemblies include typical elements of the supporting system (frames, racks, consoles), longitudinal and cross tables, aggregate heads (self-acting and non-self-acting), spindle assemblies, automatic gearboxes, rotary tables, turret heads, etc. Already today, subsystems manufactured by specialized companies are widely used: motor-spindles; rotary tables, overhead guides, chip conveyors, tool magazines, turret heads, gearboxes with built-in motors, guide protection devices, and others. A significant step towards the aggregate-modular design of machine tools was the development, manufacture, and implementation of various types of mechatronic modules. When designing and manufacturing modular structures, special attention is paid to the unification of landing elements and surfaces for mounting modules.

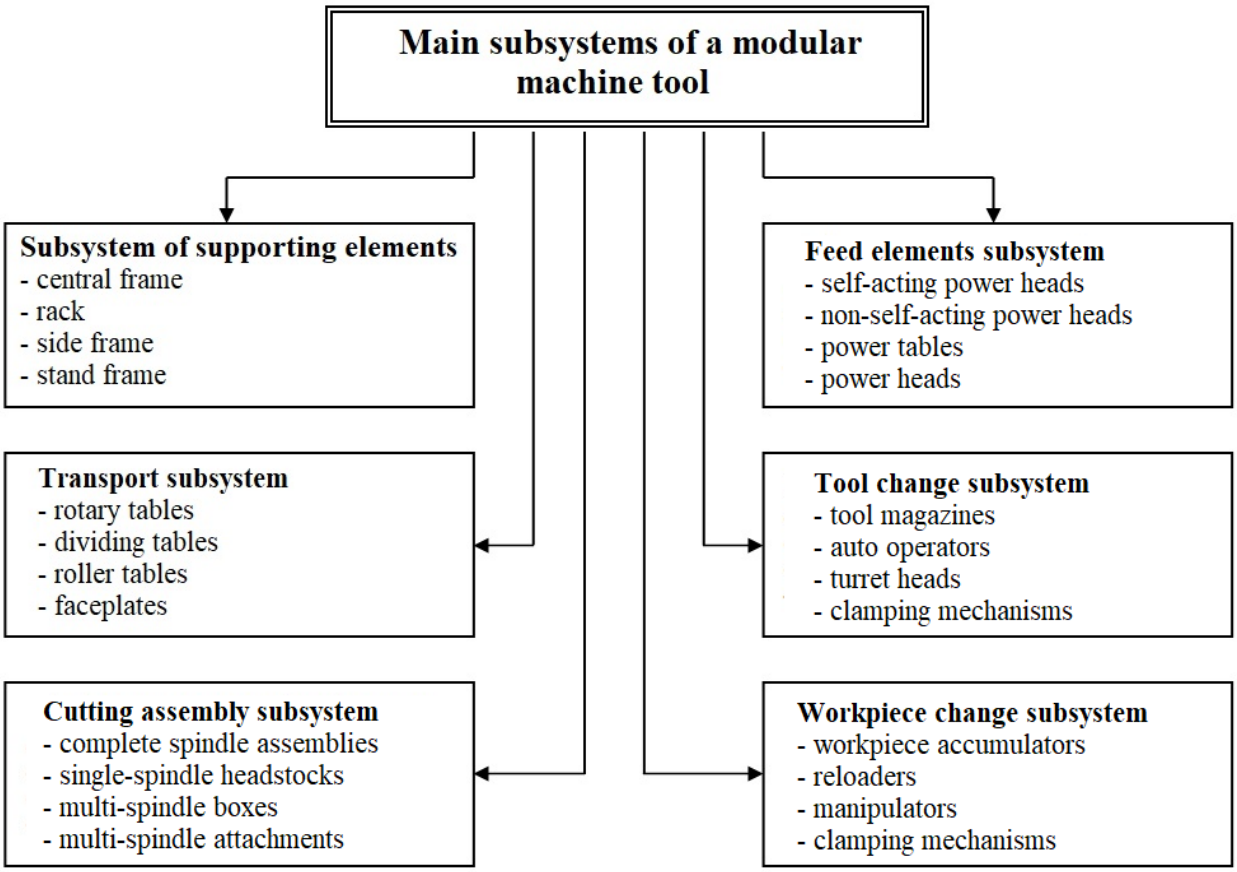


Fig. 2. The main subsystems of a modular machine tool

Thanks to the modular approach, new directions in the design of machine tools have appeared.

1. Recently, more and more machine tools have appeared that are designed using mechatronic modules as complete modules, the feature of which is the location of the engine directly on the executive body. In various machine tools, such modules are tool and workpiece drives, which are made in the form of motor-spindles, feed drives, main drives, rotary and globe tables, rotary headstock, turret heads, rotary tool drives, and others. This allows you to significantly increase the modularity of the machine tool design by combining mechatronic modules into complex systems and complexes.

2. Significant development is being made by new generation machine tools with variable configuration and open architecture. Reconfiguration provides greater flexibility and functionality of the machine tool system by changing the layout of the equipment or replacing system components. The change in the architecture of an open system occurs by replacing individual nodes - modules. When reconfiguring, it is also possible to modernize the machine tool system. Such systems are more flexible both in manufacturing and in operation. This necessitates the transition to the modular principle of designing and manufacturing machine tool systems.

3. The development of hybrid layouts is also promising, in which traditional solutions coexist with layouts of machines with parallel kinematics (tripod, hexapod). The aggregate-modular principle of designing machines from typical modules is also widely used here.

The transition to the aggregate-modular principle of building machine tools allows:

to reduce the number of original parts in the machine tool and ensure high design unification of the component elements;

to increase the accuracy, rigidity and reliability of structures;

to increase efficiency and significantly reduce the design time of metalworking equipment;

to deepen the specialization of the production of component units and significantly reduce the cost of machine tools.

The latest methods of modular design and manufacturing of machine tools require new approaches in their research, among which the following can be identified:

general issues of rational design of machine tools according to the modular principle (with ensuring the main indicators of machine tool quality);

structural-parametric synthesis of modular machine tool designs;

modern methods of calculating the main subsystems of the machine tool;

consideration of the dynamics of the machine tool as a complex modular system;

mathematical modeling of machine tools and their components.

Assembly modules have their own characteristics, which, when assembled, are added to the similar characteristics of the entire machine tool.

The use of the aggregate-modular principle of machine tool construction will lead to a significant improvement in the quality of metal-cutting equipment in production.

INVESTIGATION OF REASONS OF REDUCTION OF PERFORMANCE OF WELDED AUXILIARY METAL STRUCTURES OF BRIDGE CRANES

Havrysh P., Segin Vi., Yusifov V.
(Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk – Ternopil, Ukraine)

Main steel structures of bridge cranes are main and final beams. Welding of such structures is always performed by qualified welders, after welding, non-destructive testing is mandatory, for example, ultrasonic. [1,2]. Metal for such structures is also necessarily chosen according to the requirements NPAOP 0.00-1.80-18. Welded structures of secondary elements, for example: crane rail fastening rib, welding structures of crane movement drive – very often manufactured without calculating possible deformations and transverse shrinkage.

Under conditions of cyclic fatigue load, defects occur and welds are destroyed during crane operation. Figure 1 shows examples of such defects.

a

b

a) Crane truck cross-section crack b) Weld seam breakup of metal construction

Fig. 1. Defects of auxiliary structures

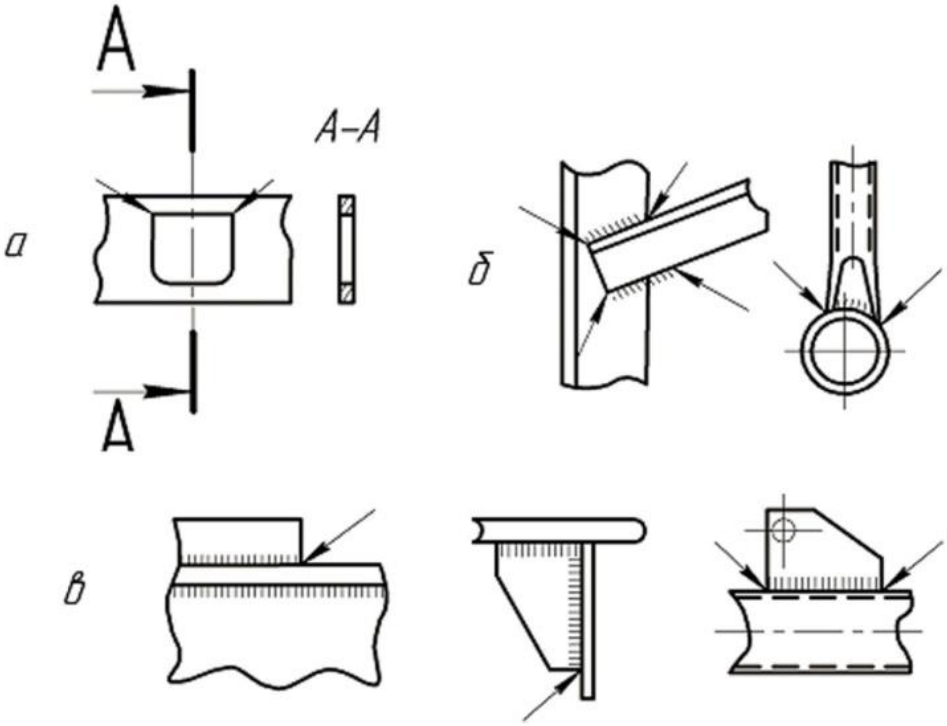
A number of reasons for such defects in crane metal structures have been identified. One of the reasons is the design flaws of the welded assembly. Such shortcomings arise when the designer does not understand and does not fulfill the basic requirements for lifting cranes operating under fatigue cyclic loads. Unlike static loads,

fatigue loads change not only their magnitude, but also their sign (positive loads and negative). Such loads are especially dangerous for welded units.

When welding a metal, its microstructure changes, separate zones arise where the metal structure does not correspond to the base metal. Therefore, such a change in the microstructure does not withstand fatigue loads of metal and defects appear (cracks, weld failure).

It is important to note that due to design flaws formed place lifting crane, where often there are defects from fatigue load. In Fig. 2. points of defects of auxiliary metal structures are shown. Such defects do not immediately affect the overall performance of the crane.

But, consider for example Fig.1a.



а – cracks in welds of joints of vertical wall with lower
belt in the area of beam height change, formed in curvilinear part
transition from smaller intersection to larger; б – attachment locations
braces, frame stands, diagonals, frame connections, gussets;
в – end point of the structural ribs, covers etc.
Fig. 2 locations of defects in auxiliary metal structures

A crack in the cross member of the crane cart structure leads to a decrease in resistance to fatigue loads. First it expands and continues along the weld seam. Defects in welds and their destruction lead to an emergency condition of the crane cart. There is a need for urgent repairs. The crane is taken out of service while repairs are carried out. This reduces the functionality of the crane and its productivity. A repair plan is urgently developed, a specialized team is called in, etc.

Conclusions. Thus, defects and damage to auxiliary metal structures significantly affect the general condition of the load-lifting crane and its performance. To prevent such situations, it is necessary to carefully inspect not only the main metal structures (main and final beams), but also auxiliary metal structures. Timely detection of defects leads to quick repairs and restoration of the crane's performance.

References:

1. Havrysh P.A. (2020) Manual «*Features of metal structure repair by welding*» [Osoblivosti metodiv remontu metalokonstrukcij zvaryuvannyam].Kramatorsk : DSEA, [in Ukraine]. https://doi.org/10.5281/zenodo.14863456

2. Gavrish, P.A., Perig, A.V., Gribkov, E.P., & Dorokhov, M.Y. (2021) Improvement of technology for repair of ore-bucket unloader metal structure working under cyclic loading. *Advances in Materials and Processing Technologies.* 7:3 380–399. https://doi.org/10.1080/2374068X .2020.1805683

3. Dobronosov, Yu.K., & Gavrish, P.A. (2017) Investiganion of the stress-strain and kinematic state of metal in the rolling welding joint betwin copper and steel. *Welding international*. 31:11 874–878, https://doi.org/10.1080/09507116.2017.1349272

4. Chen Y.-L., Niu Z. Y., Matsuura D., Lee J. C., Shimizu Y., Gao W., Oh J.S. & Park C. H. (2017) Implementation and verification of a four-probe motion error measurement system for a large-scale roll lathe used in hybrid manufacturing. *Measurement science and technology*. 28:10. https://doi.org/10.1088/1361–6501/aa7d33

5. Pavlo Havrysh, Valeriy Kassov, Olena Berezshnaya, Mykola Malyhin & Yurii Havrysh (2023) *Reduction of residual stresses of the welded lathe beds*. Development of science in the XXI century. Proceedings of the X International Scientific and Practical Conference. Dortmund, Germany. https://doi.org/10.5281/zenodo.10370630

DEVELOPMENT OF AN EXPERIMENTAL METHOD FOR DETERMINING LIMIT DEFORMATION IN ROLLED METAL SEPARATION

Karnaukh S. G., Chosta N. V.
(Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk – Ternopil, Ukraine)

Reducing metal consumption in blank production and increasing the accuracy and productivity of rolled metal cutting are important directions for improving mechanical engineering. These factors significantly affect the technical and economic indicators of subsequent forming processes. Therefore, obtaining high-quality blanks at a low production cost is a relevant task. Even a slight increase in the efficiency of the separation technology leads to a significant increase in production profitability.

When evaluating the «stampability» of steel, the bending test according to ISO 7438:2020 [1] plays a major role. However, despite its widespread use, this test has significant drawbacks that reduce its effectiveness in assessing quality. These drawbacks can be summarized as follows.

Firstly, the value of the measured bending angle $\alpha^{\lim}$, used as a characteristic of the ultimate plasticity, does not adequately reflect this material property since it depends on the specific test conditions such as the radius of the mandrel and the thickness of the specimen. Fracture occurs when a certain level of tensile deformation is reached in the outer layers of the specimen $\varepsilon^{\lim}$. Therefore, this value should be considered as an indicator of ultimate plasticity.

In the study [2], a new methodology for determining the ultimate plasticity of strip steel during bending is proposed. This methodology utilizes specimens that differ in configuration from standard specimens and feature a «groove» on the inner (bending) side.

However, fabricating specimens of such shape involves significant labor and cost. It is important to consider that among the various types of rolled products, the separation of round-sectioned rolled products is the most commonly demanded. Therefore, to address the task of determining $\alpha^{\lim}$ for ranking the metal's bending capability and selecting the method of separating rolled products into measured billets, it is practical to use specimens with a circular cross-section.

The diameter of the specimen, D, should correspond to the diameter of the separated rolled product, and its length, l, should be no less than a certain value $(5 \cdot D)$. Prior to testing, a hole with a diameter of $d = 2$ мм is drilled at the center of the specimen. This hole serves to mark the working surface along the bending line with a measuring circle. During the bending process, the circle transforms into an ellipse, where the major axis l_1 perpendicular to the bending line represents the longitudinal deformation ε_1 of the surface layers, and the minor axis l_2 along the bending line represents the transverse deformation ε_2. By recording l_1, l_2 (мм) at the moment of crack formation, it becomes straightforward to calculate the values of ultimate plasticity:

$$\varepsilon_1^{lim} = Ln(l_1/d);\ \varepsilon_2^{lim} = Ln(l_2/d).$$

The first of these values characterizes the metal's «formability». Consequently, when subjected to bending tests, it becomes relatively straightforward to predict the

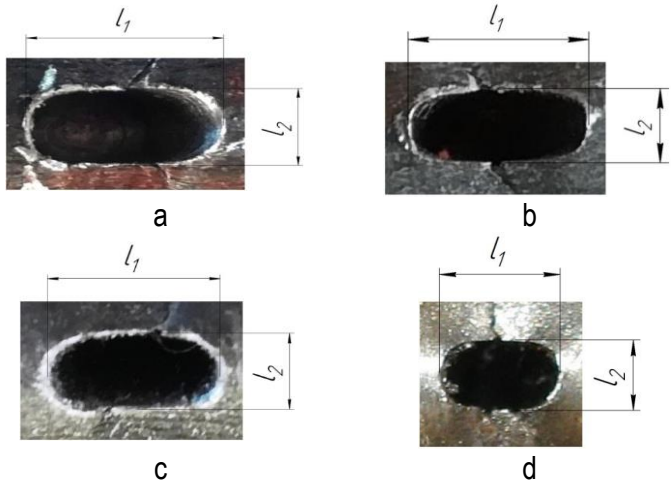
outcomes of separating the rolled product, for which the actual degree of deformation is known.

This method complements the methodology discussed in [3] for selecting the appropriate method of separating the rolled product into billets using synergetic fracture criteria. It helps minimize potential errors in choosing the separation method for materials with different mechanical properties. This is particularly relevant for materials that can be classified into different categories based on factors such as heat treatment, loading conditions (loading rate, temperature), and the nature of the stress state, including plastic, elastic-plastic, and brittle behaviors. Brittle materials may exhibit elastic-plastic or even plastic characteristics, while plastic materials can display brittle behavior. Overall, the proposed recommendations provide engineers with an effective tool for the rational selection of the separation method for rolled products into accurately sized billets.

The sample was subjected to bending deformation at a low deformation rate using a three-point cold bending scheme until a destructive crack appeared, which was visually observed using a mirror. Measurements of the dimensions l_1, l_2 (мм) were carried out using a digital device. Subsequently, digital photographs, enlarged in computer images to significant sizes, were processed in the graphic editor COMPAS. The calculation results ε_1^{lim}, ε_2^{lim} based on the measured values l_1, l_2 are presented in Table 1. To scale the resulting image, an additional hole $d = 2$ мм was drilled next to the deformed hole prior to photographing (Figure 1). The results of the experiments are presented in the form of graphs showing the dependence of longitudinal and transverse ultimate formability on the hardness of materials from different classes (Figure 2) [3].

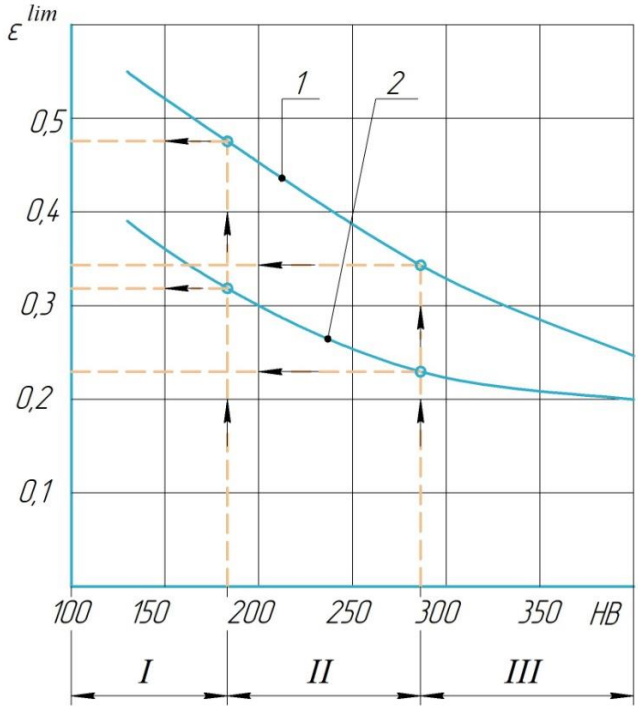
Table 1. Calculation results ε_1^{lim}, ε_2^{lim}

Steel	Bending axis direction	ε_1^{lim}	ε_2^{lim}
2C10	Along the rolling direction	0,56	0,39
C20		0,48	0,32
C45		0,44	0,22
100Cr6		0,25	0,20



a – 2C10; b – C20; c – $C45$; d – $100Cr6$

Figure 1. Photographs of the specimens with the deformed working hole after bending [3]



$1 - \varepsilon_1^{lim} = f(HB)$; $1 - \varepsilon_2^{lim} = f(HB)$

Figure 2. Relationship between longitudinal and transverse ultimate formability and material hardness

Conclusions. Therefore, the value ε^{lim}, determined based on the experimental results, serves as an indicator suitable for ranking metals according to their divisibility. The procedure for determining the ε^{lim} indicator allows for the full standardization of the test. Considering the large-scale separation of rolled products into standard blanks, it is possible to expect accelerated accumulation of information on the ε^{lim} magnitude for metals with different chemical compositions and structural states, leading to the formation of a corresponding database.

The boundary of zone I (corresponding to a hardness range of $180\,HB$) coincides with: $\varepsilon_1^{lim} = 0{,}48$; $\varepsilon_2^{lim} = 0{,}28$. Consequently, the steels: 2C10, C20, which fall within zone I, can be classified as materials in a «plastic state» according to the aforementioned criteria. The boundary of zone II (corresponding to a hardness range of $280\,HB$) coincides with: $\varepsilon_1^{lim} = 0{,}35$; $\varepsilon_2^{lim} = 0{,}23$. Consequently, the steel C45, which fall within zone II, can be classified as materials in a «elastic-plastic state». The steel $100Cr6$ falls within zone III and exhibits characteristics of materials in a «brittle state».

References:

1. ISO 7438:2020. Metallic materials – Bend test 27.

2. Gliner R.E, Skoblo A.V, Nikolaeva L.N. Analysis of the relationship between longitudinal and transverse strains in sheet steel in tensile tests. *Industrial Lab*. 1983. 49(11). pp. 1200–1202.

3. Karnaukh S. G., Markov O. E., Shapoval A. A., Hrudkina N. S. Selecting a cutting method for workpieces before stamping using synergetic fracture criteria and a deformability limit determination technique for separating processes. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2023. 129, pp. 5447–5455, https://doi.org/10.1007/s00170-023-12627-z.

THE IMPACT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE ON THE EFFECTIVENESS OF STUDYING GENERAL TECHNICAL DISCIPLINES IN HIGHER EDUCATION

Podlesny Sergy V.
(Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk – Ternopil, Ukraine)

The integration of artificial intelligence (AI) into higher education has emerged as one of the most transformative forces in contemporary academia. As educators and policymakers increasingly recognize that traditional teaching methods must evolve to accommodate rapid technological advances, the study of general technical disciplines—such as mathematics, physics, engineering fundamentals, and computer science—stands at a pivotal juncture. The problem addressed in this report is multifaceted: How can the effectiveness of teaching and learning in these foundational technical disciplines be enhanced through the incorporation of AI tools and methods? This question is deeply connected with critical scientific and practical tasks, including the need to generate personalized learning experiences, improve educational outcomes, optimize resource allocation, and ultimately prepare graduates to succeed in a rapidly evolving digital economy. The rising prominence of AI offers the promise of transforming not only the content delivery and assessment methods but also the overall student learning trajectory, making it incumbent upon educators and researchers to critically evaluate the resultant impacts.

Recent research and publications have already initiated the exploration of AI's role in education. Pioneering studies have detailed the use of intelligent tutoring systems, adaptive learning platforms, and automated assessment tools that provide real-time feedback and data-driven insights into student performance. For example, several experiments in the United States and Europe have demonstrated significant improvements in student engagement and academic achievement when AI-driven systems are integrated into general technical courses. Despite these promising results, numerous challenges remain unresolved. Earlier research often focused on isolated applications of AI, with limited attention to holistic integration across a curriculum covering diverse technical domains. Moreover, questions regarding scalability, long-term effectiveness, ethical considerations, and the potential exacerbation of digital inequities have yet to be fully addressed. These gaps form the foundation of the present study, which aims to build upon and extend previous work by offering a comprehensive analysis of AI's impact on the effectiveness of studying general technical disciplines in higher education [1-5].

Based on the identified gaps in the literature, the primary objectives of this report are fourfold. First, the study seeks to systematically assess the impact of AI tools on student performance and comprehension in general technical disciplines. Second, it aims to evaluate the degree to which AI-enabled personalized learning environments can address diverse learning styles and mitigate common challenges associated with traditional lecture-based formats. Third, the research intends to develop and test a robust framework for integrating AI-driven methodologies into the curriculum,

incorporating adaptive learning systems, natural language processing (NLP)-based tutoring solutions, and immersive simulation technologies. Fourth, the study strives to identify the potential barriers to effective implementation—such as issues of data security, algorithmic bias, and the need for extensive faculty training—and propose practical strategies to overcome them.

The main material of the study is presented through a mixed-methods research design that combines quantitative experiments, qualitative case studies, and comprehensive literature analysis. In the quantitative phase, controlled experiments were conducted across several higher education institutions that offer courses in general technical disciplines. These experiments compared traditional teaching modalities with AI-enhanced learning environments by measuring key performance indicators such as test scores, concept mastery rates, and student retention. The experimental data indicated that students exposed to AI-based adaptive learning systems exhibited statistically significant improvements in both their understanding of complex technical concepts and their ability to apply these concepts to problem-solving tasks. For instance, in engineering fundamentals courses, students using AI-assisted simulations demonstrated faster acquisition of practical skills and a higher degree of conceptual clarity compared to their peers in traditional settings.

The qualitative component of the study involved in-depth interviews and focus groups with students, educators, and administrators. These discussions revealed that AI interventions not only improve academic performance but also enhance student motivation and engagement by providing immediate, personalized feedback. Participants highlighted that AI tools facilitate a more interactive learning experience by enabling individualized learning trajectories, adjusting the pace of instruction according to student needs, and identifying areas where additional instructional support is required. Educators reported that the integration of AI into their teaching practices allowed them to shift some of their focus from routine instruction to higher-order mentoring and complex problem facilitation. At the same time, however, concerns about data privacy, the ethical deployment of AI algorithms, and the potential for over-reliance on technology were consistently articulated, calling for the development of robust regulatory frameworks and ethical guidelines.

A central component of the investigation was the development of an integrative conceptual framework for AI-enhanced education in general technical disciplines. This framework emphasizes four key dimensions: personalization, feedback, engagement, and scalability. Personalization is achieved through adaptive learning systems that tailor instructional content to match individual student profiles, thus addressing disparate learning speeds and styles. Feedback is delivered in real time via AI-powered analytics that can diagnose learning gaps and dynamically adjust instructional strategies. Engagement is fostered through interactive simulations and virtual environments that offer immersive learning experiences, allowing students to experiment safely with complex technical scenarios. Scalability is secured by deploying cloud-based AI solutions that can be seamlessly integrated into existing institutional infrastructures, ensuring that even large classes can benefit from individualized attention. This framework was validated through pilot implementations

in multiple institutions, where measured improvements in academic performance, satisfaction metrics, and overall course efficacy provided compelling evidence for the transformative potential of AI in this context.

The scientific results obtained offer robust justification for the continued integration of AI in higher education. The data consistently show that AI-enhanced learning models lead to improved comprehension, higher engagement levels, and better retention rates among students studying general technical disciplines. Moreover, the study underscores the value of AI in enabling educators to identify and address individual learning challenges, thereby facilitating a more inclusive educational environment. The innovative use of technologies such as machine learning algorithms, natural language processing, and simulation-based instruction collectively contributes to a paradigm shift—one that transforms static, one-dimensional teaching methods into dynamic, interactive, and student-centered learning experiences. Importantly, the findings also highlight critical areas for future research, including the optimization of AI tools for different technical subjects, strategies for mitigating ethical risks, and the development of standardized metrics for assessing the long-term benefits of AI integration in educational settings.

In conclusion, this study provides comprehensive evidence that artificial intelligence significantly enhances the effectiveness of studying general technical disciplines in higher education. The integration of AI not only advances pedagogical practices by offering personalized, interactive, and data-driven instruction but also addresses long-standing challenges related to student engagement and instructional efficiency. The results advocate for a systematic and ethically grounded adoption of AI technologies that can cater to diverse learning needs while preparing graduates to thrive in a sophisticated, technology-rich global landscape. Future prospects for this research include expanding the scope of AI integration across additional academic disciplines, refining adaptive learning algorithms to further individualize learning experiences, and establishing multi-institutional collaborations to standardize best practices in AI-enhanced education. As this field continues to evolve, such initiatives will be crucial in shaping a responsive and innovative educational system that not only meets current demands but also anticipates the future challenges of a rapidly digitizing world.

References:

1. Smith, P. R., Johnson, K. L., & Williams, A. (2020). Adaptive Learning Systems in Higher Education: Opportunities and Challenges. *Computers & Education, 145*, 103725. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103725

2. Chen, Z., Li, Y., & Thompson, R. (2021). Enhancing Student Engagement through AI-Driven Instructional Design. *IEEE Transactions on Education, 64*(3), 234-242. https://doi.org/10.1109/TE.2021.3045690

3. Garcia, M., et al. (2022). Personalized Learning with AI in Higher Technical Education: A Comparative Study. *Journal of Educational Computing Research, 59*(4), 789-812. https://doi.org/10.1177/07356331211045678

4. Kumar, A., Patel, R., & Rodrigues, L. (2020). Adaptive Real-Time Feedback Systems in Engineering Education. *Educational Technology Research and Development, 68*(5), 1237-1254. https://doi.org/10.1007/s11423-020-09771-8

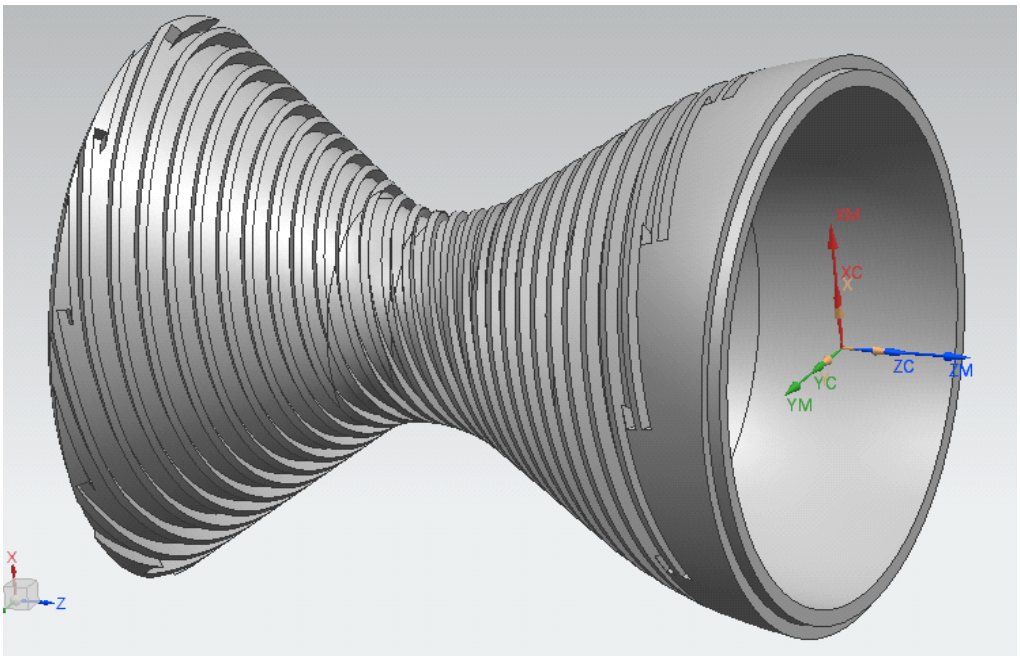
5. Nguyen, D., Tran, H., & Le, V. (2021). Virtual Simulations and Immersive Learning in Science and Engineering Courses. *The Internet and Higher Education, 48*, 100832. https://doi.org/10.1016/j.iheduc.2021.100832

FEATURES OF TECHNOLOGY FOR THE MANUFACTURE OF LIQUID ROCKET ENGINE SHELLS TO THE MODERN CAPABILITIES OF CAD-CAM SYSTEMS AND 5-AXIS CNC MACHINES

Voichyshen O., Derbaba V.
(Department of Engineering Technology and Materials Science, National Technical University "Dnipro Polytechnic", Dnipro, Ukraine)

This article describes the following scientific results:

1. The process of planing with a special cutting tool on a 5-axis CNC machine for machining screw surfaces of liquid engine (pic.1) housings was proposed for the first time.



Picture 1. CAD model of liquid engine shells (screw surfaces)

2. The principles of programming 5-axis CNC machines for planing using modern CAM-systems [1] have been developed for the first time.

3. A mathematical model of increasing the accuracy of the control program on a CNC machine [2] for processing the spiral surfaces of the shells of liquid rocket engines has been obtained for the first time.

4. CAM modeling of the cutting process was performed to obtain machining accuracy results.

The practical significance of the results described in the article:

1. A methodology for programming 5-axis CNC machines for machining spiral surfaces of liquid rocket engine housings by milling and planing was created and put into production.

2. The company introduced planing technology using a 5-axis CNC machine and special cutting tools.

3. A system for measuring and analyzing liquid jet engine shells was put into production.

4. A system for correcting the control program of a CNC machine was created and implemented to improve the accuracy of machining spiral surfaces of liquid rocket engine housings.

Theoretical and practical achievements of the work were implemented at the following enterprises: State Enterprise "Production Association Yuzhny Machine-Building plant named after A.M. Makarov" (YUZHMASH), State Enterprise "Yuzhnoye State Design Office named after M.K. Yangel" (YUZHNOYE SDO).

The introduction presents scientific novelty and practical significance, reveals the relevance of the study.

The main part analyzes the problems of manufacturing liquid rocket engine cases in modern production, methods of their manufacture and control, substantiates and adapts the method of modeling the planing process for machining spiral surfaces of liquid rocket engine cases. The method of programming 5-axis CNC machines for the planing process is described. A method of accuracy control in modeling the planing process is proposed.

A mathematical model for improving the accuracy of machining the screw surfaces of liquid rocket engine covers is developed, experimental studies on full-scale samples using the mathematical model are considered, methods for modeling and programming the planing process for machining the screw surfaces of liquid rocket engine covers are developed. The results of using the above methods in production are considered.

In the general conclusions, recommendations for the practical use of the developed methods and results are proposed and the results of theoretical and experimental studies are summarized.

References:

1. CAM-system
URL:https://www.autodesk.com/products/fusion-360/blog/computer-aided-manufacturing-beginners/ (date of application 25.05.2018)

2. CNC machine
URL:https://cncmachines.com/what-is-a-cnc-machine (date of application 10.02.2014)

3. Liquid rocket engine
URL:https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/lrockth.html (date of application 13.05.2021)

THERMITE CASTING ADDITIVES FOR LARGE CASTINGS

[1]Zhiguts Yu., [1]Legeta Ya., [1]Filvarochnyi S., [2]Fordziun Y., [2]Maksyutova O.
(Uzhhorod National University, Ukraine, [2]Mukachevo State University, Ukraine)

Introduction. Analysing the problems of synthesis of cast materials by metallothermic and combined methods, the direction of practical application of synthesised materials for heating and feeding the sub-additive zone in technologies for producing castings with thermite applications of high temperature gradient is traced.

Purpose of the work. To simulate the processes occurring during the feeding of large castings, melting was carried out under pilot conditions to produce rolls from "СШХН-45".

Experimental part. Exothermic packs were placed on the melt surface. The packages were installed sequentially after controlling the formation of a solid crust on the surface of the casting additive with a probe. Portioning of the exothermic charge, in addition to increasing the duration of the charge burning, reduces heat loss of the thermite alloy. Fluorspar (CaF_2) was additionally added to the charge, which reduces the ignition temperature of the mixture and increases the fluidity of alumina slag [1]. The mould was covered with a lid with a hole in the centre.

The exothermic charge consisted of 80% thermite, 5.5% carbon (in the form of black graphite of "ГЛ1" grade), 11% "ЖКМК-1" ligature (containing 5% Mg) with granules of 3-6 mm in size, 3.5% ferrosilicon ("ФС75") and allowed the synthesis of a highly superheated melt with a chemical composition similar to that poured into the mould. The impurities reduce the calorific value of the exothermic charge by up to 3200 kJ/kg according to theoretical calculations. The weight of the charge was calculated according to the methods of [2] and ranged from 20.5 to 27.6 kg. The loading of packages with a metal-thermal charge, each weighing ~ 8 kg, onto the melt surface was carried out sequentially three times with a time interval of 1.5 minutes.

The analysis of the studied rolls showed that for the experimental rolls, the smooth surface was limited by smooth edges, in contrast to the complex branched shrinkage sink inherent in rolls produced by standard technology. This indicates that the heating of the casting additive is sufficient, which is ensured by directed heat removal and feeding the casting with a liquid thermite alloy. Subsequent machining of the rolls showed the absence of shrinkage defects (pores, shells) and a slight deviation in the chemical composition of the roll neck material (Table 1). No bleaching was detected in the microstructure of the cast iron roll surface. The casting additive zone consisted of high-strength cast iron with "ГФ9"–"ГФ12" graphite balls. In the experiments described above, the casting additive was not topped up by 1/3 with pig

iron. The alloy saving on the casting additions was 33%. A section of the casting additive showed that the shrinkage sink penetrated 0.5 of its height.

Machining of the roll necks did not reveal any shrinkage defects. Chemical analysis showed that the chemical composition of the casting iron for the roll body and casting additive was identical. This opens up significant prospects for alloy savings in the production of heavy and medium shaft castings.

After pouring the mould, pauses were maintained between charge pours, the duration of which was determined by the time of hard crust formation on the surface of the casting additive and was 3-6 minutes (depending on the roll weight). The first experiments showed that the charge does not ignite immediately after charging, but with a delay of 1-3 minutes. This made it possible to simplify the technology of exothermic charge charging and pour it directly into the additional casting part of the casting using measuring containers [1-3].

Fig. 1 shows the microstructures of the working layers of “СШХН-45” roll castings obtained by conventional and experimental technologies, with the formation of a ledeburite structure of alloy cast iron, dark globules are graphite inclusions. In all cases, pickling was carried out with nitallium.

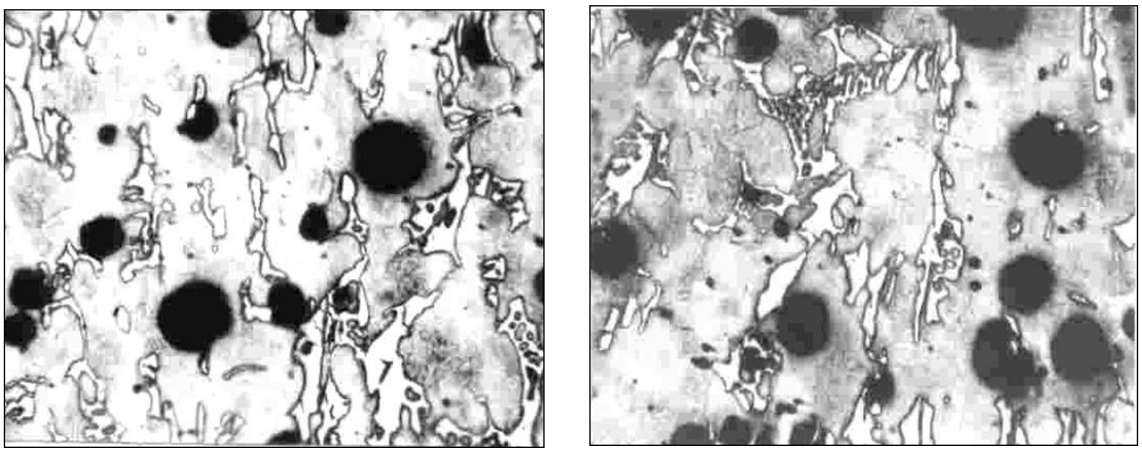


Fig. 1. Microstructure of the working layer of the roll of “СШХН-45”:
a) made by conventional technology, b) version “СШХН-45”, made by experimental technology (x200)

In addition, it was found that in actual production conditions, there are delays in the introduction of the metallothermic charge that are longer than the recommended pauses. In this case, the temperature of the charge may no longer be sufficient to ignite it. In this case, the charge must be ignited with thermite matches, which has virtually no effect on the efficiency of the thermite casting additive.

During the machining process, clubs were taken from the upper part of the roll base and the upper neck for chemical and metallographic analysis and mechanical testing. The main parameters of using the pilot technology of high-temperature casting additives to produce roll castings and the results of mechanical tests are shown in Table 1.

Metallographic analysis of the rolls, chemical analysis and mechanical testing made it possible to assess the impact of the synthesised materials on the quality of the material of the working layer and the upper neck of the roll. The quality of the roll material and, above all, the surface hardness of its working layer determine the durability of these parts in operation.

The working layer of both the experimental and control rolls has a structure of spheroidal cast iron with nodular graphite. The nature of changes in the size and number of graphite inclusions, dispersion and amount of free cementite, as well as hardness along the depth of the working layer for control and experimental rolls are almost identical (Table 1).

Table 1 - Mechanical characteristics of the material of the upper roll neck

Roll design type	Manufacturing technology	Hardness, HB	Tensile strength, σ_b, MPa
“СШХН-45”	Traditional	230	463
	Experimental	227	495

Based on the results of the study, it can be concluded that the practical use of the synthesised cast irons in the technologies of high temperature metal-thermal applications in foundries did not have a negative impact on the microstructure and hardness of the working layer of the upper neck of the rolls. At the same time, the tensile strength of the upper neck material even increased by 3-10%. A reduction in material consumption in the production of rolled rolls was also confirmed by reducing the weight of the additive by 60-70% compared to the conventional one [3]. The proposed technology does not require significant changes to the traditional casting process. Its implementation eliminates the operations of sprinkling and topping up, and replaces them with the operations of preparing a metal-thermal charge and its filling.

Conclusions. The study of the synthesised high quality thermite cast irons determined their mechanical properties and microstructure. The use of a thermite alloy in the casting additive zone allows the alloy to mature, refine its structure, and increase the mechanical properties of the shaft neck by 10-20%. The introduction of the technology of thermite casting additives also allows for significant savings in liquid alloy consumption and, accordingly, achieves a significant economic effect.

Literature:

1. Жигуц Ю.Ю. Технології отримання та особливості сплавів синтезованих комбінованими процесами / Жигуц Ю.Ю., Лазар В.Ф. – Ужгород: Видавництво «Інвазор», 2014. – 388 с. **2.** Жигуц Ю.Ю. Вплив технології термітних ливарних додатків на структуру прокатних валків // Ю.Ю. Жигуц, В.Ф. Лазар. Міжвузівський збірник Луцького національного технічного університету «Наукові нотатки». – 2015. – № 49. – С. 54-57. **3.** Zhiguts Yu. New technologies synthesis of special cast irons for high temperatures / Yu. Zhiguts O. Kozar // Actual problems of modern science. Monograph: edited by Matiukh S.,Skyba M., Musial J., Polishchuk O. – 2021. – P. 708-714.

ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ КОМПОЗИТІВ НА ОСНОВІ НІТРИДУ БОРА ПРИ ОБРОБЛЕННІ ВИСОКОМАРГАНЦЕВИХ СТАЛЕЙ

[1]Аврамчук С.К., [2]Антонюк В.С., [2]Волкогон В.М., [2]Кравчук А.В.
([1]Інститут проблем матеріалознавства ім.І.М. Францевича Національної академії наук України, м. Київ, Україна,
[2]Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна)

Сталі з підвищеним вмістом марганцю та інших легуючих елементів застосовуються в промисловості для виготовлення деталей металургійного та гірничорудного обладнання. Традиційно такі деталі обробляють напайними різцями з твердого сплаву ВК8.

У зв'язку з тим, що деталі після лиття містить включення піску та інших твердих частинок, мають ливарну кірку і раковини, а також схильність до наклепу, для полегшення процесу механічного оброблення застосовують плазмові пальники, якими попередньо.

Цей технологічний процес оброблення малопродуктивний, екологічно шкідливий, енергоємний та економічно невигідний.

Розроблена технологія отримання композиту на основі нітриду бору, яка забезпечує високі фізико-механічні та експлуатаційні характеристики.

Досліджено характер зносу пластин композиту при обробленні високомарганцевих сталей.

Проведено порівняльні експериментальні дослідження різальних пластин діаметром 12,7 мм з ПСТМ на основі BN*в* на операціях токарного оброблення марганцевої сталі 110Г13Л твердістю НВ 210..240 показали, що даний інструментальний матеріал успішно забезпечує ефективність оброблення міцних конструкційних матеріалів з переривчастою поверхнею.

Оброблення рухомої броні дробарок проводили на токарно-карусельному верстаті мод. 1512.

Швидкість різання при цьому варіювалася в діапазоні V = 50...180 м/хв, подача становила S = 0,5 мм/об при глибині різання t = 2...4 мм. За критерій затуплення приймали втрату різальної здатності кромки пластини, що визначається як знос задньої поверхні в межах 0,7 ... 1,3 мм.

В проведених дослідженнях механізму зношування двошарових пластин типу гексаніту-Р при обробленні високомарганцевих сталей зі швидкістю різання $V < 1,5$ м/с переважає зношування пластин по задній поверхні. Подальше збільшення швидкості різання супроводжується більш рівномірним зносом як по задній, так і передній поверхні, а при швидкості $V > 2,5$ м/с домінуючим стає знос по передній поверхні.

Аналогічна картина спостерігалася і при обробленні марганцовистої сталі 110Г13Л, коли при $V < 90$ м/хв переважав знос задньої поверхні пластини композиту, а при $V > 130$ м/хв знос починався переважно по передній поверхні, утворюючи кратер. Оптимальними виявилися швидкості різання в діапазоні 90...110 м/хв, у яких період стійкості пластин становив 180...190 хв.

Різальні пластини з розробленого ПСТМ на основі BN*в*, якими обробляли заготовки, навіть після 240 хв роботи не мали видимого зношування різальної кромки і тільки після 480 хв відбувалося руйнування кромки близько 1,5 мм.

Таким чином, проведені експериментальні та виробничі дослідження працездатності розроблених композитів на основі BNв показали перспективність їх застосування при обробленні важкооброблюваних високоарганцевих сталей.

Література:

1. Volkogon Volodymyr, Influence of diamond component based on wurtzite boron nitride on wear resistance of cutting tool Volodymyr Volkohon, Svitlana Avramchuk, Yuriy Fedoran, Andrii Kravchuk, Tetiana Pavlychuk, Viktor Antonyuk, Kateryna Avramchuk // "Ukrainian Journal of Mechanical Engineering and Materials Science" – vol. 6, no. 2, pp. 53-60, 2020. doi.org/10.23939/ujmems2020.02.053

КОЛАБОРАТИВНІ РОБОТИ: КЛЮЧ ДО НЕСТАЧІ КВАЛІФІКОВАНИХ РОБІТНИКІВ

Алтиченко Г.В., Пасько М.М.
(Відокремлений структурний підрозділ «Дружківський фаховий коледж Донбаської державної машинобудівної академії», м. Дружківка, Україна)

Нестача робочої сили або нестача кваліфікованих робітників стає все більш серйозною проблемою в багатьох галузях промисловості України.

Як і традиційні промислові маніпулятори, колаборативні роботи використовують для вирішення виробничих завдань. Вони не вимагають перебудови інфраструктури виробництва, оскільки для виконання операцій їм потрібно істотно менше простору, ніж промисловим роботам.

Це особливо важливо на підприємствах, де технологічний процес включає велику кількість повторюваних операцій, але немає можливості розмістити стандартну комірку з промисловим роботом-маніпулятором.

Області застосування коботів (колаборативних роботів)

1. Зварювання

Коботи здійснюють революцію в технології зварювання, особливо в зварюванні MAG (зварювання металу в активному газі) нелегованих та низьколегованих сталей. Вони беруть на себе монотонні та точні завдання, які часто стомлюють працівників чи є небезпечні для них.

До переваг коботового зварювання належать:

• Вища продуктивність: коботи працюють безперервно та забезпечують незмінно високоякісні результати.

• Гнучкість: їх можна швидко запрограмувати та адаптувати до різних процесів зварювання.

• Екологічність: використання оптимізованих технологічних газів знижує розбризкування при зварюванні та зводить до мінімуму доопрацювання.

• Безпека праці: співробітники звільняються від небезпечних завдань і можуть зосередитися на складніших завданнях.

2. Завантаження та вивантаження верстатів.

Взяти заготовку з лотка, встановити її в пристосування верстата, почекати поки верстатник виконає обробку деталі, забрати деталь і покласти її в лоток - ці операції буквально створені для кобота. Кобот обслуговує ваш верстат без пауз 2 зміни поспіль 7 днів на тиждень.

3. Палетування.

Розставляння коробок з деталями на палети – це не тільки одноманітна робота, а й фізично важка. Якщо коробка важить умовних 10 кілограм, міцному вантажнику вона не здається важкою лише перші 50 разів. Робот без питань їх вантажитиме рівно доти, доки вони не закінчяться.

Переваги коботів у боротьбі з нестачею кваліфікованих робітників

• Звільнення від монотонних завдань: коботи беруть можуть виконувати повторювані завдання, звільняючи співробітників для більш складних завдань або замінюючи нестачу працівників.

• Низькі інвестиційні витрати: коботи дешевші за традиційні промислові роботи та забезпечують швидке повернення інвестицій.

• Гнучкість та масштабованість: коботів можна легко запрограмувати та адаптувати до різних виробничих вимог.

• Нові професійні області: впровадження коботів створює нові робочі місця у галузі програмування, обслуговування та моніторингу роботів.

• Конкурентоспроможність. Використовуючи коботів, підприємства можуть працювати більш ефективно та зміцнювати свої позиції на ринку.

До недоліків використання кобота можна віднести:

- Невелика вантажопідйомність до 300 кг. Для встановлення деталей понад 300 кг або завантаження, все одно потрібно використовувати мостовий кран та знання стропальника.
- Не всі технологічні операції в важкому машинобудуванні може виконати кобот.

Можна зробити висновок, що, коботи є центральним компонентом у подоланні нестачі кваліфікованих робітників. Вони дозволяють більш ефективно використовувати людську працю, підвищують продуктивність та забезпечують довгострокову конкурентоспроможність машинобудівних підприємств.

Література:

1.https://biz.nv.ua/ukr/experts/hto-taki-koboti-shcho-vmiyut-robiti-i-skilki-koshtuyut-ostanni-novini-50122600.html

2. https://ewlog.com.ua/blog/hnuchka-avtomatyzatsiya

3.https://robotics.ua/avtomatyzyrovannyi-zavod.-promyshlennye-roboty-na-proyzvodstve/?srsltid=AfmBOoqXG5uOMyw8WMdtHbbwyj9TQpzhxiaigZzxVV4W6j1gSJitndag

ОЦІНКА СИЛОВОГО РЕЖИМУ ПРИ РАДІАЛЬНОМУ ВИДАВЛЮВАННІ КОНІЧНИХ ФЛАНЦІВ

[1]Алієв І.С., [2]Левченко В.М., [1]Абхарі П.Б.
([1]ДДМА, м. Краматорськ-Тернопіль, Україна,
[2]ІРЕ ім. О.Я. Усикова НАН України, м. Харків, Україна)

Освоєння ресурсозберігаючих технологій видавлювання сприяє підвищенню конкурентоспроможності продукції машинобудування, оскільки дозволяє отримувати якісні прецизійні деталі. Деталі з фланцями (рис. 1) становлять значну частину серед деталей, що використовуються у сучасному машинобудуванні. Для отримання таких деталей доцільно використовувати один з найперспективніших методів точного об'ємного штампування – холодне радіальне видавлювання з суцільної або трубчатої заготовки. Ця технологія забезпечує отримання виробу з точними розмірами, який має поліпшені службові властивості та, як правило, майже не потребує доопрацювання механічною обробкою. Крім того, використання комбінованих схем видавлювання дозволяє не тільки розширити асортимент деталей за рахунок ускладнення їх геометрії, але й застосовувати кінематичне або силове керування процесами з метою забезпечення якості та точності отриманих виробів, зниження зусиль деформування.

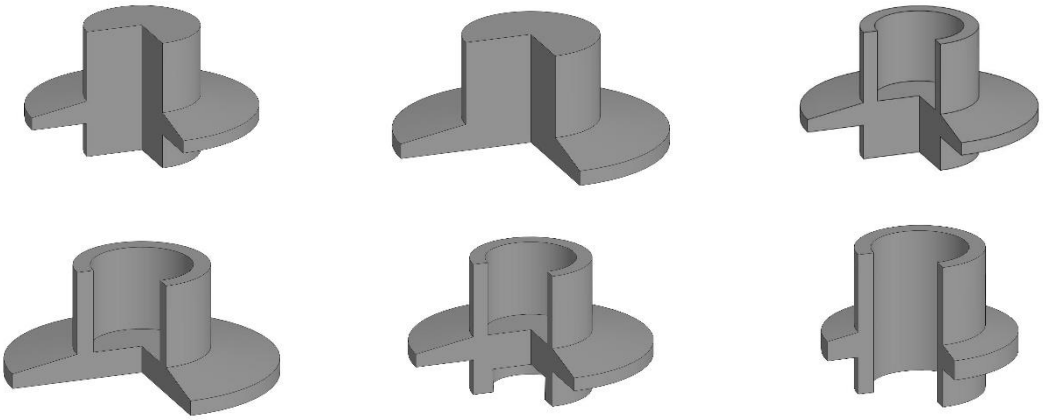
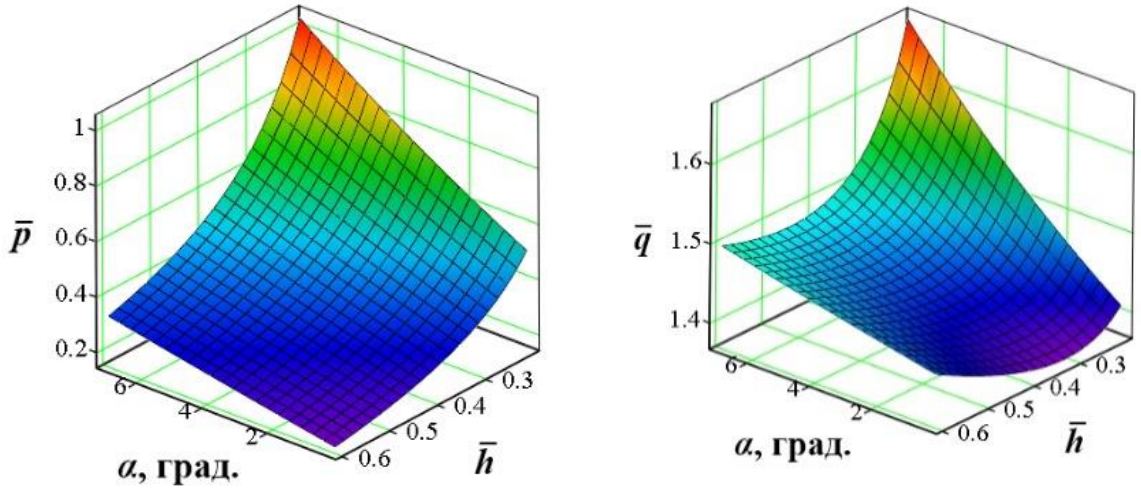


Рис. 1. Приклади деталей з конічними фланцями (геометричні 3D моделі)

При проектуванні процесів холодного об'ємного видавлювання важливо визначити зусилля деформування та зусилля, що діють на інструмент. Оцінка цих параметрів дозволяє не тільки правильно обрати обладнання, але й спроектувати робочий інструмент та інші елементи штампового оснащення. Особливістю штампів, що використовують для поперечного видавлювання (радіального та бокового), є наявність складених роз'ємних матриць. Це ускладнює проектування такого оснащення, адже використання роз'ємних матриць передбачає наявність надійних механізмів фіксації напівматриць та недопущення їх розкриття у процесі видавлювання. Тому разом з визначенням зусилля деформування потрібно оцінувати і зусилля, що діють на складові частини роз'ємної матриці.

В ДДМА для аналізу силового режиму процесів видавлювання на основі енергетичних методів вже тривалий час використовують спеціально розроблені кінематичні модулі. Це дозволяє спростити та пришвидчити створення та реалізацію математичних моделей процесів штампування, в тому числі і складних для аналізу комбінованих процесів з декількома ступенями течії металу. Використання модульного підходу для аналізу на основі методу верхньої оцінки та розроблених кінематичних модулів процесів радіального та бокового видавлювання дозволило визначити питомі зусилля деформування та розкриття при використанні матриць з крайкою у вигляді фаски та заокругленою крайкою [1, 2]. Для побудови математичної моделі кінематичного трапецеїдального модуля використовували енергетичний метод верхньої оцінки та принцип віртуальних швидкостей. Інтенсивність швидкостей деформації лінеаризували, що дозволило відокремити активні та реактивні складові відповідних потужностей та отримати залежності питомих зусиль деформування та розкриття матриці. Проведено аналіз похибки розрахунку потужності внутрішніх сил деформування для модуля при використанні спрощеної лінеаризованої залежності інтенсивності швидкостей деформації. Розроблений кінематичний модуль для зони конічного фланця дозволяє проводити розрахунки силового режиму деформації процесів радіального видавлювання деталей з конічним фланцем та оцінювати питомі зусилля розкриття матриці (рис. 2).



а *б*

Рис. 2. Графіки залежностей питомих зусиль деформування $\bar{p}$ (*а*) та розкриття $\bar{q}$ (*б*) від кута конусу *α* та відносної товщини фланця $\bar{h}$ при відносному зовнішньому радіусі конічного фланця $\bar{R}_1$ = 1,5

Література:

1. Aliieva, L., Titov, A., & Kordenko, M. (2019). Моделювання процесів поперечного бокового видавлювання. *Обробка матеріалів тиском*, 1(48), 35-44. https://doi.org/10.37142/2076-2151/2019-35(48).

2. Левченко В.М., Алієва Л.І., Тітов А.В., Абхарі П.Б., Чепеленко О.Ю. Моделювання силового режиму при боковому видавлюванні у матриці із закругленими ділянками. *Обробка матеріалів тиском*. Краматорськ : ДДМА. 2024. 1 (53). С. 10–23. https://doi.org/10.37142/2076-2151/2024-1(53)10.

РЕГУЛЮВАННЯ КІНЕМАТИКИ ПРОЦЕСІВ ВИДАВЛЮВАННЯ, ЯК МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ДЕТАЛЕЙ

[1]Алієв І.С., [2]Левченко В.М., [1]Абхарі П.Б., [1]Малій О.Г.
([1]ДДМА, м. Краматорськ-Тернопіль, Україна,
[2]ІРЕ ім. О.Я. Усикова НАН України, м. Харків, Україна)

Розробка та освоєння нових наукомістких технологічних процесів – один із найважливіших напрямів інтенсифікації машинобудування. Способи точного об'ємного штампування (ТОШ) видавлюванням дозволяють отримувати заготовки із розмірами і якістю, які наближаються до параметрів готових деталей. Прийоми кінематичного впливу є ефективним шляхом активного керування режимами деформування для підвищення складності форми та якості деталей, що штампуються за новими способами поперечного та поперечно-поздовжнього видавлювання [1].

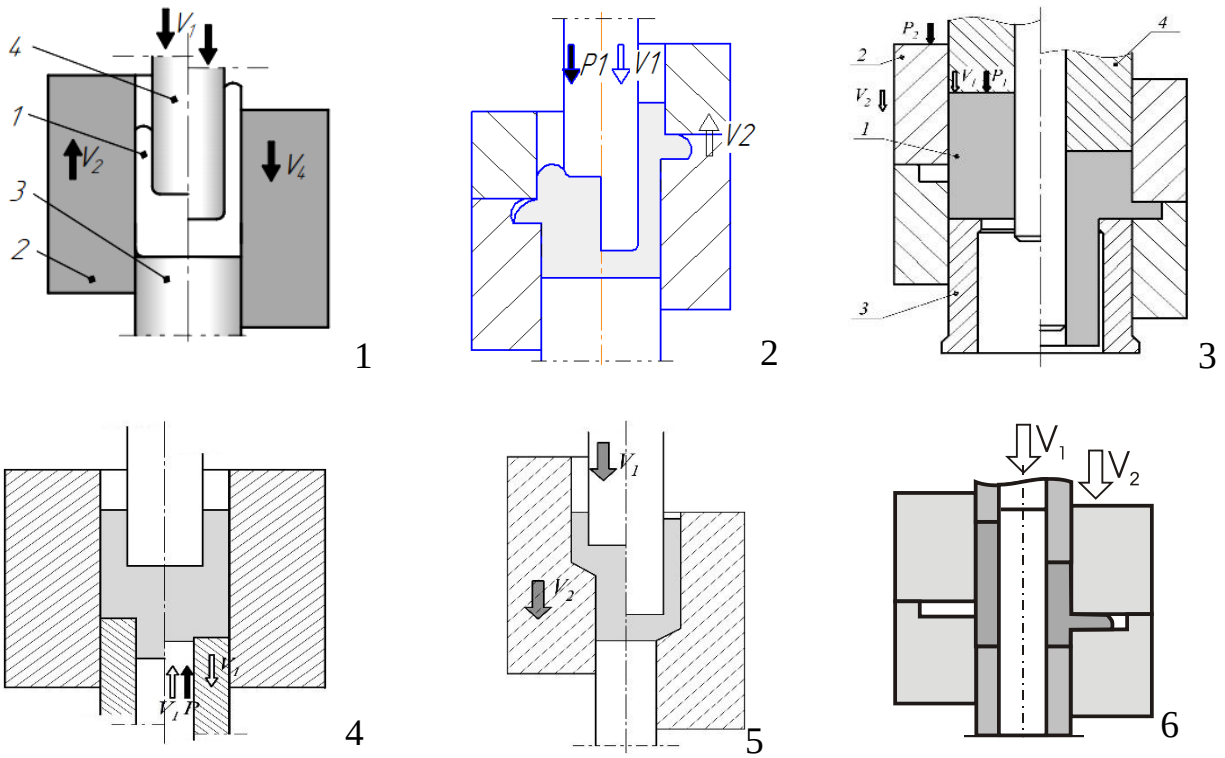


Рис. 1. Варіанти регулювання кінематики процесу видавлювання порожнистих деталей

Підвищення якості виробів і технологічних можливостей за рахунок виключення дефектів типу утяжин і поперечних тріщин досягають шляхом прикладення до бічної поверхні заготовки, розміщеної в матриці, сил контактного тертя, які реверсивно спрямовані уздовж осі симетрії стакану (схема 1). Неодноспрямований змінний вплив на бічну поверхню силами тертя може сприяти переорієнтації, вирівнюванню, заліковуванню і повному усуненню поперечних тріщин і дефектів типу утяжин [2].

Способи комбінованого поздовжньо-поперечного видавлювання відрізняються багатоваріантністю здійснення та передбачають суміщене, послідовне або поетапне комбінування простих схем деформування. Крім переваг, характерних для комбінованих схем (оптимальний і саморегульований силовий режим, великі ступеня формозміни, підвищення стійкості інструменту), включення схем поперечного видавлювання призводить до помітного збільшення складності форми деталей, що отримуються.

Поетапне комбіноване видавлювання (схема 2) надає можливість отримати деталі складних просторових форм і з меншими питомими і повними навантаженнями на інструмент [2]. Ці комбіновані способи вимагають активного управління процесами і створення штампів зі спеціальною кінематикою, у яких недостатньо одного наявного рухомого деформуючого інструменту – пуансона.

За новим способом радіально-прямого видавлювання (схема 3) у процесі деформування одночасно з пуансоном вниз переміщують і матрицю і таким чином в умовах роздільної течії виключають інтенсивний зсув між окремими зонами і забезпечують усування зрізу на межі між фланцем та корпусом деталі.

За способом видавлювання порожнистих деталей (схема 4) задача підвищення якості вирішується за рахунок того, що деформування відбувається в два етапи таким чином, що на першому етапі одночасно виконують зворотне видавлювання стінки стакану та пряме видавлювання з утворенням технологічного відростку в його донній частини, а на другому етапі відбувається витіснення металу з технологічного відростку назад у донну частину. На рис. 1 наведено також спосіб з подібною кінематикою (схема 5), який має переваги як в зниженні силових параметрів, так і зменшенні відхилень від неспівосності порожнини деталей. Ці способи знакозмінного деформування сприяють поліпшенню проробки металу в окремих зонах деталі.

Особливістю технології поперечного радіального видавлювання є можливість активного регулювання деформаційних і силових параметрів процесу за допомогою зміни кінематики руху формоутворюючого інструменту. Найпростіші кінематичні варіанти радіального видавлювання здійснюються з односторонньою подачею металу в робочу порожнину нерухомої матриці. При односторонній схемі видавлювання зона максимальної інтенсивності деформацій зміщена до нижньої межі осередку деформації, на якій спостерігається різкий стрибок ступеня деформації та високий градієнт зсувних деформацій. На рис. 1 наведено спосіб (кінематичній варіант) радіального видавлювання з двосторонньої подачею металу в робочу порожнину рухомої матриці (схема 6). Регулювання кінематики подачі допомагає керувати розташуванням зони максимальної деформації та зміцнення по висоті в осередку деформації. Для цього чергують у різній послідовності видавлювання з односторонньою та двосторонньою подачею металу на різних етапах процесу.

Література:

1. Алієв І.С., Грудкіна Н.С., Малій Х.В., Таган Л.В. Моделювання та розробка процесів точного об’ємного штампування видавлюванням: монографія. Краматорськ: ДДМА. 2021. 208 с. *ISBN 978-617-7889-08-2*. **2.** Aliev I.S. Radial extrusion processes. *Soviet Forging and Metal Stamping Technology (English Translation of Kuznechno-Shtampovochnoe Proizvodstvo)*, 1988, Part 3, pp. 54–61.

НАВЧАННЯ СТУДЕНТІВ РОЗРОБЦІ КЕРУЮЧИХ ПРОГРАМ ДЛЯ ВЕРСТАТІВ ЧПК В УМОВАХ ДИСТАНЦІЙНОЇ ОСВІТИ

Аносов В.Л., Богданова Л.М.
(ДДМА, м. Краматорськ - Тернопіль, Україна)

З 2020-го року багатьом освітнім закладам доводиться працювати в умовах дистанційної форми навчання. При цьому ВНЗ необхідно забезпечити відповідний рівень якості підготовки студентів.

Випускники кафедри Комп'ютерних інформаційних технологій традиційно мають високу і різнобічну підготовку, що надає їм можливість впевнено почувати себе на сучасному високотехнологічному ринку праці.

Абсолютна більшість сучасних технічних виробів проектується за допомогою CAD/CAE/CAM-систем з одночасною розробкою технології їх виготовлення [1]. Тому в нагальній ситуації потрібно приділити достатньо уваги особливостям самостійного вивчення можливостей CAM-систем в поєднанні з практичним застосуванням розроблених програм на верстатах ЧПК.

Для студентів 3-го курсу пропонується дисципліна «Проектування і виготовлення виробів медичного призначення». З урахуванням ситуації військового стану дисципліна є важливою, тому що зростає потреба в різноманітних технічних виробах медичного призначення, які полегшують життя травмованих людей. В курсі дисципліни розглядаються можливості використання CAD/CAM-систем для проектування і виготовлення різних технічних об'єктів медичного призначення. Інші студенти мають можливість ознайомитися з використанням CAD/CAM-систем при вивченні дисципліни «Технології комп'ютерного проектування». Відмінність дисциплін полягає в орієнтації на проектування і виготовлення різних технічних об'єктів загального призначення та машинобудування. У вказаних курсах розглядаються основні принципи створення технологічних процесів виготовлення виробів з різноманітних матеріалів за допомогою засобів 3D друку і обробки різанням на верстатах з ЧПК. Звісно, зараз існує дуже багато матеріалів з потрібними механічними властивостями, які дозволяють використовувати можливості 3D друку. Розроблено також широкий спектр відповідного програмного забезпечення, яке дозволяє створювати керуючі програми у вигляді G-коду для друкуючих пристроїв. Але ж багато деталей виробів повинні бути виготовлені з металів, або інших матеріалів і економічно доцільним, а інколи і єдиним можливим методом обробки є механічна обробка зі зняттям стружки на верстатах.

Підготовча частина лабораторних робіт може бути виконані студентом в домашніх умовах з використанням студентських або безкоштовних версій програмного забезпечення. Процес можна поділити на два наступні етапи:

1) створення тривимірної моделі деталі за допомогою CAD-системи SolidWorks;

2) розробка керуючої програми у вигляді G-коду для верстатів ЧПК. Цей процес доцільно виконати за допомогою CAM-систем, таких як PowerMill або

SolidWorks CAM. Остання – це інтегрований у CAD-систему SolidWorks CAM-модуль, що дозволяє створення плану обробки у вигляді переліку поверхонь і операцій механообробки, а також генерувати траєкторії переміщення інструменту. При підготовці керуючої програми для пристрою 3D друку використовується слайсер Cura, для чого тривімірну модель попередньо треба конвертувати у формат STL. Генерація програмного G-коду відбувається в залежності від обраного верстату і постпроцесора, що відкривається у вікні редактора G-коду SolidWorks CAM. При цьому важливо враховувати технологічні параметри і вимоги до поверхонь [2]. Аналогічні засоби створення коду і візуалізації його виконання має і Ultimaker Cura.

Кафедра в рамках проекту BioArt отримала верстати, на котрих можна виготовляти деталі складної конфігурації з твердих пластмас і металів. Це свердлильно-фрезерний верстат Sherline 5410 CNC з керуванням по 3-м координатам та токарний верстат Sherline 4410 CNC.

У якості програмного забезпечення для керування контролерами двигунів можна використати безкоштовний варіант програми Mach 3. Його достатньо для керування обробкою деталей середньої складності. Пакет може виконувати функції базової CAM-системи. Вхідними даними можуть бути файли декількох графічних форматів, а також текстового формату з G-кодами якщо використовуються інші CAM-системи.

Програма Mach 3 як і SolidWorks CAM дає можливість візуально промоделювати роботу верстатів за допомогою трасування переміщення інструменту під час механообробки. Таким чином студент має можливість перевірити роботу кожного кадру створеного G-коду і відкоригувати виявлені помилки. Зазвичай можливості самостійного виконання лабораторних робіт студентами обмежуються описаним моделюванням.

Зараз обладнання кафедри релоковане і розміщене на кафедрі Конструювання верстатів, інструментів та машин Тернопільского технічного університету імені Івана Пулюя. На поточний момент проводиться робота по організації за допомогою інтернет-зв’язку проведення демонстрації процесу механообробки. Окрім демонстрації на камеру можливо виконання елементів G-коду студентами з використанням віддаленого підключення до керуючого комп’ютеру за допомогою програми AnyDesk.

Таким чином можна надати можливість студентам на практиці вивчити принципи програмного кодування для систем ЧПК і ознайомитися з роботою верстатів. Для подальшого вдосконалення проведення навчального процесу доцільно відпрацювати методику використання засобів інтернет-зв’язку для проведення демонстрації процесу механообробки і віддаленого керування верстатами, а також створення спеціалізованого програмного забезпечення для організації віртуальних лабораторних робот.

Література: **1.** Автоматизоване проектування і виготовлення виробів із застосуванням CAD/CAM/CAE-систем: монографія / О. Ф. Тарасов, О. В. Алтухов, П. І. Сагайда, Л. В. Васильєва, В. Л.Аносов. – Краматорськ : ЦТРІ «Друкарський дім», 2017. – 239 с. **2.** Богданова, Л. М. Моделювання технологічних систем механічної обробки деталей : монографія / Л. М. Богданова, В. Л. Аносов. – Краматорськ : ЦТРІ «Друкарський дім», 2018. 175 с.

АЛГОРИТМИ ТА СТРУКТУРИ ДАНИХ: ОСНОВИ ЕФЕКТИВНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ТА ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ В ПРОГРАМУВАННІ

[1]Багач С.Г., [2]Фоміченко В.В.
(ДФК ДДМА, м. Дружківка - Дніпро, Україна)

Алгоритми та структури даних є основою сучасного програмування, без яких неможливо уявити розробку якісного, швидкого і надійного програмного забезпечення. Алгоритм — це чітко визначена послідовність кроків, яка дозволяє розв'язати певну задачу або виконати певну операцію. Він описує логіку дій, що необхідно виконати, і гарантує отримання правильного результату за обмежену кількість кроків. Важливість алгоритмів полягає в їх здатності автоматизувати процес обробки інформації, дозволяючи комп'ютерам ефективно виконувати складні операції, починаючи від простих арифметичних обчислень і закінчуючи обробкою великих обсягів даних у реальному часі.

Однак алгоритми не працюють ізольовано – для їх ефективного застосування необхідні відповідні структури даних. Структури даних – це організовані способи зберігання інформації в пам'яті комп'ютера. Вони визначають, як дані розміщуються, взаємодіють і доступні для обробки. Вибір правильної структури даних відіграє вирішальну роль у швидкості виконання програм, оскільки навіть ідеальний алгоритм може працювати повільно, якщо дані організовані неефективно.

Більш складні структури, такі як дерева і графи, дозволяють моделювати ієрархічні відносини та зв'язки між об'єктами. Робота з такими структурами вимагає особливих алгоритмів, які можуть обходити, аналізувати та змінювати їхню структуру. Алгоритми, у свою чергу, застосовуються для виконання операцій над структурами даних. Вони можуть бути простими, як пошук елемента в масиві, або складними, як алгоритми сортування та пошуку найкоротшого шляху в графах. Важливою характеристикою алгоритму є його складність, яка визначає, скільки часу або пам'яті буде потрібно для виконання операції в залежності від розміру вхідних даних. Оптимальні алгоритми дозволяють зменшити витрати ресурсів і підвищити продуктивність програм.

Важливо також відзначити, що ефективність програмного забезпечення багато в чому залежить від правильного поєднання алгоритмів і структур даних. Нерідко вибір менш підходящої структури даних або неефективного алгоритму призводить до значних затримок і великих витрат пам'яті. Тому розуміння цих концепцій і вміння їх застосовувати – це базові навички для будь-якого програміста, які дозволяють писати код, що працює швидко, надійно і ефективно.

Отже, алгоритми і структури даних є невід'ємною частиною інформатики, які допомагають організувати інформацію таким чином, щоб забезпечити ефективну її обробку. Знання цих основних понять і принципів є необхідною умовою для розробки складних програмних систем і успішної кар'єри у сфері інформаційних технологій.

ВПЛИВ ЦИФРОВІЗАЦІЇ НА СТРАТЕГІЇ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Бившева Л.О., Скиба П.Р.
(ДДМА, м. Краматорськ - Тернопіль, Україна)

У сучасних реаліях цифрова трансформація стала одним із ключових чинників розвитку промислових підприємств. Вона охоплює всі аспекти їхньої діяльності – від виробничих процесів до стратегічного управління. Успішна цифровізація стає важливою умовою для збереження та зміцнення лідерських позицій на ринку [1;2].

Цифрова трансформація активно досліджується як вітчизняними, так і зарубіжними фахівцями. Серед найвідоміших праць варто виділити роботи Філіпа Котлера [1], Клауса Шваба [2], Дона Тапскотта [3], які розглядають загальні принципи діджиталізації. Науковці та експерти одноголосно визнають, що цифровізація є потужним інструментом для підвищення ефективності. Дослідницькі дані свідчать, що компанії, які активно інвестують у сучасні технології, демонструють суттєво вищі результати [5;6]. Проте тема впровадження цифрових стратегій саме у сфері промисловості потребує детальнішого дослідження. Залишаються недостатньо вивченими питання адаптації виробничих систем до цифрових інновацій, зміни підходів до управління персоналом та трансформації організаційної культури підприємств. Цифровізація промислового виробництва охоплює такі ключові аспекти, як автоматизація технологічних процесів, інтеграція Інтернету речей (IoT), застосування аналітичних інструментів, побудованих на основі великих даних, впровадження штучного інтелекту (AI), використання концепції цифрових двійників, системи управління виробництвом (MES) та автоматизація технологічних процесів та роботизація [4]. Зазначені елементи сприяють оптимізації витрат, мінімізації впливу людського фактора, підвищенню точності та ефективності виробничих операцій, а також забезпеченню гнучкості у створенні адаптованих виробничих систем [6]. Завдяки імплементації інтелектуальних систем моніторингу підприємства можуть прогнозувати технічні несправності обладнання, що дозволяє значно скоротити час простоїв.

Однак процес цифрової трансформації нерідко супроводжується значними викликами. До основних із них належать високі витрати на модернізацію виробничої інфраструктури, опір персоналу до інноваційних змін та необхідність розвитку і вдосконалення цифрових компетенцій працівників. Також нагальним залишається питання забезпечення кібербезпеки, оскільки інтеграція фізичного та цифрового середовищ створює нові ризики щодо безпеки даних і систем. Крім цього, загрози витоку даних, шахрайства чи кібератак зумовлюють необхідність впровадження надійних систем захисту інформації [4]. Стрімкий розвиток цифрових технологій змушує промислові підприємства швидко пристосовуватися до змін на ринку. Процес цифровізації докорінно змінює стратегічний підхід промислових підприємств, сприяючи підвищенню

ефективності операцій, зниженню витрат та покращенню якості продукції. Впровадження штучного інтелекту та алгоритмів машинного навчання забезпечує можливість прогнозування технічних несправностей, оптимізацію витрат і вдосконалення управління виробничими процесами шляхом персоналізації підходів [2;6]. Інтеграція інтелектуальних систем управління ресурсами дозволяє підприємствам оперативно реагувати на динамічні зміни ринкового середовища [5].

Практичний досвід провідних компаній промислового сектору свідчить, що цифровізація суттєво підвищує їх конкурентоспроможність через запровадження адаптивних виробничих процесів, раціональне управління ресурсами та покращення характеристики продукції. Вона також сприяє скороченню операційних витрат завдяки автоматизації технологічних процесів та ефективнішому використанню матеріальних ресурсів. Крім того, цифрові платформи значно розширюють можливості для освоєння нових ринкових сегментів [3]. Цифрові трансформації зумовлюють кардинальну перебудову традиційних бізнес-моделей. Компанії дедалі частіше впроваджують сервісно-орієнтовані підходи (servitization), інтегрують цифрові ланцюги постачання та використовують принципи адаптивного планування. Такий підхід дозволяє оперативно реагувати на зміни попиту, впроваджувати високий рівень індивідуалізації продукції й скорочувати цикл виходу нових виробів на ринок. Подальший розвиток цифрових технологій у промисловості передбачає активне застосування штучного інтелекту, ширше використання блокчейн-технологій для оптимізації управління ланцюгами постачання, удосконалення підходів до кібербезпеки та впровадження автономних виробничих систем [3;6]. Модернізація галузі стане визначальним чинником для підвищення ефективності й адаптації до вимог цифрової економіки. Цифровізація виступає ключовим чинником стратегічної трансформації промислових підприємств, відкриваючи нові можливості для підвищення ефективності, впровадження інновацій та забезпечення гнучкості виробничих процесів. Продовження розвитку цифрових технологій вимагатиме перегляду управлінських підходів, активного розвитку професійних навичок співробітників та інтеграції сучасних інноваційних моделей управління. Водночас гострою залишається потреба в розробці уніфікованих галузевих стандартів цифрової трансформації. Особливу роль у цьому процесі має відігравати державна політика підтримки, особливо для підприємств малого і середнього бізнесу в промисловій сфері.

Література:

1. Котлер Ф., Картайя С. «Маркетинг 5.0: Технології наступного покоління» – К.: Основи, 2021. **2.** Schwab K. «The Fourth Industrial Revolution» – World Economic Forum, 2016. **3.** Tapscott D. «Blockchain Revolution: How the Technology Behind Bitcoin Is Changing Money, Business, and the World» – Portfolio, 2018. **4.** Червінський А. «Цифрова трансформація бізнесу: виклики та можливості» – Харків: Видавництво ХНЕУ, 2020. **5.** Harvard Business Review. «How Digital Transformation is Reshaping Business» – Harvard Business Review Press, 2022. **6.** Deloitte Insights. «Digital Transformation 2023: Trends and Insights» – Deloitte, 2023.

ВАЖЛИВІСТЬ БІОТЕХНОЛОГІЙ У РОЗВИТКУ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Бившева Л.О. Осоненко Д.С.
(ДДМА, м. Краматорськ - Тернопіль, Україна)

Біотехнології стали ключем до трансформації промисловості, вирішення екологічних проблем, підвищення ефективності виробництва та сталого розвитку [1].

Інтеграція біотехнологій змінила традиційні методи, зробивши виробництво ефективнішим, екологічнішим і більш відповідним глобальним викликам [3]. Зростання населення і споживання змушує промисловість впроваджувати інновації для задоволення ринкових потреб без шкоди довкіллю, зокрема шляхом енергоефективності, зменшення забруднення та підтримки циркулярної економіки [4]. Важливий внесок біотехнологій - біокаталіз. Ферменти та мікроорганізми скорочують енергоспоживання й усувають токсичні реагенти, підвищуючи якість продукції у фармацевтиці, харчуванні та виробництві біопалива [1]. Біополімери, які розкладаються в природі, є ще одним досягненням. Біотехнології активно використовуються у біоочищенні вод і ґрунтів [2]. Біоремедіація допомагає знешкоджувати токсини, нафтові продукти й метали, зменшуючи екологічні ризики та витрати на утилізацію [4].

Стале управління ресурсами можливе завдяки замкнутим циклам виробництва, використанню відходів і вторинної сировини - виробництво біогазу та біоетанолу з відходів сільського господарства й промисловості [3].

Сучасна промисловість стикається з кліматичними змінами, нестачею енергії й ресурсів. Біотехнології дозволяють знизити викиди парникових газів, замінити хімічні реагенти біологічними й використовувати екологічний дизайн. Інновації в біотехнологіях сприяють зниженню витрат, уникненню екологічних штрафів і підвищенню ринкової репутації. Водночас реалізація біотехнологій потребує подолання регуляторних бар’єрів, високих інвестицій і дефіциту кадрів. Розв'язати ці проблеми можна через державну підтримку, співпрацю науки й бізнесу та просування вигід технологій серед громадськості. Біотехнології - стратегічний напрям модернізації промисловості. Вони дозволяють вирішувати екологічні й економічні виклики, забезпечуючи ефективний та сталий розвиток.

Література:

1. Джеймс, К. (2018). Глобальний статус комерціалізованих біотехнологічних/генно-модифікованих культур: 2018. Аналітична записка ISAAA № 54. **2.** Грехем, Р. Д., Велч, Р. М., та Буіс, Х. Е. (2001). Вирішення проблеми дефіциту мікроелементів шляхом біофортифікації: Прогрес, виклики та майбутні напрямки. Дослідження польових культур, 60(1-2), 73-80. **3.** Каїм, М. (2020). Роль нових технологій селекції рослин для продовольчої безпеки та сталого розвитку сільського господарства. Прикладні економічні перспективи та політика, 42(2), 129-150. **4.** FAO (Продовольча та сільськогосподарська організація ООН). (2021). Стан продовольства та сільського господарства: Інновації в сімейному фермерстві.

НЕСТАЧА КВАЛІФІКОВАНИХ КАДРІВ У МАШИНОБУДУВАННІ: СТАН І ШЛЯХИ ПОДОЛАННЯ

Бившев Р.О, Моховіков А.Г.
(ДДМА, м. Краматорськ - Тернопіль, Україна)

Машинобудівна галузь традиційно є однією з ключових складових промисловості України, що забезпечує не лише внутрішні потреби, а й формує вагомий експортний потенціал. Проте в останні роки підприємства цього сектору стикаються з гострою проблемою — дефіцитом кваліфікованої робочої сили. Незважаючи на наявність технічного обладнання та замовлень, брак фахівців, здатних ефективно працювати на сучасному виробництві, стає стримувальним фактором розвитку.

Причинами такої ситуації є комплекс обставин: міграція робочої сили за кордон, старіння кадрового складу, низький рівень престижу технічних професій серед молоді, а також невідповідність між підготовкою у закладах освіти та потребами ринку праці. Водночас державна політика та стратегія підприємств часто виявляються неготовими до системного вирішення цієї проблеми.

Метою цього дослідження є всебічний аналіз проблеми нестачі кваліфікованих кадрів у машинобудівній галузі України, визначення основних причин кадрового дефіциту, оцінка його впливу на розвиток підприємств, а також обґрунтування можливих шляхів подолання цієї проблеми з урахуванням сучасних соціально-економічних умов і потреб ринку праці. Визначимо основні причини кадрового дефіциту в машинобудуванні України сьогодні.

1 Масова трудова міграція за кордон. Багато кваліфікованих працівників виїжджають до країн Європи в пошуках вищої заробітної плати та кращих умов праці, що призводить до відтоку кадрів із країни.

2 Старіння трудових ресурсів. Значна частина робітників машинобудівної галузі — це люди передпенсійного або пенсійного віку. Молодь неохоче обирає технічні спеціальності, що спричиняє розрив поколінь на підприємствах.

3 Невідповідність системи освіти потребам ринку праці. Освітні програми в багатьох професійно-технічних закладах застарілі та не відповідають сучасним вимогам виробництва. Випускники часто не мають практичних навичок, потрібних на підприємствах.

4 Низький престиж технічних професій. У суспільстві технічні та робітничі спеціальності сприймаються як менш привабливі. Молодь частіше обирає гуманітарні чи економічні напрями, навіть за відсутності реального попиту на ринку праці.

5 Недостатній рівень заробітної плати. Заробітна плата в галузі не завжди відповідає складності та відповідальності праці. Це знижує мотивацію до праці та вступу на відповідні спеціальності.

6 Відсутність системної державної підтримки професійно-технічної освіти. Брак інвестицій у розвиток професійних училищ, технікумів і коледжів

призводить до їх занепаду та зменшення кількості випускників технічних спеціальностей.

Кадровий голод у машинобудівній галузі України має суттєвий негативний вплив на функціонування та розвиток підприємств. Насамперед це проявляється у зниженні продуктивності праці та порушенні виробничих графіків через нестачу необхідних спеціалістів. Підприємства змушені зменшувати обсяги виробництва або відмовлятися від виконання замовлень, що призводить до втрати клієнтів, зниження доходів і загострення конкуренції з іноземними виробниками. Особливо відчутною є відсутність фахівців робітничих професій, таких як токарі, фрезерувальники, зварювальники, а також інженерно-технічного персоналу, здатного працювати з сучасним високоточним обладнанням. Нестача кадрів також ускладнює впровадження інновацій та модернізацію виробництва, оскільки відсутні працівники, які могли б ефективно використовувати нові технології та адаптувати виробничі процеси до вимог сучасного ринку. В умовах кадрового дефіциту підприємства часто змушені перенавантажувати наявний персонал, що призводить до зниження якості продукції, зростання кількості виробничих помилок і підвищення рівня професійного вигорання серед працівників.

Для подолання цієї проблеми необхідно вживати комплексних заходів як на державному, так і на корпоративному рівнях. Одним із ключових напрямів є реформування системи професійно-технічної освіти з орієнтацією на потреби ринку праці та активізація співпраці між навчальними закладами й підприємствами. Важливо впроваджувати дуальну освіту, що поєднує теоретичне навчання з практикою безпосередньо на виробництві, що дозволяє готувати фахівців, які відповідають реальним вимогам роботодавців. Крім того, підприємства мають бути зацікавленими у створенні привабливих умов праці, конкурентної заробітної плати та соціального пакета, які можуть утримати працівників у галузі та стимулювати молодь обирати технічні професії. Важливою складовою є також підвищення престижу технічних спеціальностей через інформаційні кампанії, профорієнтацію в школах та позитивне висвітлення роботи в промисловості у ЗМІ. Додатковим кроком є стимулювання внутрішньої міграції робочої сили, зокрема залучення працівників із регіонів із вищим рівнем безробіття, а також адаптація трудових мігрантів, які повертаються з-за кордону.

Висновок: Кадровий дефіцит у машинобудуванні є критичним фактором, що стримує розвиток галузі та знижує її конкурентоспроможність. Подолання цієї проблеми вимагає системного підходу, що передбачає реформу освіти, підвищення привабливості роботи в промисловості, а також активну участь як держави, так і бізнесу в підготовці та утриманні кваліфікованих кадрів.

Література:

1. М.Приходько. Десять ризиків та можливостей для гірничо-металургійного комплексу. 31.01.2024. URL: https://www.epravda.com.ua/columns/2024/01/31/709328/

НЕСПРАВНОСТІ РАМ ВІЗКІВ ВАГОНІВ МЕТРОПОЛІТЕНУ, ЯКІ ВИНИКАЮТЬ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Бірюков С. В., Юрченко О. А.
(Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна)

У Харківському метрополітені на рухомому складі експлуатуються два типи візків – повідцевий та шпинтонний. Основна їх відмінність один від одного полягає в конструкції буксового вузла, що з'єднує колісну пару з рамою візка. Рами цих візків також мають деякі відмінності.

Метою роботи є проаналізувати конструкцію різних типів рам візків та виділити можливі шляхи вдосконалення їх конструкції, адже саме через раму передаються тягові та гальмівні зусилля, а також через неї рівномірно розподіляється вага кузова між колісними парами.

Відповідно при русі по колії на раму візка діють різні за напрямком та величиною зусилля, які з часом викликають тріщини в їх конструкції [1]. На рисунку 1 зображена рама візка, яка є основною несучою конструкцією, що потребує ретельного контролю та ремонту, адже її несправність може привести до аварії, що неприпустимо при перевезенні пасажирів.

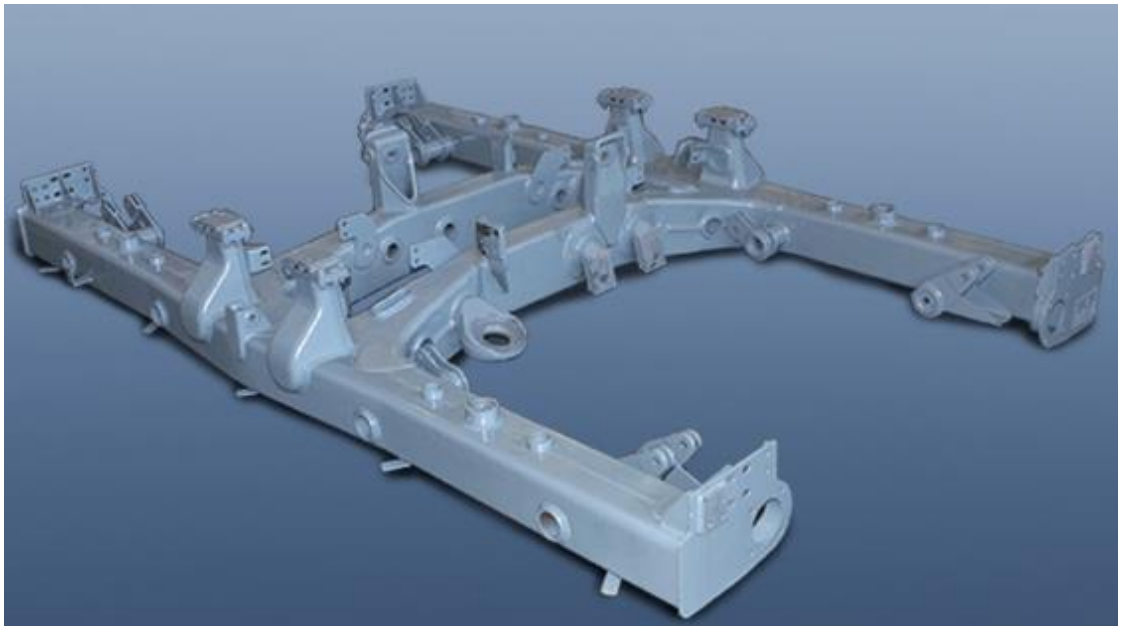


Рис.1. Рама повідцевого візка

Спираючись на досвід експлуатації та проаналізувавши конструкцію, науковцями та інженерами було виділено «слабкі місця» в рамі візка [2], які по можливості усувалися або підсилювалися. Також впроваджувалися у виробництво інші конструкційні та технологічні рішення – від зміни зварної конструкції рами на листову до зміни марки сталі, з якої вироблялися балки рами.

З розвитком комп'ютерної техніки є можливість спрогнозувати, як буде вести себе рама візка під час експлуатації та запропонувати заходи, які підвищать її міцність та надійність. Також можливо проаналізувати досвід закордонних метрополітенів щодо конструкції візка та технічних рішень, які впроваджувалися ними для його надійної експлуатації. Щодо рами візка це може бути зміна геометричної форми балок, зміна товщини листів, з яких вони зварені, полегшення конструкції візка, зокрема застосування рами з вуглецевого волокна [3].

Таким чином можна зробити висновки, що рама візка є одним із головних компонентів ходової частини вагону метрополітену. Від міцності та надійності рами залежить не тільки безпека руху, а й комфортність перевезень. Тож удосконалення конструкції рами є перспективною та актуальною задачею не тільки у вітчизняному вагонобудуванні, а й у закордонному виробництві.

Література:

1. Артеменко А. В., Чепурненко И. В., Мазанько Д. Г. Анализ повреждений рам тележек вагонов метрополитена. Збірник наукових праць ДП «УкрНДІВ». Рейковий рухомий склад. 2012. Вип. 6. С. 29-33.

2. Атлас М. В., Донченко А. В., Водянніков Ю. Я., Шелейко Т. В. Дослідження конструкції рами візка вагона метрополітену з метою визначення надійності її елементів. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. 2010. Вип. 31. С. 7-10.

3. Ulbricht A. Rail Vehicle in CFRP-intensive Design. Lightweight Design Worldwide. 2019. Vol. 12. Pp. 36-41.

НЕЙРОМЕРЕЖЕВЕ ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ОБЛАДНАННЯ У ВАЖКОМУ МАШИНОБУДУВАННІ

Бондарєв Я.Г., Шашко В.О.
(ДДМА, м. Краматорськ - Тернопіль, Україна)

Забезпечення стабільної та передбачуваної роботи промислового обладнання є критично важливою задачею у важкому машинобудуванні, де навіть короткочасні зупинки агрегатів можуть призвести до значних економічних втрат та ризиків для персоналу. Зі стрімким розвитком інформаційних технологій та зростанням доступності даних з промислових сенсорів, значного поширення набули методи інтелектуального аналізу технічного стану обладнання на основі нейронних мереж. На відміну від класичних математичних моделей, які вимагають точного опису фізичних процесів зношування, нейромережеві підходи дозволяють будувати прогностичні моделі на основі даних — без необхідності повного розуміння усіх внутрішніх механізмів деградації. Це є особливо актуальним у контексті великої складності та індивідуалізованості обладнання у важкому машинобудуванні [1].

Серед архітектур штучних нейронних мереж, що найбільш ефективно працюють із часовими рядами технічних параметрів, вирізняються рекурентні мережі (RNN), зокрема їх модифікація — мережі з довгою короткочасною пам’яттю (LSTM). Ці моделі дозволяють виявляти тренди деградації обладнання, враховуючи часові залежності в зміні сигналів. Застосування LSTM у задачах прогнозування залишкового ресурсу (Remaining Useful Life, RUL) або часу до відмови базується на аналізі вібраційних, температурних та інших фізичних сигналів, які фіксуються в режимі реального часу [2]. Штучні нейронні мережі зарекомендували себе як ефективний інструмент аналізу експлуатаційних даних, що відкриває можливості для створення інтелектуальних систем прогнозування залишкового ресурсу складних технічних об’єктів. Це, своєю чергою, дозволяє переходити від регламентного технічного обслуговування до обслуговування за фактичним станом обладнання. Умови експлуатації складних технічних систем часто характеризуються впливом зовнішніх факторів — таких як радіація, коливання температури, підвищена вологість, механічні навантаження або агресивне біологічне середовище. З часом це може не лише спричиняти допустимі зміни параметрів, але й виводити їх за межі нормального функціонування, створюючи передумови до виникнення аварійних ситуацій. Моделювання та прогнозування подібних відмов може бути реалізоване у вигляді функціональної схеми відповідного нейромережевого алгоритму на рис. 1 [3]. Процес створення такої системи передбачає кілька ключових етапів: збір великих масивів експлуатаційних даних, їх очистка, нормалізація та уніфікація; виділення релевантних ознак за допомогою методів інженерії ознак (feature engineering), формування навчальної вибірки з маркованими прикладами нормальної роботи та відмов, навчання нейронної мережі та її валідація на тестовій вибірці.

Рис. 1. Схема прогнозування стану обладнання

Особливу роль у побудові ефективних моделей відіграє якісна підготовка експлуатаційних даних. Точність прогнозу безпосередньо залежить від рівня попередньої обробки сигналів, виділення діагностичних ознак та виявлення прихованих кореляцій між параметрами стану обладнання. Інтеграція методів машинного навчання з методами цифрової обробки сигналів дозволяє підвищити точність виявлення деградаційних процесів на ранніх етапах [4]. Значну увагу привертає пояснюваний штучний інтелект (Explainable AI), який забезпечує можливість інтерпретації рішень нейромережі. Такий підхід особливо важливий у промислових застосуваннях, де відмова обладнання може мати критичні наслідки, а інженерно-технічний персонал повинен розуміти логіку, за якою було сформовано прогноз.

Варто також зазначити, що нейромережеве прогнозування стає складовою частиною загальної концепції Індустрії 4.0, де обладнання, інформаційні системи та аналітика об’єднуються у єдиний цифровий ланцюг створення вартості. В результаті підприємства важкого машинобудування отримують не лише засіб підтримки надійності, а й інструмент стратегічного управління життєвим циклом продукції. Отже, нейромережеві технології є перспективним напрямом у забезпеченні технічної діагностики та прогнозування стану обладнання у важкому машинобудуванні.

Література:

1. Данильченко Д. О., Потривай А. Е. Система динамічного прогнозування технічного стану обладнання Об'єднаної електроенергетичної системи // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність. — 2023. — №1(6). — С. 66–72.

2. Легконогих Д. С. Проблеми і перспективи застосування нейронних мереж у задачах моніторингу технічного стану авіаційних двигунів вертольотів у польотних режимах // Вісник Херсонського національного технічного університету. — 2021. — №4. — С. 47–52. — Режим доступу: https://dspace.univd.edu.ua/items/0ce5c9f8-f0b1-4616-ae9c-0115391e4fd5.

3. Важинський А. І., Жуков С. Ф. Застосування апарату нейронних мереж для рішення завдань прогнозування стану складних систем // Електронний науковий журнал. — 2024. — №1. — С. 52–57. — Режим доступу: https://elen.donntu.edu.ua/2074-2630-2024-1-52-57.pdf

4. Шаповалова Н. Н., Доценко І. О., Трачук А. А., Скринніков І. В. Застосування інструментів штучного інтелекту для аналізу часових рядів // Вісник Криворізького національного університету. — 2024. — №58. — С. 46–51.

КАДРИ МАЙБУТНЬОГО: СТРАТЕГІЧНИЙ РОЗВИТОК ПЕРСОНАЛУ В ЕПОХУ ЗМІН

[1]Бурцева О.Є., [2]Гончарова А.С.
(ДДМА, м. Краматорськ - Тернопіль, Україна)

У XXI столітті бізнес-середовище характеризується швидкими технологічними змінами, глобалізацією та зростаючою конкуренцією, що вимагає від підприємств постійної адаптації і інновацій. У таких умовах основним фактором успіху стає людський капітал – компетентні, мотивовані та здатні до навчання працівники. Стратегії розвитку персоналу набувають особливої важливості, оскільки вони дозволяють формувати кадри, готові відповідати викликам сучасності і сприяти сталому зростанню організацій. Вивчення ефективних підходів до розвитку персоналу допомагає підприємствам зберегти конкурентоспроможність та забезпечити довгостроковий розвиток у світі, що постійно змінюється.

Сучасний світ стрімко змінюється під впливом технологічного прогресу, глобалізації, цифровізації та нових соціальних викликів. У цьому контексті успіх підприємства дедалі більше залежить від якості та готовності його персоналу відповідати вимогам часу. Людський капітал перестає бути просто ресурсом – він стає стратегічним активом, що визначає конкурентоспроможність, інноваційїсть і гнучкість організації. Тому формування «кадрів майбутнього» є одним із пріоритетних завдань сучасного управління.

У світі, де зміни відбуваються зі швидкістю, раніше немислимою, підприємства змушені не лише реагувати на нові умови, а й передбачати їх, будувати гнучкі моделі роботи. У таких умовах звичайні підходи до розвитку персоналу вже не працюють. Необхідно впроваджувати системний, довгостроковий підхід, який враховує не лише професійні навички, а й здатність працівників швидко навчатися, адаптуватися та створювати інновації.

Основу стратегічного розвитку персоналу складають кілька ключових напрямків:

Професійне навчання з акцентом на цифрові навички**.** Нові технології змінюють способи роботи, вимагають знання цифрових інструментів, навичок аналітики та роботи з великими обсягами даних. Безперервне навчання, гнучкі освітні програми і технології e-learning стають необхідністю.

Розвиток «soft skills»**.** У світі, де машини все частіше беруть на себе рутинні завдання, цінність людських навичок – комунікації, креативності, критичного мислення, емоційного інтелекту – зростає. Вміння працювати в команді, вести переговори і вирішувати складні проблеми стають ключовими.

Управління талантами і кадровий резерв**.** Виявлення, розвиток і утримання найкращих співробітників – важлива складова стратегії підприємства. Внутрішні програми кар'єрного зростання і підготовки лідерів допомагають формувати надійну базу для майбутніх змін.

Формування корпоративної культури**.** Підтримка цінностей, що стимулюють інновації, залученість і відкритість до змін, створює сприятливе середовище для розвитку та реалізації потенціалу персоналу.

Цифрові інструменти не лише спрощують процеси управління персоналом, але й стають каталізаторами змін. HR-аналітика дозволяє виявляти потреби в розвитку, відстежувати прогрес і прогнозувати ефективність навчальних програм. Системи управління навчанням надають можливість персоналізувати освіту, адаптувати її до індивідуальних особливостей співробітників. Віртуальні тренінги та платформи e-learning роблять освіту доступною та гнучкою, що особливо важливо у періоди швидких змін.

В умовах жорсткої конкуренції за таланти індивідуалізація освітніх і мотиваційних програм стає пріоритетом. Підприємства, які враховують особистісні потреби і потенціал працівників, можуть краще утримувати кваліфікованих співробітників і підвищувати їхню залученість. Гнучкі освітні траєкторії, адаптивне навчання і підтримка професійного росту сприяють формуванню лояльної та мотивованої команди.

Керівники мають виконувати роль не тільки менеджерів, а й наставників. Вони повинні підтримувати культуру відкритості, довіри, сприяти професійному розвитку та заохочувати ініціативу. Лідери, які є прикладом для своїх команд, можуть значно підвищити ефективність навчання та впровадження інновацій.

Інвестиції у розвиток кадрів дозволяють підприємствам підвищувати продуктивність праці, знижувати плинність персоналу, швидко адаптуватися до змін і зміцнювати позиції на ринку. Стратегічний підхід до управління людським капіталом – це запорука сталого розвитку та довготривалого успіху компанії.

Стратегії розвитку персоналу в епоху швидких змін і технологічних викликів є одним із ключових факторів успіху сучасного підприємства. Формування кадрів майбутнього – це не лише про навчання нових професійних навичок, а й про розвиток гнучкості, креативності, лідерства та здатності адаптуватися до невизначеності. Впровадження системного, індивідуалізованого підходу до розвитку людського капіталу, підтримка корпоративної культури та активна роль керівництва створюють міцну основу для сталого зростання компанії. Інвестиції у персонал – це інвестиції в майбутнє, що забезпечують конкурентоспроможність, інноваційність та стабільність у динамічному бізнес-середовищі.

ІНЖИНІРИНГ ЕПІЦИКЛІЧНОЇ ПЕРЕДАЧІ У SOLIDWORKS

Валецький Б.П., Залета О.М.
(Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна)

У роботі досліджуються аспекти інженерного аналізу епіциклічної передачі із застосуванням засобів комп’ютерного моделювання SOLIDWORKS. Особливу увагу приділено аналізу кінематичних та динамічних характеристик за допомогою системи інженерного аналізу SOLIDWORKS Motion, яка дозволяє здійснювати чисельні експерименти. Вони спрямовані на перевірку працездатності механізмів і машин, визначення їх основних характеристик, а також на подальшу оптимізацію систем за різними критеріями.

У країнах із розвиненою машинобудівною галуззю спостерігається активний розвиток інжинірингу на базі тривимірного моделювання (3D). Водночас наявні 3D моделі недостатньо враховують специфічні особливості функціонування вузлів і деталей спряжень. В умовах сучасного ринку, коли вітчизняне машинобудування прагне до конкурентоспроможності, гнучкості та високої ефективності, вирішення цієї проблеми стає актуальним завданням.

На першому етапі моделювання встановлюються передаточні відношення між контактуючими ланками механізму (сателітами, водилом та вінцевою шестернею) через функціональний зв'язок «RotaryMotor». Після цього до вхідної ланки застосовується елемент «RotaryMotor» з інструментарію SOLIDWORKS Motion, виконується розрахунок кінематичних параметрів та перевіряється відсутність інтерференції між контактуючими тілами, що свідчить про коректність заданих передаточних відношень (рис.1.).

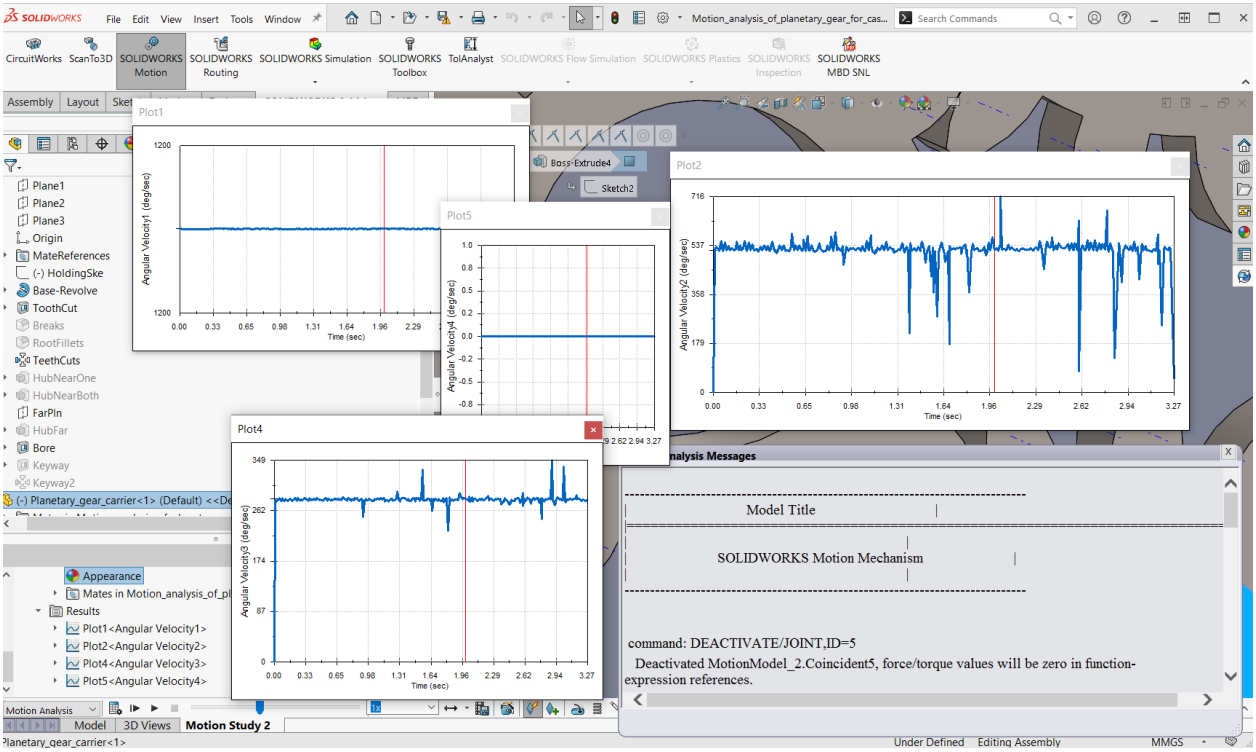


Рис. 1. Дослідження руху моделі збірки епіциклічної передачі

Другий етап моделювання передбачає використання функції «Solid Body Contact». В ході розрахунків формуються групи контактуючих елементів, додається елемент «RotaryMotor», і здійснюється аналіз кінематичних параметрів. Слід враховувати, що тривалість обчислень на даному етапі істотно перевищує попередню через збільшену кількість контактних пар та задані параметри точності в налаштуваннях проєкту. Нестабільність кутової швидкості вихідної ланки обумовлена наявністю технологічних зазорів у зубчастих зачепленнях планетарного механізму, а також впливом пружних властивостей елементів при застосуванні функції «Solid Body Contact».

Такий підхід дозволяє комплексно оцінити вплив контактних взаємодій на динаміку механізму та забезпечити точність його кінематичних параметрів.

Аналіз руху було проведено для різних випадків: вхідна швидкість становить 200 об/хв. Випадок 1 – вінцева шестерня нерухома, сонячна шестерня – вхідна, а водило – вихідне. Випадок 2 – сонячна шестерня – фіксована, корона є входом, а водило є вихідним. Випадок 3 – водило фіксоване, сонячна шестерня вхідна, а вінцева шестерня вихідна.

Результати дослідження варіантів приводу епіциклічної передачі представлені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати досліджень варіантів епіциклічної передачі

	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3
Напрям руху	Вперед	Вперед	Назад
Тип передачі	Низькошвидкісна	Високошвидкісна	Низькошвидкісна
Передавальне відношення	0,23	0,23	0,30
Вихідна швидкість	в 0,77 рази менша за вхідну	в 0,77 рази менша за вхідну	В 0,70 рази менша за швидкість на вході

Моделювання для всіх випадків, було успішно виконано з додатковим розрахуванням передавального числа для швидкості на вході та швидкості на виході.

SolidWorks є однією з базових систем автоматизованого проектування, що дозволяє спроектувати вироби або компоненти будь-якої складності, а також є популярною програмою для створення 3D моделей.

Розглядаючи функціональні і предметні області інжинірингу, важливо розуміти особливості інженерної діяльності. Рішення системних проблем, що мають монетарний аспект, можна розділити на політичні, економічні та технічні завдання. Ці категорії взаємопов'язані і включають аспекти інших категорій. Наприклад, політичні завдання враховують економічні та технічні аспекти, а економіка і техніка діють в політичному контексті.

Література:

1. Системи 3D моделювання: Навчальний посібник/ Пальчевський Б.О., Валецький, Б.П., Вараніцький Т.Л. / Луцьк:, 2016. - 176с.

2. Dassault Systèmes. SolidWorks web help [Електронний ресурс] / 10 Dassault Systèmes // Dassault Systèmes. – 2022.

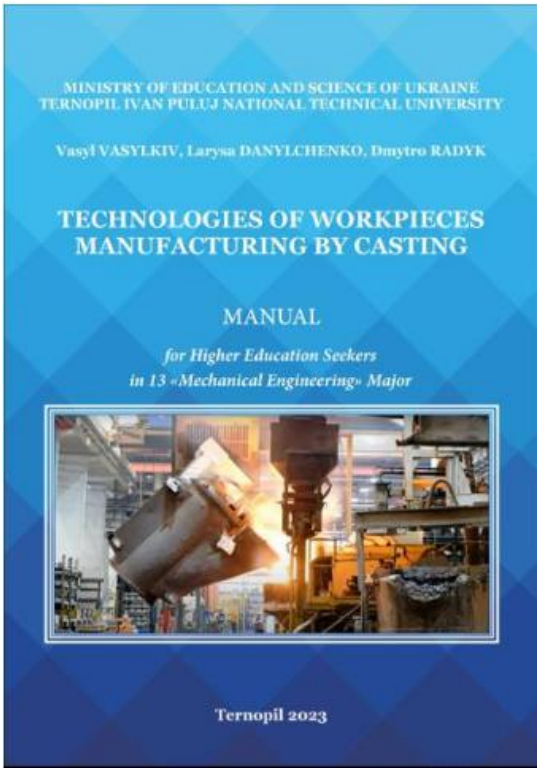
КНИГА «TECHNOLOGIES OF WORKPIECES MANUFACTURING BY CASTING» – СУЧАСНЕ НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНЕ ВИДАННЯ

Васильків В., Радик Д., Данильченко Л.
(ТНТУ імені І. Пулюя, м. Тернопіль, Україна)

У сучасних умовах інтеграції України до європейського освітнього простору актуальним є створення англомовних науково-популярних та навчально-методичних видань. Навчальний посібник «Technologies of Workpieces Manufacturing by Casting» [1] зазначених авторів є прикладом сучасної, глибоко структурованої праці, спрямованої на підготовку висококваліфікованих фахівців у галузі механіки та металообробки.

Метою роботи є популяризація та ознайомлення ширшого кола читачів з англомовним ілюстрованим навчальним посібником з технології виготовлення виробів методом лиття металів і сплавів для здобувачів вищої освіти за спеціальністю G9 - Прикладна механіка та суміжних спеціальностей.

Актуалізує дане видання розроблення тематичних тестових завдань для проведення різних форм системного контролю знань здобувачів вищої освіти або їх самооцінювання в процесі самостійної роботи.



Еволюція та сучасність ливарного виробництва. Посібник охоплює історичні аспекти становлення ливарної справи – від примітивних методів отримання заготовок до автоматизованих технологічних ліній. Автори чітко простежують еволюцію знань, обладнання та технологічних процесів, що дозволяє здобувачам вищої освіти не лише опанувати матеріал, а й осмислити логіку розвитку виробництва як науки та практики. Такий підхід відповідає вимогам сучасної технічної освіти, що базується не лише на теоретичних знаннях, але й на розумінні технологій ливарного виробництва, історичних аспектів технічного розвитку людства та його значення для сучасного суспільства.

Класифікація та технології отримання литих заготовок. Окрема увага у посібнику приділена класифікації способів виробництва заготовок литтям. Розглянуто основні ливарні операції: лиття в піщані форми, в кокіль, під тиском, у вакуумі, прецизійне лиття тощо. Описано основні програмні продукти для моделювання процесів лиття. Це дає змогу здобувачеві вищої освіти, а згодом й інженерно-технічному фахівцеві свідомо обирати технологічний маршрут залежно від матеріалу, форми та серійності виробництва, виконувати комп’ютерне моделювання з використанням сучасних

програмних продуктів. В даній публікації також розкрито питання сучасних методів: лиття за моделями, що газифікуються, швидкісне охолодження, дефекти виливків тощо. Акцентовано увагу на доцільності впровадження новітніх рішень у навчальний процес як запоруки формування інженерної компетентності.

Виробничі ресурси та технологічне спорядження. У книзі представлено устаткування, інструменти та спорядження, яке використовують у ливарних цехах. Подано конструктивні схеми реалізації процесів. Така структурована подача дозволяє здобувачам опанувати не лише теорію, а й практичні засади технологічного процесу сучасного ливарного виробництва.

Окремо заслуговує уваги подання варіативних технологічних маршрутів – автори показують, як для однієї й тієї ж заготовки може бути застосовано різні способи виготовлення залежно від економічних, технічних та експлуатаційних чинників. Це підкреслює гнучкість мислення, якої вимагає сучасна інженерна освіта.

Тестовий контроль знань і практичне спрямування. Кожен розділ супроводжується тестовими завданнями, що дозволяє здійснювати поточний чи підсумковий контроль або ж самооцінювання в процесі самостійної роботи здобувачів вищої освіти. Завдання укладені з урахуванням вимог Болонського процесу сприяють формуванню компетентностей, логічного мислення, здатності до аналізу та вибору оптимального рішення. Таке поєднання навчального матеріалу з контролем знань робить посібник ефективним інструментом у руках науково-педагогічного працівника та здобувача освіти.

Англомовне викладення та значення для міжнародної співпраці. Особливу цінність видання становить його англомовна форма. Вона забезпечує доступ до знань не лише українським здобувачам освіти, але й здобувачам освіти з числа іноземних громадян, які навчаються в Україні. Більше того, виклад матеріалу англійською мовою з використанням фахової термінології сприяє формуванню мовної інженерної культури, що є неодмінною складовою інтеграції України до Європейського освітнього простору. Здобувачі освіти навчаються працювати з термінами, аналізувати фахову літературу, готувати англомовні проєкти, а також брати участь у міжнародних конкурсах і програмах академічної мобільності.

Підсумок роботи. Навчальний посібник є актуальною працею сучасного освітнього ресурсу, який відповідає запитам інженерної освіти XXI століття. Він гармонійно поєднує наукову цінність, методичну чіткість і практичну доцільність. Англомовне викладення матеріалу посібника дозволяє не лише розширити коло користувачів, а й формує у здобувачів фахову мовну компетентність. В умовах реформування вищої освіти в Україні подібні видання вдосконалюють підходи до організації освітнього процесу у навчальному закладі. Їхнє поширення й впровадження в освітньо-науковий простір є важливим кроком до формування конкурентоспроможного фахівця на міжнародному ринку праці.

Література:

1. Technologies of workpieces manufacturing by casting: manual / V.V. Vasylkiv, L.M. Danylchenko, D.L. Radyk.– Ternopil : Published TNTU named after Ivan Puluj, 2023. – 492 p. ISBN 978-966-305-124-6. URl: https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/42881

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТОЧІННЯ СТАЛЕЙ У ВАЖКИХ УМОВАХ ТЕРМОМЕХАНІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ВАЖКОГО МАШИНОБУДУВАННЯ

[1]Васильченко Я.В., [1]Шаповалов М.В.,[2]Сеник А.А., [1]Григоренко Д.М., [1]Вопельник Р.Г.
([1]ДДМА, м. Краматорськ-Тернопіль, Україна, [2]ТНТУ імені І. Пулюя, м. Тернопіль, Україна)

На сучасному етапі розвитку машинобудування України ключовим завданням є підвищення ефективності обробки високоміцних сталей для деталей відповідального призначення в енергетиці, обороні, важкому транспорті. Одним з перспективних напрямів є використання термостійких інструментальних матеріалів і спеціальних режимів точіння в умовах інтенсивного термомеханічного навантаження різального леза.

Методика, яка представлена в результатах дослідження, передбачає оптимізацію режимів різання, включаючи глибину, подачу та швидкість, з урахуванням термостійкості матеріалу інструменту, теплового потоку в зоні різання, а також в'язкопружних властивостей оброблюваної сталі. На підприємствах важкого машинобудування запропоновані підходи можуть бути реалізовані шляхом адаптації існуючих токарних центрів до роботи з новими поколіннями пластин з багатошаровими зносостійкими покриттями.

Дослідження показали, що застосування рекомендованих режимів дозволяє знизити температурний градієнт на ріжучій кромці до 25–30%, збільшити стійкість інструменту у 1,8–2,3 раза, зменшити рівень вібрацій і підвищити якість поверхні .

Особливу увагу приділено термомеханічній рівновазі процесу.

Ефективна температуру $\theta_{еф}$ в зоні різання враховує тепловий потік, властивості матеріалів та нестаціонарний тепловий режим:

$$Q_{\text{еф}} = \frac{Q}{kA} + \frac{1}{\rho \text{C}p}\frac{dT}{dt}$$

де Q – тепловий потік; k – коефіцієнт теплопровідності; A – площа теплопередачі; ρ – густина матеріалу; C_P – теплоємність; $\partial T/\partial t$ – градієнт температури в часі.

Таким чином, впровадження отриманих результатів у виробничий процес дозволяє підприємствам важкого машинобудування України забезпечити високу якість і ресурс деталей навіть в умовах екстремальних механічних і температурних навантажень.

СИСТЕМА ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ СКЛАДАННЯ ВІСЕСИМЕТРИЧНИХ ДЕТАЛЕЙ

Вислоух С.П, Волошко О.В., Юрковець В.І.
(Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» м.Київ, Україна)

Складання є завершальним етапом виготовлення виробів, що значною мірою визначає його продуктивність. Успішне проектування, високоякісні матеріали, точні складові частини не можуть гарантувати високу якість виробу, якщо складання виконано незадовільно. Надійність виробу і його термін служби також значною мірою залежать від якості складання.

Процеси складання є найменш механізованими та автоматизованими і займають непропорційну частку в загальній структурі трудомісткого виробництва машин і приладів. Складання циліндричних з'єднань в приладобудуванні включають до 40% всіх складальних операцій, тому автоматизація цього процесу є актуальною задачею технології машинобудування.

Такий тип складання застосовується у різних галузях промисловості, таких як складання розподільних валів, фланцеві вузли в автомобільній промисловості, вузли інтегральних мікросхем в електроніці. Такі процеси складання є складними оскільки етапи відносного орієнтування та позиціонування, обмежені траєкторією та складальним зусиллям. Для підвищення її ефективності широко використовуються роботизовані маніпулятори, завдяки їх точності та гнучкості в динамічному середовищі.

Для роботів-маніпуляторів потрібно зорові та силові датчики, щоб відчувати та локалізувати приєднувальну деталь відносно базової. Тому на операцію складання впливає оцінка позиціонування приєднувальної деталі, що показує кутові та орієнтаційні розбіжності між деталями в процесі їх поєднання [1]. Крім того, в залежності від кута нахилу приєднувальної деталі відносно базової, виникають складальні зусилля в точках контакту деталей. Успішне складання залежить від того, наскільки точно керуються складальні зусилля в точках контакту по всій глибині занурення [2].

В роботі [3] розглянуто динамічну модель процесу складання з припущенням, що глибина з’єднання деталей є відомою функцією часу. Швидкість з’єднання розраховується для заданого часу введення, а динамічна

модель розробляється з використанням швидкості складання. Розроблена динамічна модель складання вузла, включаючи такі фактори, як інерція, сила тяжіння, пасивна піддатливість, розташування центру податливості та швидкість з'єднання де представлено вплив сили з'єднання та кута нахилу щодо часу процесу введення [4]. Використовуючи розширену динамічну модель досліджено процес встановлення штифта в отвір, включаючи механіку пружного контакту, що дозволило невеликі деформації у всіх випадках контакту під час складання [5].

Аналіз розглянутих динамічних моделей процесів складання виробів показав, що вони є досить складними, оскільки передбачають виконання значних обчислень з використанням множини параметрів, що включають розміри та матеріал з'єднуваних деталей, їх масу, швидкість складання, глибина вставлення тощо. Крім того, наведені динамічні моделі можуть надавати суперечливі рішення та відрізняються для відповідних значень параметрів. Тому в роботі розглядаються питання створення системи динамічного моделювання процесу складання вісесиметричних деталей, що враховує недоліки розглянутих систем [6]. Розроблювана система передбачає моделювання процесу складання на базі веб-технологій, що включає сучасні інструменти для побудови веб-інтерфейсів: React, Redux, Jest, Mongo DB, three, Chart тощо.

Створювана система має виконувати аналіз віртуального прототипу механічної системи з інтерактивним графічним інтерфейсом на базі React, що дозволяє розробляти великі веб застосунки з використанням даних, які змінюються з часом.

Для опису усіх функцій і модулів використано мову програмування TypeScript, яка надає можливість визначення типів та підтримує використання повноцінних класів як в традиційно орієнтованих мовах програмування.

Моделювання руху маніпулятора, що змінюється в часі, і його регулювання виконується з використанням Redux бібліотеки, яка також зберігає стан приєднувальних деталей в різний момент часу.

Для імітації процесу складання в веб інтерфейсі 3D моделі деталей мають бути спроектовані за допомогою графічних функцій three. Таким чином, отримані моделі деталей і маніпулятора описуються функціями three що імпортуються в середовище React для корегування 3D-моделей за допомого інтерфейсу користувача.

Створення динамічних систем моделювання процесу складання передбачає використання великих баз даних роботів маніпуляторів з їхніми функціями і параметрами, що впливають на точність і надійність складання. Тому для розв'язання поставленої задачі в роботі використовується документо-орієнтована система керування базами даних Mongo DB.

Таким чином, дана робота спрямована на розробку віртуальної веб 3D моделі роботизованого складання типу «вал-втулка» з використанням комплексу бібліотек/фреймворків для спільного моделювання процесу складання вісесиметричних деталей та проведення аналізу складальних зусиль в точках контакту деталей передбачуваного процесом з'єднання.

Результатом дослідження є отримана система імітаційного моделювання процесу складання вісесиметричних деталей.

Література:

1. Юрковець В.І., Вислоух С.П. Кінематичний аналіз процесу складання вісесиметричних деталей // Збірник праць XVIII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених "Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні", 06-07 грудня 2022 р. – К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2022. – 128-133.

2. L.B. Chernyakhovskaya, D. A. Simakov, Peg-in-Hole. Fundamental Principles of a Peg Leaning on a Horizontal Hole Edge, Advances in Science and Technology Research Journal (ASTRL), Adv. Sci. Technol. Res. J. 2017; 11(4)

3. Zohoor,H. and Shahinpoor,M. 1991. "Dynamic analysis of peg-in-hole insertion for manufacturing automation", *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 10, pp 99-108.

4. Trong, D.N. Betemps, M. and Jutard, A. 1995. "Analysis of dynamic assembly using passive compliance", In*Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, (Nayoga, Japan, May 21-27, 1995), pp. 1997-2002, https://doi.org/10.1109/ROBOT.1995.525556

5. Xia, Y. Yin, Y. and Chen, Z. 2006. "Dynamic analysis for peg-in-hole assembly with contact deformation", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 30, pp. 118-128.

6. Юрковець В.І, Вислоух С.П., Антонюк В.С. Моделювання послідовності складання вісесиметричних деталей // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні. Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Techniques in a machine industry: зб. наук.пр. / Нац. техн. Ун-т «Харків. політехн. ін-т». – Харків : НТУ «ХПІ», 2022. – № 2 (6) 2022. – С. 110–116. – ISSN 2079-004X https://doi.org/10.20998/2079-004X.2022.2(6).15

СИСТЕМНІ ПРОБЛЕМИ ЛОГІСТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В ПЕРІОД ВОЄННОЇ АГРЕСІЇ: ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ

Волошина О.О., Дерев'янко С.
(ДДМА, м. Краматорськ - Тернопіль, Україна)

В умовах повномасштабної воєнної агресії проти України логістика стала однією з ключових сфер, що зазнала суттєвих трансформацій і викликів. Руйнування транспортної інфраструктури, блокування маршрутів постачання, дефіцит ресурсів та необхідність оперативного реагування на зміну обстановки призвели до виникнення глибоких системних проблем у логістичному забезпеченні. Логістика в умовах війни виконує не лише економічну, а й критично важливу функцію підтримки обороноздатності держави, забезпечення населення базовими потребами та стабілізації гуманітарної ситуації. Разом із тим, існуючі логістичні моделі, що були сформовані у мирний час, виявилися неготовими до екстремальних умов збройного конфлікту. Це обумовлює потребу в комплексному аналізі як теоретичних засад, так і практичних механізмів логістичного забезпечення в період воєнної кризи.

Мета статті розглянути основні виклики, з якими стикаються суб'єкти логістичної діяльності, виявити вузькі місця в існуючих системах постачання та запропоновати напрями удосконалення логістичних процесів з урахуванням реалій воєнного часу.

Воєнна агресія проти України спричинила масштабні деструктивні процеси в економіці, інфраструктурі та соціальній сфері, що безпосередньо вплинуло на функціонування логістичних систем. Забезпечення безперебійного постачання матеріальних ресурсів, транспортування вантажів, евакуація населення та оперативне реагування на гуманітарні потреби стали критичними завданнями для держави, бізнесу та міжнародних організацій. У цих умовах виявилися системні проблеми логістичного забезпечення, пов'язані з втратою транспортних коридорів, нестачею інфраструктурних потужностей, дезорганізацією ланцюгів постачання та логістичною неготовністю до динамічних змін ситуації, які представлено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Основні системні проблеми логістичного забезпечення в Україні в умовах воєнної агресії

Категорія проблеми	Опис проблеми	Наслідки
Інфраструктурні	Руйнування доріг, мостів, залізничних вузлів, портів і складів	Ускладнення або припинення доставки вантажів, втрата логістичних маршрутів
Організаційно-управлінські	Відсутність єдиного центру координації логістичних операцій	Неузгодженість дій між державними органами, бізнесом і гуманітарними організаціями
Економічні	Зростання вартості перевезень, палива, нестача фінансування	Подорожчання логістичних послуг, зменшення доступності товарів

Технологічні	Недостатнє використання сучасних IT-рішень для управління логістикою	Втрата контролю над ланцюгами постачання, зниження ефективності логістичних процесів
Безпекові	Постійна загроза обстрілів, мінування територій, ризик втрати вантажів	Порушення ланцюгів постачання, втрати товарів, ризики для життя персоналу
Міжнародна логістика	Обмежений доступ до портів, контроль на кордонах, зміни в митному регулюванні	Затримки імпорту/експорту, складність організації транзитних перевезень
Людський ресурс	Мобілізація працівників, міграція, дефіцит кваліфікованих кадрів у галузі	Зниження кадрового потенціалу, порушення роботи логістичних компаній

Удосконалення логістичних процесів в умовах воєнного часу вимагає системного переосмислення підходів до планування, координації та реалізації логістичних операцій. Передусім необхідно забезпечити гнучкість логістичних ланцюгів, здатних оперативно адаптуватися до змін ситуації на фронті та в тилу. Це передбачає використання альтернативних маршрутів транспортування, включаючи тимчасові логістичні хаби, мобільні склади та комбіновані види транспорту. Важливим напрямом є впровадження цифрових рішень, що дозволяють відстежувати переміщення вантажів у режимі реального часу, прогнозувати ризики та приймати обґрунтовані управлінські рішення в умовах обмеженої інформації. Особливу увагу слід приділяти розвитку регіональних логістичних центрів, здатних функціонувати автономно в разі втрати централізованого управління.

Крім того, варто створювати резерви критично важливих ресурсів та відпрацьовувати сценарії швидкої переорієнтації постачання залежно від загроз. Ефективна логістика потребує тісної координації між державними органами, військовими структурами, бізнесом та гуманітарними організаціями, що вимагає налагодження чітких каналів комунікації та механізмів обміну інформацією. З метою підвищення стійкості логістичних систем необхідно також розвивати інфраструктуру в безпечніших регіонах, перенаправляючи вантажопотоки до менш уражених зон. Окрему роль відіграє логістичне навчання та підготовка кадрів, які повинні володіти навичками кризового управління та діяти в умовах підвищеної невизначеності. Загалом, удосконалення логістичних процесів у воєнний період повинно базуватися на принципах адаптивності, технологічності, безперервності та стійкості, що дасть змогу не лише мінімізувати ризики, а й забезпечити функціонування економіки та підтримку населення в умовах затяжного конфлікту.

Література:

1. Міщук І.П. Система логістики торговельного підприємства: напрями та інструменти інноваційного розвитку. Економічні науки. Вісник Хмельницького національного університету 2011, № 6, Т. 2011. С. 182-186.

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПІДШИПНИКІВ КОВЗАННЯ

Віштак І.В., Сорока М.О.
(ВНТУ, м. Вінниця, Україна)

Підшипники ковзання є важливими вузлами тертя у сучасних машинах, що забезпечують стабільність і довговічність їхньої експлуатації. Вони суттєво впливають на точність функціонування виконавчих механізмів та ефективність роботи обладнання загалом. Розробка високоточних і надійних підшипників ковзання залишається актуальним завданням машинобудування, особливо в контексті підвищених вимог до продуктивності, ресурсу й енергоефективності технічних систем. Значна увага дослідників зосереджена на проблемах зносу, зниження коефіцієнта тертя, а також на впровадженні методів комп'ютерного моделювання для аналізу умов експлуатації та оптимізації конструктивних рішень. Сучасні підходи до розрахункової оцінки параметрів підшипників і розв'язання контактних задач відкривають нові можливості для підвищення їх надійності. Успішне вирішення зазначених питань є ключем до підвищення технічного рівня машин і механізмів, що працюють у складних експлуатаційних умовах.

Метою роботи є аналіз сучасних методів проєктування і оцінювання підшипників ковзання, виявлення основних чинників, що впливають на їх зносостійкість і ефективність роботи, а також обґрунтування напрямів удосконалення конструкцій з урахуванням новітніх інженерних та цифрових підходів.

Підшипники ковзання відіграють ключову роль у забезпеченні надійної та довговічної роботи сучасних машин, оскільки вони відповідають за точність виконавчих рухів робочих органів. Розробка та дослідження високоточних і надійних підшипників ковзання є важливою інженерною задачею, зокрема в контексті зменшення зносу та зниження коефіцієнта тертя.

Вчені активно вивчають нові матеріали та покриття для підшипників, які можуть зменшити тертя та підвищити зносостійкість. Наприклад, використання композитних матеріалів та наноструктурованих покриттів показало обнадійливі результати у зменшенні зносу.

Застосування методів чисельного моделювання, таких як метод скінченних елементів, дозволяє точно прогнозувати поведінку підшипників під різними

навантаженнями та умовами експлуатації. Це сприяє оптимізації конструкції та вибору матеріалів [1].

Дослідження контактних напружень та деформацій у зоні контакту підшипника з валом є критично важливими для запобігання передчасному виходу з ладу. Розробка аналітичних та чисельних моделей допомагає виявити критичні зони та вдосконалити конструкцію підшипників [2].

Ці напрямки досліджень спрямовані на підвищення ефективності та довговічності підшипників ковзання, що, в свою чергу, покращує загальну продуктивність машин і механізмів [1-3].

Новизна полягає в інтеграції чисельних методів (метод скінченних елементів) із сучасними підходами до вибору матеріалів і змащувальних технологій для підвищення точності прогнозування ресурсу підшипникового вузла. Крім того, досліджено вплив наноструктурованих покриттів на зниження контактних напружень у зонах тертя, що раніше не було систематизовано в контексті довготривалої експлуатації.

Підшипники ковзання є критичними елементами машин, що визначають точність, стабільність і довговічність їх функціонування. Основними факторами, що впливають на ефективність роботи підшипників, є знос, коефіцієнт тертя, матеріал конструктивних елементів і умови змащування. Комп'ютерне моделювання, зокрема метод скінченних елементів (FEM), дозволяє точно аналізувати робочі навантаження та прогнозувати поведінку вузла в експлуатації. Використання наноструктурованих покриттів та композитних матеріалів значно знижує тертя та знос, збільшуючи ресурс підшипників. Наукова новизна дослідження полягає в інтеграції цифрових методів аналізу з експериментальними підходами до вибору матеріалів і технологій змащування, що дозволяє обґрунтовано вдосконалювати конструкції підшипників ковзання.

Література:

1. Chuchu Ma, Tianyang Li, Youyuan Wang, Yao Zhang, Qian Cao, Xiaolong Gong, Xian Zeng, Xudong Cheng, Kai Liu, Tribological behavior and mechanism of high-temperature self-lubricating wear-resistant composite coatings on 3D-printed SiC ceramic surfaces. *Journal of the European Ceramic Society*. 2025. Vol. 45, Issue 13. P. 117473. ISSN 0955-2219. https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2025.117473

2. Subramanian, Baskar & Sriram, G. & Arumugam, S.. (2016). Tribological Analysis of a Hydrodynamic Journal Bearing Under the Influence of Synthetic and Biolubricants. *Tribology Transactions*. 2016. 60. 1-36. https://doi.org/10.1080/10402004.2016.1176285

3. Du F, Li D, Sa X, Li C, Yu Y, Li C, Wang J, Wang W. Overview of Friction and Wear Performance of Sliding Bearings. *Coatings*. 2022; 12(9):1303. https://doi.org/10.3390/coatings12091303

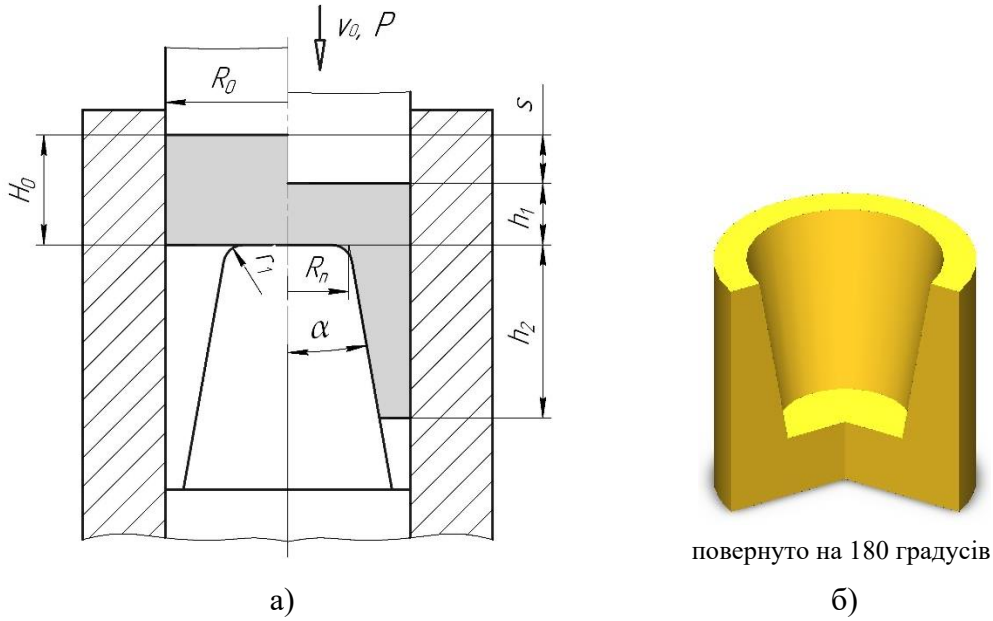
ВПЛИВ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ІНСТРУМЕНТА НА ЗУСИЛЛЯ ПРЯМОГО ВИДАВЛЮВАННЯ СТАКАНУ З КОНІЧНОЮ ПОРОЖНИНОЮ

Грановський А.Є., Чучин О.В.
(ДДМА, м. Краматорськ-Тернопіль, Україна)

У сучасному машинобудуванні дедалі більшого значення набувають процеси виготовлення деталей з конічною порожниною з мінімальними енергетичними затратами та високою точністю геометричних параметрів. Одним із перспективних методів є холодне видавлювання [1-3]. Теоретичне дослідження таких процесів дає змогу не лише зменшити кількість експериментів, а й оптимізувати технологічні параметри для забезпечення якості готового виробу.

Метою роботи є чисельне моделювання процесу прямого видавлювання деталей з конічною порожниною в програмі QForm. Було досліджено вплив ходу активного верхнього пуансона та геометричних параметрів нижнього пуансона (радіуса меншої основи нижнього пуансона $R_п$, кута нахилу нижнього пуансона α та радіуса закруглення меншої основи нижнього пуансона r_1) на зусилля процесу видавлювання.

Схему прямого видавлювання і деталь після видавлювання (деталь з третинним вирізом повернута на 180 градусів) приведено на рис. 1.



а) б)

Рис. 1. Схема прямого видавлювання (а) і деталь з конічною порожниною після видавлювання (б)

У всіх теоретичних розрахунках використовувалися заготовки з матеріалу АМц з однаковими геометричними параметрами (радіус $R_0 = 65$ мм, висота $H_0 = 60$ мм), радіус верхнього пуансону, радіус отвору в матриці та радіус заготовки при цьому однакові і дорівнюють 65 мм. Хід верхнього пуансона s

становив 40 мм тому товщина днища стакану $h_1 = 20$ мм постійна величина. Це забезпечило сталість вхідних умов для кожного з досліджуваних випадків.

Результати дослідження впливу ходу верхнього пуансона та геометричних параметрів нижнього конічного пуансону на зусилля видавлювання стакану з конічною порожниною приведено на рис. 2.

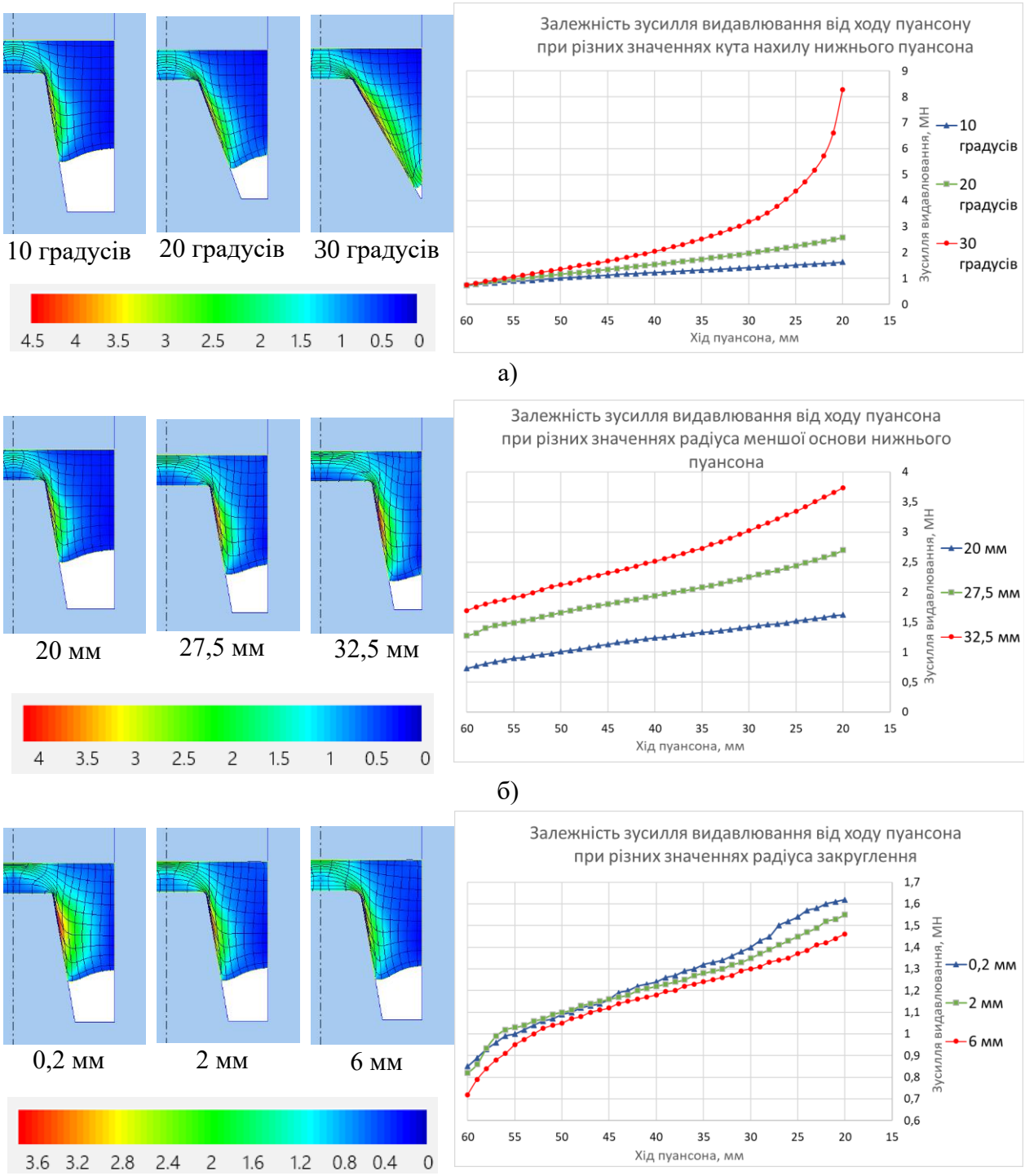


Рис. 2. Розподілення ступеня деформації і графіки зусилля прямого видавлювання стакану від ходу верхнього пуансона при різних значеннях геометричних параметрів нижнього пуансона: кута нахилу (а), радіуса меншої основи (б), радіуса закруглення (в)

В дослідженні впливу кута нахилу α нижнього пуансона на зусилля видавлювання кут α змінювався від 5 до 30 градусів (постійними значеннями при цьому були радіус меншої основи $R_п = 20$ мм і радіус закруглення меншої основи $r_1 = 2$ мм нижнього пуансона). На графіку (рис. 2, а) наведено криві, що відповідають куту нахилу у 10, 20 і 30 градусів.

При вивченні впливу радіуса меншої основи $R_п$ нижнього пуансона на зусилля видавлювання радіус змінювався від 20 до 32,5 мм (постійними значеннями при цьому були кут нахилу $\alpha = 10$ градусів і радіус закруглення меншої основи $r_1 = 2$ мм нижнього пуансона). На графіку (рис. 2, б) наведено криві, що відповідають радіусу пуансона у 20, 27,5 і 32,5 мм.

При аналізі впливу радіуса закруглення меншої основи r_1 нижнього пуансона на зусилля видавлювання радіус закруглення змінювався від 0,2 до 10 мм (постійними значеннями при цьому були радіус меншої основи $R_п = 25$ мм і кут нахилу $\alpha = 10$ градусів нижнього пуансона). На графіку (рис. 2, в) приведено криві, що відповідають радіусу закруглення у 0,2, 2 і 6 мм.

Аналіз отриманих результатів теоретичних розрахунків в QForm дозволив сформулювати наступні висновки: зі збільшенням ходу верхнього пуансона, кута нахилу, радіуса меншої основи нижнього пуансона і зменшенням радіуса закруглення меншої основи нижнього пуансона деформуюче зусилля зростає через збільшення величини ступеня деформації всередині заготовки, яку деформуємо (більше викривлення ділильної сітки і збільшення розмірів ділянок з більшими значеннями деформації). Натомість збільшення радіуса закруглення меншої основи нижнього пуансона призводить до зменшення зусилля деформації.

Отримані результати є підґрунтям для оптимізації геометричних параметрів інструменту з метою зменшення деформуючих зусиль і покращення якості готової продукції.

Література:

1. Kaliuzhnyi V., Alieva L., Yarmolenko O., Sytnyk S. Hot extrusion of high carbon steel cone hollow products. Mechanics and Advanced Technologies. 2022, 6 (3). pp. 302-308.: https://doi.org/10.20535/2521-1943.2022.6.3.269897

2. Сабол С.Ф., Піманов В.В., Коробка Є.В., Комбіноване холодне видавлювання конічної порожнистої заготовки для виробу спеціального призначення. Вісник РТУ «ХПІ». 2014. (1133). С. 103-107.

3. Калюжний О.В., Піманов В.В., Савчук І.М. Розрахунковий аналіз холодного зворотного видавлювання конічних порожнин. Вісник НТУУ «КПІ». 2010. Серія Машинобудування. (60). С. 64-67.

ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ НА ОСНОВІ АСИМЕТРИЧНОГО ПРОФІЛЮ

Грицай І.Є., Вергун В.А.
(Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна)

Надійність усіх видів машин значною мірою визначається якістю передач, які входять до їх складу, а з їх багатьох механічних компонентів – валів, підшипників, муфт, втулок, корпусів тощо найбільший вплив на довговічність та безвідмовність мають зубчасті колеса та шестірні. Особливістю сучасних приводів машин є зростанням навантажень і швидкостей передач, що означає, що вони повинні бути одночасно і силовими, і швидкісними. Ці обставини висувають до передач додаткові вимоги, коли до традиційних параметрів довговічності та безвідмовності долучають необхідність зменшення рівня звукового тиску при роботі.

Протягом останніх десятиліть в галузі зубчастих передач сформувався новий напрямок покращення експлуатаційної їх якості – використання коліс з асиметричним профілем зубців. Геометрію асиметричних зубчастих коліс утворюють на основі початкового контуру і зубчастої рейки з різними кутами зачеплення по лівих і правих профілях. Таке рішення дало змогу збільшити радіус кривизни профілю, зменшити контактні напруження і напруження в основі ніжки зубців, збільшити їх міцність та підвищити опір циклічній втомі. Одночасно, менша інтенсивність удару і швидкість ковзання в таких передачах зменшує шум при їх роботі. Цій темі посвячені багаточисельні публікації, в яких вирішуються задачі аналізу і порівняння симетричних та асиметричних зачеплень, проектування циліндричних прямо- та косозубчастих і конічних коліс, оптимізація їх конструкції, технологія та метрологія, проте, відомі дослідження стосуються лише евольвентних коліс. Разом з тим, існує інший вид передач, а саме - синусоїдальні передачі. Дослідження синусоїдального зачеплення, проведені у Львівській політехніці показали, що навіть без модифікації профілів синусоїдальні колеса мають такі ж параметри надійності, як евольвентні з асиметричним профілем [1, 2].

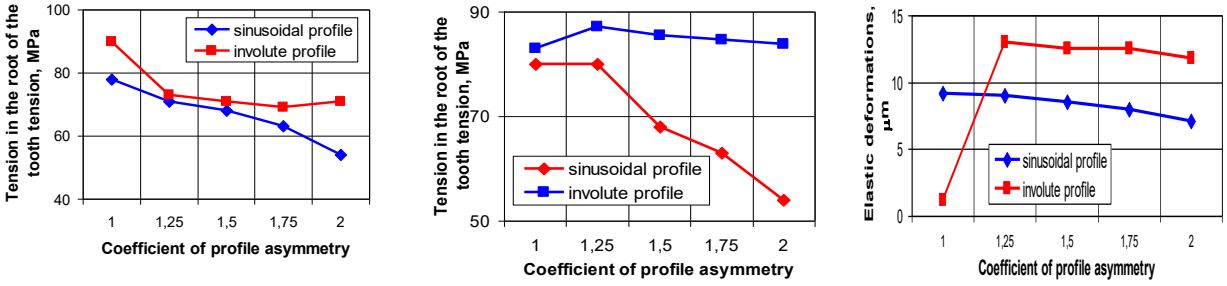
В цих умовах постало ***завдання*** вияснити, як змінюються показники експлуатаційної якості синусоїдального зачеплення на основі асиметрії профілів. Виходячи з цього була поставлена задача дослідити синусоїдальні асиметричні колеса, виявити їх переваги та можливості з ***метою*** практичного використання для підвищення надійності передач і приводів машин.

Результати досліджень.

Для порівняння синусоїдальної і евольвентної зубчастих передач з асиметричними профілями проведено дослідження методом твердотільного моделювання з використанням програми SolidWorks. Встановлювали, як впливає зміна кута зачеплення $\alpha\omega$ по одній з систем профілів на параметри для кутів 20^0, 25^0, 35^0 та 40^0 (коефіцієнти асиметрії, відповідно 1, 1.25, 1.75, 2). Аналізувалися напруження в корені зубців, їх пружні деформації та контактні напруження для

таких даних: модуль 5 мм, відповідна величина ексцентриситету синусоїдального колеса 6,87 мм; кількість зубців 20; ширина вінця 40 мм; матеріал - легована сталь 30ХМА: міжа міцності 900–1100 МПа, межа плинності 700–850 МПа; твердість HRC 32 -35; окружна сила на зовнішньому діаметрі 154 Н, крутний момент 20 Нм.

Результати досліджень демонструють графіки (рис.1, а і б), на яких показано зміну напружень в основі евольвентних і синусоїдальних коліс залежно від коефіцієнта асиметричності, а також пружні деформації зубців під дією окружного моменту (рис.1, в). Встановлено, що синусоїдальні профілі виявилися ефективнішими за всіма досліджуваними параметрами.



а б в

Рис.1. Напруження в основі зубців з боку асиметрії та прикладення сили (а) та з протилежного боку (б) для різних коефіцієнтів асиметричності та пружні деформації

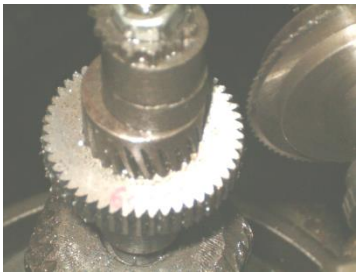
Технологія виготовлення зубчастих коліс з асиметричними зубцями.

Переваги коліс з асиметричним профілем значною мірою нівелюються внаслідок ускладнень, які виникають в традиційних технологіях зубооброблення і які стосуються інструменту та збільшення витрат на виробництво. Як в низькопродуктивному методі копіювання, так і в методі обкочування необхідні спеціальні дороговартісні профільні інструменти, при цьому для кожного модуля і для певної величини асиметрії інструмент повинен бути різний. В той же час, у Львівській політехніці розроблено радіально-коловий метод зубонарізання, який, як і черв'ячне зубофрзерування належить до методів неперервного генерування. Тут різання здійснюється тонкою дисковою фрезою, встановленою на зубофрезерному верстаті замість черв'ячної фрези з ексцентриситетом (рис.2, а). Нарізання асиметричних коліс (рис.2, б і в) цим методом зводиться до того, що фрезу достатньо змістити в її осьовому напрямку на інструментальній поправці на величину, яка рівна асиметричності профілю. Отже, одним і тим же дешевим інструментом можна нарізати як колеса з різним модулем, змінюючи ексцентриситет, так і колеса з різною асиметрію зубців при осьовому зміщенні фрези, тобто, цей метод є найбільш ефективним, універсальним і вимагає найменше витрат на виготовлення зубчастих коліс з найширшим діапазоном їх параметрів.

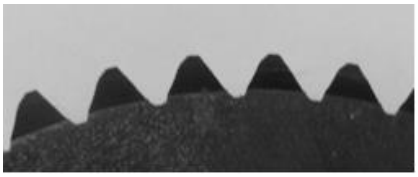
Висновки:

Результати досліджень показують, що, в порівнянні з асиметричними евольвентними синусоїдальні колеса з асиметричним профілем мають параметри, які забезпечують вищу надійність. Це означає, що їх використання в нереверсивних приводах буде мати істотний ефект за довговічністю та

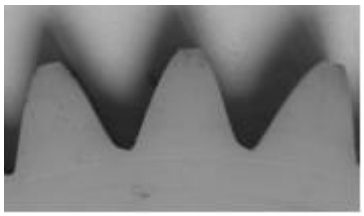
безвідмовністю і дасть змогу зменшити витрати на обслуговування та ремонт. Зокрема, зменшення напружень в корені зубців асиметричних синусоїдальних коліс з боку дії навантаження на 12 -15%, та на 35% з протилежного боку показує, що колеса з цим видом зачеплення мають вищу навантажувальну здатність і краще будуть протидіяти цикловим навантаженням. Внаслідок цього можна зменшити розміри та масу редукторів і скринь швидкостей, що важливо для мобільних машин.



а



б



в

Рис. 2. Нарізання асиметричного зубчастого колеса радіально-коловим методом (а) та асиметричні зубчасті колеса, нарізані однією дисковою

В цих нереверсивних передачах зубці при вході і виході з зачеплення зі спряженим колесом або шестірнею, що відбувається з частотою обертання колеса, теж піддаються цикловому навантаженню. Зменшення напружень в корені синусоїдальних асиметричних зубців, разом зі зменшенням їх пружних деформацій забезпечують вищий опір цикловій втомі, а також забезпечує плавність роботи приводу, зменшуючи вірогідність механічних пошкоджень. Крім того, внаслідок вищої жорсткості таких зубців і меншою амплітудою пружних деформацій при роботі таких передач буде виникати менший шум.

Як показують результати моделювання, усі досліджувані параметри покращуються при збільшенні кута зачеплення і коефіцієнта асиметричності. При використані традиційних технологій (копіювального або обкочувально зубофрезерування) вибір цього параметра обмежується можливостями конструювання і створення інструменту з відповідним кутом профілю вихідного профілю. В той же час, в радіально-коловому методі це досягається простим зміщенням дискової фрези вздовж її осі на відповідну величину.

Значні напруження на поверхнях зубців можуть призводити до виникнення дефектів - тріщини та відшарувань на поверхнях зубців, тому зменшення контактних напружень в асиметричних зубчастих зачепленнях дозволяє уникнути передчасного зношування та позитивно впливає на надійність передач.

З технологічної точки зору оптимальним способом отримання коліс з заданою (максимальною) величиною асиметрії профілів є радіально-коловий метод зубонарізання, який передбачає найпростіший різальний інструмент без будь-якої корекції та забезпечуємінімальні витрати на виготовлення таких коліс.

Література: 1. Ihor E. Hrytsay. Sinusoidal Gears and Alternative Method of Tooth Generation.In: Advances in Gear Theory and Gear Cutting Tool Design, Springer, 2022, pp. 233-254. https://doi.org/10.1007/978-3-030-92262-7.

2. Грицай І.Є., Благут Е.М., Яворський В.З. Синусоїдальні зубчасті колеса та новий ефективний метод їх виготовлення // УИЦ «Наука. Техника. Технологя». К., 2004. С. 47-50.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ НАРІЗАННЯ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС ВНУТРІШНЬОГО ЗАЧЕПЛЕННЯ РАДІАЛЬНО-КОЛОВИМ МЕТОДОМ

Грицай І.Є., Столяр Б.Т.
(Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна)

Зубчасті колеса та зубчасті передачі є важливими складовими більшості сучасних машин та механізмів, які на найближчу і віддалену перспективу не втратять свого значення для машинобудування. Про це свідчать те, що за результатами аналізу ринку вкладення у виробництво зубчастих коліс і передач у 2026 році будуть обчислятися сумою у понад $210 млрд, при цьому за даними (*Global Gear Technology Market by Technology by Geographic Scope and Forecast; Verified Market Research, USA, 2021*) ці обсяги щороку збільшуються на 4 – 6%. Такі тенденції спонукають науковців та виробничників до пошуку нових видів зубчастих зачеплень, технологій та методів зубооброблення.

Одним із перспективних напрямків удосконалення приводів і передач сучасних машин стали синусоїдальні колеса та передачі, в яких профіль зубців описано не евольвентою, а синусоїдою. Ці передачі, розроблення та дослідження яких проводяться у Львівській політехніці, починаючи з 2003 року, набувають поширення в закордонній практиці та стають предметом все ширших досліджень завдяки значним їх перевагам порівняно з традиційними видами зачеплень, а проблемам їх дослідження, проектування та виготовлення таких коліс і передач, які отримали назву S-колеса («S-gears»), або косинусні колеса («Cosine gear») присвячено багаточисельні публікації.

Разом з тим відомі дослідження стосуються лише зовнішніх коліс, хоча, як відомо, у практичному застосуванні значно ефективнішими є планетарні зубчасті передачі. Редуктори і скрині швидкостей на базі коліс внутрішнього зачеплення є компактнішими, менш матеріаломісткими, що особливо важливо для мобільного транспорту – гелікоптерів, літаків, автомобілів, залізничних локомотивів тощо.

Інша проблема полягає в технології, яка здатна забезпечити ефективне виготовлення зубчастих коліс, зокрема з внутрішніми зубцями. У наш час удосконалюються традиційні методи зубооброблення, такі, як черв’ячне зубофрезерування та зубодовбання (для планетарних коліс) і створюють нові технології, серед яких найбільш прогресивною є Power Skiving. Призначений початково для нарізання внутрішніх коліс малих модулів для заміни зубодовбання, цей метод тепер поширений на виготовлення зовнішніх коіс і коліс великих модулів. Проте, поряд із значними перевагами, йому властиві недоліки: значні сили різання і ударні вантаження на кожному ході при врізанні, обмеження глибини різання і осьової подачі, значна кількість проходів. Крім того, через велику швидкість різання обмеженою є стійкість Skiving інструментів.

Цих недоліків не має радіально-коловий метод (РКМ), який розробляють у Львівській політехніці потягом тривалого часу. Використання тонкої дискової

фрези замість складних і дорогих черв'ячних фрез, або Skiving-різців, і стандартного зубофрезерного обладнання робить цей метод універсальним та високоефективним. Особливе значення РК-метод набуває завдяки його можливості виготовлення планетарних коліс (рис.1), у цьому випадку можна досягти значного скорочення витрат на інструментальне забезпечення та обладнання, забезпечивши універсальність та гнучкість, мінімальний час перелаштування технології в умовах частої зміни продукції, що характерне для сучасного машинобудування.

Виходячи з цього, ***метою досліджень*** було створення теоретичних засад процесу нарізання планетарних зубчастих коліс радіально-коловим методом.

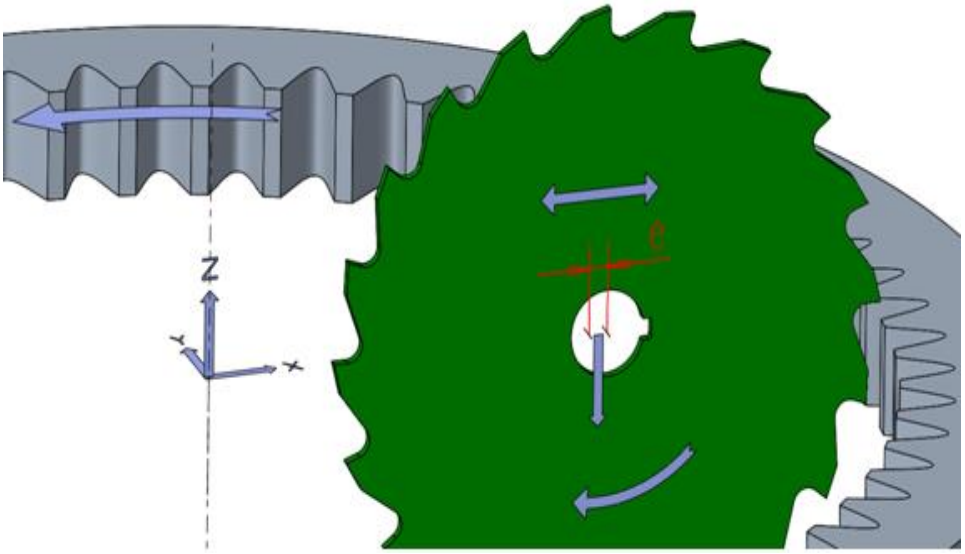


Рис.1. Нарізання внутрішнього колеса дисковою фрезою радіально-коловим методом

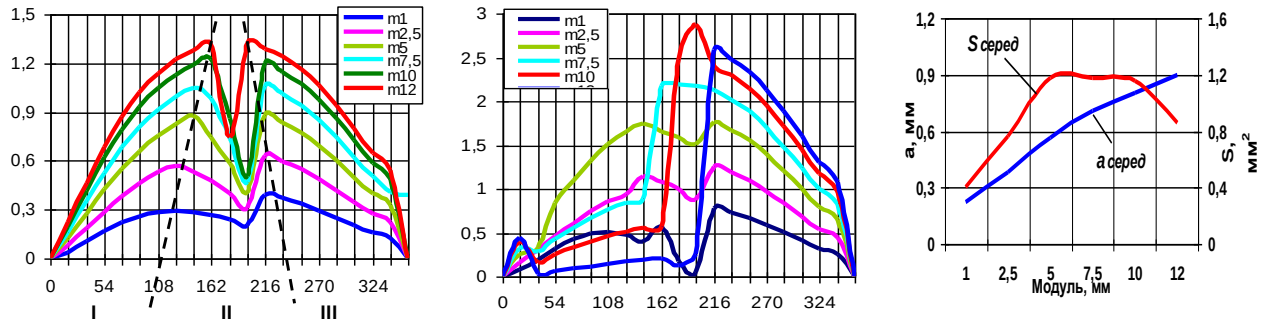
Результати досліджень.

Процес нарізання зубчастих коліс розглядаємо як сукупність взаємозв'язаних і взаємообумовлених дій і явищ, що розвиваються у певній послідовності та здійснюються такими етапами: моделювання параметрів зрізів і 3D моделі стружки → визначення інтенсивності пластичного деформування → аналіз сили різання → моделювання пружних деформацій і вібрацій → вивчення точності обробки і якості зубчастих поверхонь → дослідження тертя і теплових процесів → прогнозування інтенсивності зношування і безвідмовної роботи інструменту → вирішення зворотної задачі технологічного проектування, а саме - вибір та оптимізація параметрів, які визначають ефективність технологічного процесу виготовлення зубчастих коліс. При такому підході вивчення процесів та явищ, що становлять суть процесу різання в даному методі оброблення і формоутворення розглядається як системна і комплексна проблема, в основі вирішення якої покладено параметри поперечного перерізу зрізів.

Складність моделювання радіально-колового методу полягає в тому, що він належить до методів неперервного обкочувального зубонарізання і відбувається з неперервною та періодичною зміною параметрів зрізів та усіх чинників, які випливають з умов стружкоутворення. Розглядаючи цей процес в послідовних

дискретних положеннях різального клину кожного зубця інструменту по куту його повороту, створено графоаналітичну модель формування зрізів та визначення їх параметрів. Зокрема, на рис.2 наведено результати моделювання площі поперечного перетину і товщини зрізів дискової фрези при нарізанні внутрішніх коліс модулем від 1 мм до 12 мм (число зубців колеса 60, фрези 20, осьова подача 2 мм/об., різання за один прохід). Отримані закономірності та кількісні параметри дають основу для подальших досліджень, відповідно до наведеного вище алгоритму.

На основі розроблених моделей та отриманих з них даних можна встановити особливості процесу нарізання планетарних зубчастих коліс радіально-коловим методом, які впливають на проектування технології, розрахувати і передбачити силу різання, теплоту і температуру, їх вплив на точність обробки, інтенсивність зношування інструменту та витрати енергії. Наприклад, з закономірності площі зрізів виходить, що максимальна сила різання та крутний момент на осі фрези будуть виникати в ділянках, близьких до ділильного діаметру, ці параметри визначать ефективну потужність різання. У ділянці ділильного діаметру в часі збільшення ексцентриситету і глибини різання тонка дискова фреза буде зазнавати дії бокового зусилля, що викличе її підвищені пружні деформації та вібрації і вплине на точність нарізуваних коліс і шорсткість зубців.



а б в

Рис.2. Площа зрізів (а) і товщина зрізів (б) в процесі нарізання планетарних коліс модулем 1 – 12 мм в залежності від кута повертання фрези та закономірності їх зміни по модулю (в)

З умови стійкості фрези найбільш несприятливі умови різання будуть на ділянці максимального ексцентриситету. Зубці на цій частині фрези зрізають стружки мінімальної товщини, а частина припуску зминається в основу дна впадини, що буде викликати підвищене абразивне зношування по задній поверхні зубців і зміцнення поверхні різання для наступних по діаметру зубців інструменту.

Призначенням на основі отриманих даних відповідних параметрів фрези – її товщини і кількості зубців, матеріалу і покриття фрези, вибором осьової подачі, швидкості різання і кількості проходів, можна звести до мінімуму вплив негативних чинників і забезпечити раціональні умови протікання процесу різання-формоутворення та задовільні техніко-економічні показники даного процесу.

ЕКОНОМІЧНІСТЬ РОЗРАХУНКІВ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ВЛАСТИВОСТЕЙ БЕЗПОВІТРЯНОГО КОЛЕСА

Демчук І.Б., Зінько Р.В.
(Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна)

Безповітряні шини стають все більш актуальними як альтернатива традиційним пневматичним шинам, оскільки пропонують низку переваг, таких як підвищена стійкість до проколів, менше необхідності в обслуговуванні та потенційне зниження витрат палива [1,2]. Це особливо актуально для технологічних машин, оскільки значна їх частина оснащена колісними рушіями [3]. Такі рушії мають ряд переваг, проте головною проблемою є можливість їх ушкодження, внаслідок чого колесо вимагає довгого і дорогого ремонту, а техніка часто простоює, що знижує її ефективність.

Актуальними є дослідження безповітряних шин з еластичних полімерних матеріалів з метою визначення умов безпечної їх експлуатації. При цьому важливим є співвідношення між часом розрахунку та точністю отриманих результатів.

В середовищі Solidworks розроблена модель безповітряного колеса з радіальними шпицями загальним об’ємом поліуретану в 2 літри. Дана форма зумовлена з міркувань простоти виготовлення матриці та виливки [4,5]. При заданих навантаженнях і геометрії колеса отримано попередні результати розрахунку на міцність та переміщення. При проведенні таких досліджень важливим є співвідношення між часом розрахунку та точністю отриманих результатів.

Співвідношення між часом розрахунку та точністю отриманих результатів є складним. Загалом, збільшення часу розрахунку дозволяє досягти більшої точності, але цей приріст може бути не лінійним, і додатковий час може не завжди приносити пропорційне покращення. На точність також впливають інші фактори, такі як обчислювальні потужності, методи розрахунку та якість вхідних даних.

Збільшення часу розрахунку дозволяє використовувати більш складні та точні алгоритми, проводити більше ітерацій, включати більше даних тощо. Це може призвести до більш точних результатів, але не завжди у прямо пропорційній залежності.

Наявність потужніших комп'ютерів та обладнання дозволяє виконувати складні розрахунки швидше та ефективніше, зменшуючи час, необхідний для досягнення бажаної точності.

Вибір алгоритму та методу розрахунку значною мірою впливає на точність і час. Наприклад, деякі алгоритми можуть бути дуже точними, але потребують великої кількості часу, тоді як інші можуть бути швидшими, але менш точними.

Навіть найскладніші алгоритми та найбільші обчислювальні потужності не зможуть забезпечити високу точність, якщо вхідні дані будуть неточними або неповними.

Граничні умови та сітка деталі моделювали навантаження досліджуваного колеса.

Сітка повинна мати достатню якість для відповідної точності розрахунків. Співвідношення сторін є одним із важливих показників якості сітки. Тобто трикутні грані елементів сітки мають знаходитися якомога ближче до рівносторонніх трикутників. Витягнуті елементи з великим співвідношенням сторін (більшим трьох) понизять точність моделювання.

Також сітка повинна мати достатню деталізацію для обрахунку дійсного максимального напруження.

Необхідно дотримуватися певного компромісу між видаленням елементів для покращення якості сітки та їх збереженням для дотримання точності результатів.

Для визначення пікового напруження в межах концентрації напружень доцільно застосовувати метод скінчених елементів для визначення поля напружень, яке охоплює концентрацію напружень. Далі необхідно розраховувати фактичне пікове напруження з використанням аналітичних методів. Для обрахунку характеристик та умов навантаження використовуються довідники [6,7].

Даний аналіз був проведений на чорновій сітці з невеликою кількістю полігонів, тому є не точним, але разом з тим зайняв мало часу – 2 хв.

Був проведений аналіз на сітці високої якості з середньою і максимальною кількістю полігонів для порівняння результатів (рис. 1). Результати проведеного аналізу представлено в таблиці.

З графіка рис. 1 можна побачити, що при збільшені часу в 9,5 рази результати змінюються в більшу сторону, по напруженнях в 4,8 рази, а по переміщеннях в 3,6 рази. Отже, можна оптимізувати на часі в розрахунках майже в 10 разів, домножуючи отримані результати на коефіцієнти kн=4,8 і kп=3,6.

Таблиця 1 – Аналіз якості отриманої якості проведених розрахунків

Якість сітки	Час розрахунку, хв.	Напруження макс., МПа.	Переміщення макс., мм.
Чорнова, мінімальна кількість полігонів	2	0,42	9,4
Висока, середня кількість полігонів	13	1,8	32,5
Висока, максимальна кількість полігонів	19	2	34

Висновки. Існує компроміс між часом розрахунку та точністю. Збільшення часу може покращити точність, але не завжди у пропорційній мірі.

Обчислювальні потужності, вибір алгоритмів та якість даних також впливають на точність і час розрахунку. Не завжди більша точність є необхідною, і компроміс між точністю та часом може бути прийнятним у конкретних випадках. При збільшенні точності розрахунків тенденція зміни деформації зберігається, хоча не настільки виражена. Отже, можна проводити аналіз на сітці чорнової якості, збільшуючи результат на коефіцієнти kн, kп. Такий підхід дозволяє на стадії проектування попередньо оцінити ефективність форми колеса, підібрати оптимальнішу форму з врахуванням об'єму поліуретану та складності геометричної форми виготовлення матриці з оптимальним використанням часу на дослідження.

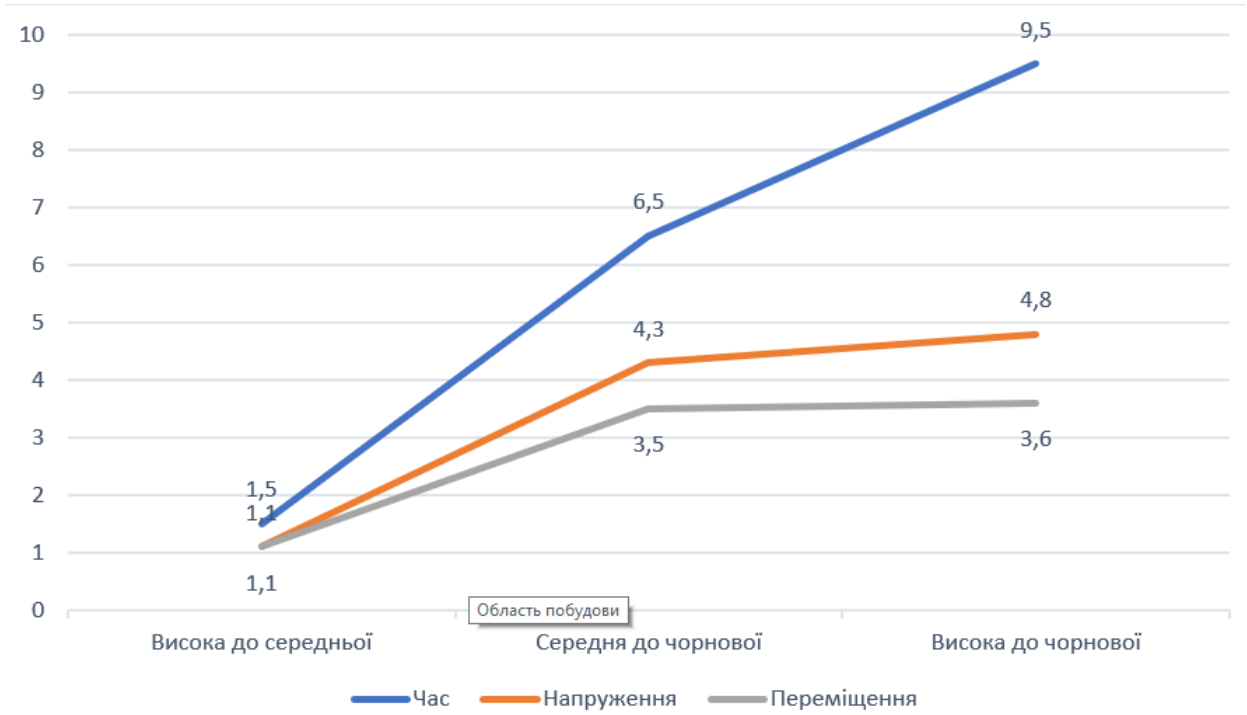


Рис. 1. Співвідношення часу розрахунку і точності отриманих результатів

Література. 1. Yaoji Deng, Zhiyue Wang, Hui Shen, Junjie Gong, Zhen Xiao. A comprehensive review on non-pneumatic tyre research. Materials & Design 227 (2023). 23 pages. **2.** Harri Hankin, Jessica Gagen, William Peters, Aimee Crann, Yao Chen, Samer Fares, Pooya Sareh. Airless tires: Structural concepts, mechanical design, and application prospects. Materials & Design 253 (2025). 21 pages. **3.** Libin Rajan, Shobith Nambiar, C. Ayyanar, Akash Verma and S. Subhash Raj, "Design and Comparative Analysis of NonPneumatic Tires for a Tractor", International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE) ISSN: 2278-3075, Volume-8 Issue-7 May 2019. **4.** Зінько Р. В., Глобчак М. В., Демчук І. Б. Виготовлення безповітряного колеса з еластичного поліуретану // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем: матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції (Чернігів, 25–26 травня 2023 р.): у 2 т. – 2023. – С. 201–202. **5.** Roman Zinko, Oleh Polishchuk, Igor Demchuk, Olexsandr Shpak, Joanna Wilczarska Research on a tubeless tire for a mobile robot. Matec web of conferences 20th international conference diagnostics of machines and vehicles "Hybrid multimedia mobile stage". Bydgoszcz-poledno, Poland, December 1-2, 2023 Volume 375 (2023). Pp. 1-11. https://doi.org/10.1051/matecconf/202337501002. **6**. Roark's Formulas for Stress and Strain. 9th Edition, 2020. 928 pages. 7. Walter D. Pilkey, Deborah F. Pilkey, Zhuming Bi. Peterson's Stress Concentration Factors, 4th Edition, 2020. 640 pages.

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ЧАСТОТНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ПРИВОДУ МЕХАНІЗМУ ПОВОРОТУ БАШТОВОГО КРАНА

Дорохов М.Ю., Максимов Д.Є.
(ДДМА, м. Краматорськ - Тернопіль, Україна)

Активне житлове та комерційне будівництво ставить нові вимоги перед вантажопідйомними машинами. Перехід до компактної висотної забудови обмежує застосування кранів з механізмами пересування, залишаючи лише можливість використання обертових пристроїв із максимальним збільшенням робочого радіусу.

Для реалізації цих вимог у конструкції та механізмах баштових кранів необхідно провести ряд змін. Для підвищення висотності в цілому достатньо збільшити кількість набірних секцій башти, а також врахувати навантаження на грунт.

Збільшення робочого радіусу зі збереженням вантажопідйомності на максимальному вильоті вимагатиме збільшення кількості секцій стріли та їх посилення, а також збільшення противаги та консолі. Все це призведе до підвищення навантажень на опорно-поворотний механізм як у статичному положенні, так і під час виконання операції повороту. Очевидно, що зростання маси елементів стріли і противаги призведе до того, що привід механізму повороту не зможе виконувати свою функцію, або виконуватиме її менш ефективно. Також зростання маси елементів крана призведе до збільшення точкових навантажень на опорно-поворотний пристрій в цілому. Через габаритні обмеження просте масштабування приводу повороту застосувати важко, а також, це може призвести до порушення вимог охорони праці та техніки безпеки. Вирішення задачі можливе за рахунок встановлення на опорно-поворотне коло двох, або декількох, приводів механізму повороту.

Використання такої схеми вирішить задачу потужності приводу, при цьому додасть й запасу потужності. Точкові навантаження на опорно-поворотне коло можуть бути зменшені та розподілені між зубчастими колесам приводів повороту.

Суттєвим недоліком використання двох, або декількох, механізмів повороту є питання синхронізації роботи електродвигунів. Несинхронне включення двигунів може призвести до ривків при пуску, збільшеному зносу обладнання опорно-поворотного механізму, а також перевантаження одного з двигунів.

Для синхронізації схеми з двома двигунами можливе застосування частотного перетворювача, який буде управляти швидкістю і моментом обертання асинхронного (або синхронного) електродвигуна шляхом зміни частоти і амплітуди напруги.

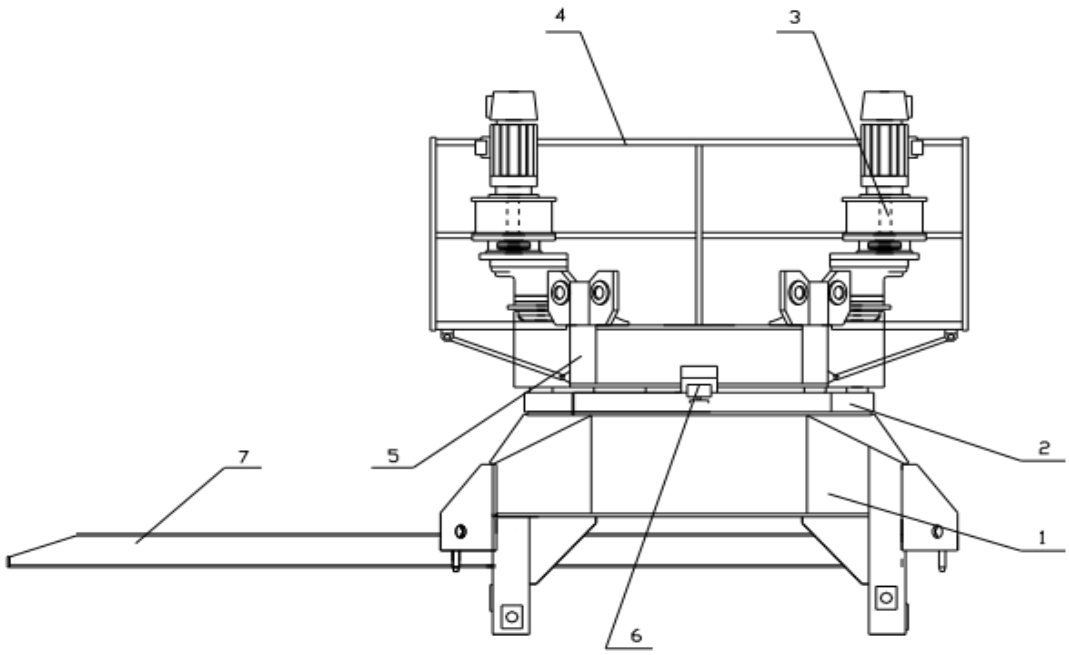


Рис. 1. Вузол повороту баштового крана

Слід зазначити, що використання частотних перетворювачів є доцільним і дає такі ж переваги для інших виконавчих механізмів вантажопідіймальних кранів. При цьому механізми не обов'язково повинні мати два електродвигуни, тому що частотний перетворювач покращує роботу і одного електродвигуна і підвищує його ефективність, економічні та експлуатаційні показники.

Доцільно використовувати частотні перетворювачі не лише на нових кранах, а й на кранах, що проходять капітальний ремонт або модернізацію з урахуванням залишкового експлуатаційного ресурсу для окупності модернізації. Дані заходи дозволять також спростити схеми управління, відмовитися від великої кількості елементів в електричних ланцюгах, збільшити міжремонтні інтервали, вирішити проблему з неякісними або дефіцитними запасними частинами, відсутніми у зв'язку зі зняттям їх з виробництва, зменшити ящики управління.

Перспективи використання частотного перетворювача у керуванні механізму повороту досить широкі:

- можливе програмоване керування поворотом, введення різних режимів швидкостей для різних типів операцій (монтаж, транспортування);

- автоматизація захисту від перевантажень, перегріву, перевищень напруги та іншого, а також коригування при зміні погодних умов (вітрове зусилля, налипання снігу на елементи конструкції);

- введення напівавтоматичних та автоматичних сценаріїв як задаються оператором з кабіни, так і ззовні.

Таким чином, використання частотного перетворювача дає значні переваги, призводить до підвищення ефективності роботи приводу механізмів, так додає можливості інтеграції сучасних систем автоматизації, які дозволяють виконувати частину операцій без постійного втручання оператора при збереженні рівню контролю.

ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ МЕХАНІЗМУ ГОЛОВНОГО ПІДЙОМУ, ЩО ЗАПОБІГАЄ ПАДІННЮ ВАНТАЖУ ПРИ ОБРИВІ КАНАТА

Дорохов М.Ю., Сушко О.М.
(ДДМА, м. Краматорськ - Тернопіль, Україна)

У технологічному процесі металургійних і машинобудівних заводів для виконання підйомно-транспортних і різних технологічних операцій використовуються спеціальні крани.

До особливостей спеціальних кранів, що відрізняють їх від кранів загального призначення, можна віднести наступні: більша кількість механізмів, а отже, можливість виконання значного числа робочих рухів, яке складає в основному від чотирьох до семи; безпосереднє включення в технологічний цикл виробництва і використання не лише для підйомно-транспортних робіт, але і технологічних операцій; обмежене застосування залежно від виду переміщуваного вантажу і технологічного процесу; оснащення спеціальними вантажозахватними пристроями, лебідками і іншими механізмами.

Включення металургійних кранів в цикл виробництва, їх тісна взаємодія з технологічними агрегатами, вимагають високих показників надійності і продуктивності, тому кран повинен мати підвищену стійкість до статичних, динамічних, ударних і технологічних навантажень.

Аварія крана може не тільки на деякий час зупинити його роботу, а й пошкодити навколишнє обладнання. Однією з найбільш потенційно небезпечних аварій є обрив каната. але для введення крана в експлуатацію після обриву каната мало лише його заміни. Під час роботи з великим тоннажем при обриві каната виникають великі динамічні навантаження, що призводять до додаткових навантажень металевих конструкцій, їх суттєвого пошкодження та скорочення циклічної довговічності.

В результаті аналізу існуючих конструкцій кріплень канатів до траверсі виявлені недоліки їх конструкцій, через які і виникали динамічні навантаження. Також при обриві каната може відбуватися розбризкування рідкого металу.

Таким чином, для підвищення надійності крану обґрунтування параметрів та проектування пристроїв, що запобігають падіння вантажу при обриві каната, є актуальним та важливим науково-технічним завданням.

Для підвищення надійності мастового крана проведена розробка нової конструкції поліспаста, і схеми запасування каната. При цьому як прототип використана конструкція [див. Дорохов М.Ю., Швачунов О.С. Зрівноважувальний гальмівний барабан Патент України UA B66D 3/04 № u201300969 від 28.01.2013 р.].

Зрівноважувальний гальмівний барабан вміщує барабан механізму підйому вантажу 1, канат 2, який запасовується на блоки 3, на зрівноважувальний барабан 4, притискні планки з важелями 5 та на гакову підвіску 6, паз 7 для встановлення важеля 8, що запобігає провертання барабана на кут не більше 45°.

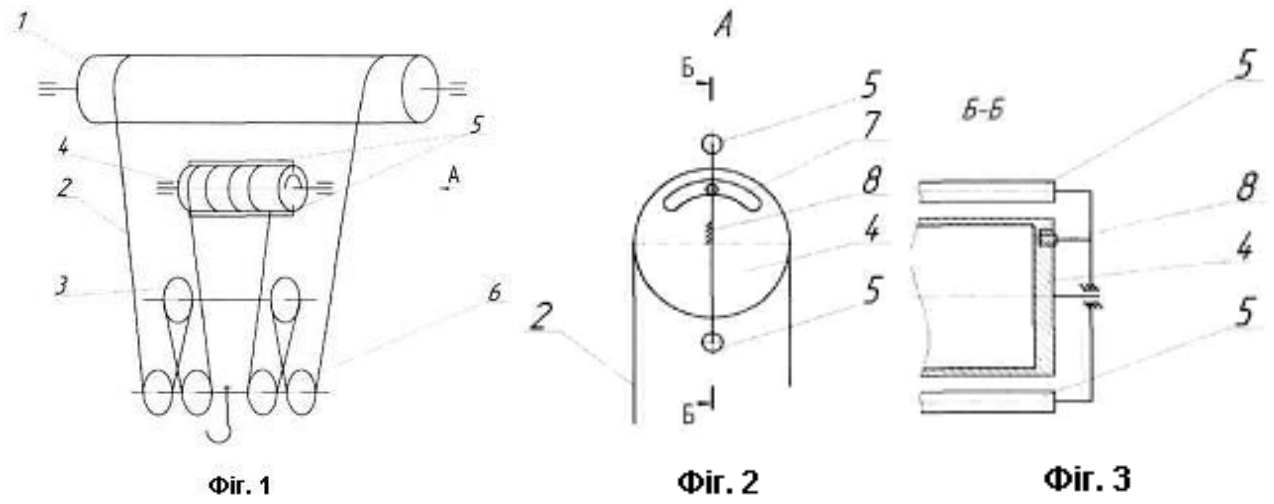


Рис. 1. Патент України UA № u201300969 від 28.01.2013

При використанні зрівняльного барабана, в разі падіння траверси при обриві каната жорсткий удар замінюється на більш плавне гальмування вантажу за рахунок прослизання каната по барабану, що зменшує динамічні навантаження на металоконструкцію і знижує ймовірність розбризкування рідкого металу.

Пристрій забезпечує запобіганню падінню вантажу при обриві каната ливарного крана і підвищує рівень безпеки при виконанні основних технологічних операцій. Основною конструктивною і експлуатаційною перевагою пристрою є можливість його установки в існуючу конструкцію поліспаста механізму головного підйому замість штатного балансира, що дозволяє значно знизити втрати часу на монтаж пристрою. Пристрій складається з зрівняльного барабана, вісь якого зафіксована в опорах, і притискного ролика. Барабан виконаний без нарізки і розрахований на десять витків каната, така кількість витків забезпечує потрібну силу тертя ковзання, достатню для запобігання розмотування каната в парі з притискним роликом в разі обриву однієї з гілок каната. Притискний ролик використовується для гарантованої фіксації каната і зменшення габаритів барабана.

При використанні зрівняльного барабана очікується рівнозамедлене падіння вантажу при обриві канату. Це в свою чергу зменшить динамічні навантаження на металоконструкцію крана.

Зрівняльний барабан дозволить істотно скоротити амплітуду горизонтального відхилення кінцевого положення вантажу в порівнянні з балансиром. Попередні прорахунки дають підставу говорити про можливість зменшення амплітуди розгойдування в 2-3 рази.

ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ, ТЕХНОЛОГІЧНІ ПІДГОТОВКА І ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИРОБНИЦТВА

Ефремов М.В., Показаньєва С.Л.
(Краматорське вище професійне училище, м. Краматорськ, Україна)

При автоматизації розумової праці у машинобудуванні з допомогою застосування штучного інтелекту потрібно конкретизація і автоматизація виробничих функцій і завдань. У роботі конкретизуються основні технологічні функції та завдання при технологічній підготовці (ТПВ) та забезпеченні (ТЗВ) виробництва. Автоматизація розумової праці в машинобудівному виробництві полягає у заміні (імітації) його штучним інтелектом у технологічному процесі та управлінні ним. Нормативно-розумові трудові дії у складі конкретних трудових функцій закріплені у професійних стандартах фахівців. Напрями технологічних робіт під час підготовки та забезпечення виробництва позначені комплексом взаємопов'язаних державних стандартів. Інтелектуальні можливості "живої праці" класифікуються у професійних стандартах фахівців.

У національній стратегії розвитку штучного інтелекту зазначається, що недостатній розвиток штучного інтелекту «спричинить економічне та технологічне відставання».

Застосування штучного інтелекту в машинобудуванні потребує конкретизації та систематизації виробничих функцій та завдань.

Мета роботи: конкретизувати основні технологічні функції при вирішенні виробничих завдань машинобудування та обґрунтувати віднесення їх до підготовки або забезпечення виробництва.

Розв'язувані завдання досягнення зазначеної мети більшою мірою стосуються технологічної підготовки виробництва (ТПВ) і технологічного забезпечення виробництва (ТЗВ).

Виробничі функції (вид діяльності), спрямовані на «створення економічного продукту чи надання послуги (виконання робіт), засновані на процесі активного перетворення матеріального і духовного світу».

«Штучний інтелект – комплекс технологічних рішень, дозволяють імітувати когнітивні функції людини (включаючи самоосвіту і пошук рішень без заданого алгоритму) і під час конкретних завдань».

У виробництві, зокрема і машинобудівному, ці завдання, які стосуються перетворення духовного світу, об'єднані спільною метою у складі певних трудових функцій фахівців.

Когнітивні функції людини реалізуються в результаті розумової праці: виду простого процесу праці (живої праці), переважно пов'язаного з використанням інтелектуальних можливостей людського організму.

Імітація простого процесу праці в машинобудуванні та приладобудуванні – це виключення участі людей у технологічному процесі та управлінні ним за рахунок застосування енергії неживої природи, тобто автоматизація живої праці. Словосполученню "автоматизація розумової праці" по суті відповідає термін "штучний інтелект".

Опис нормативних розумових трудових дій людини відповідних напряму та рівню виробничого процесу міститься в описі трудових функцій професійних стандартів.

У професійних стандартах трудові функції, об'єднані спільною метою залежно від об'єкта трудової діяльності, поділені згідно з кваліфікацією виконавців на рівні, позначені як узагальнені трудові функції. «Кваліфікація» штучного інтелекту визначається можливістю та математичним забезпеченням обчислювальних машин.

Основні положення, структура та організація технологічних робіт машинобудування та приладобудування для забезпечення організаційної, інформаційної та технічної єдності робіт встановлені комплексом взаємопов'язаних державних стандартів.

ТПВ - сукупність робіт та заходів або вид виробничої діяльності, що забезпечує технологічну готовність підприємства.

Примітно, що рівні кваліфікаційного рівня при ТПВ у професійних стандартах визначаються складністю предметів праці, у розглянутих стандартах виробів та технологічного оснащення (прості, складні). Під виробом за інтелектуальної діяльності розуміється інформація про нього, а документація фіксує результати переробки інформації, виконану роботу.

У машинобудуванні на державному рівні підготовку до пошуку рішень за допомогою штучного інтелекту розпочали з включення до професійних стандартів фахівців обов'язку застосування та доповнення інформацією систем: технологічної підготовки виробництва (CAP – системи), управління даними про виріб (PDM – системи), планування ресурсів (GPR – системи) та інших.

Інтелектуальні завдання ТЗВ - це підтримка якості, надійності та стабільності технологічних процесів, по суті, управління діями людей та знарядь праці у виробничому процесі при перетворенні матеріального світу на підприємстві (в організації).

Висновок. Продукт розумової праці ТПВ предметом розумової праці ТЗВ. Основні функції розумової праці ТПВ належать до проектування, ТЗВ – управління. Основні інтелектуальні можливості «живої» праці класифікуються за ознаками об'єктів діяльності та описуються в узагальнених трудових функціях спеціалістів.

РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ЗМЕНШЕННЯ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЮ МОСТОВИХ КРАНІВ

Єрмакова С.О., Костенко М.К.
(ДДМА, м. Краматорськ - Тернопіль, Україна)

Підйомно-транспортні машини є основою комплексної механізації й автоматизації виробництв. Від правильного вибору найбільш раціональних машин залежить високопродуктивна робота всього підприємства. Конструкції підйомно-транспортних машин безупинно вдосконалюється, у зв'язку із чим виникають нові завдання з розрахунку, проектуванню, дослідженню й вибору оптимальних параметрів машин, що забезпечують високі техніко - економічні показники і якість машин.

У цей час однією з основних проблем у кранобудуванні, є забезпечення міцності й надійності кранових металоконструкцій.

За результатами аналізу особливостей роботи кранів мостового типу встановлено, що саме через дію динамічних навантажень на металеву конструкцію в ній виникають тріщини, а це призводить до руйнування мосту крана та унеможливлює подальшу експлуатацію цих машин. Тому зменшення динамічних навантажень є актуальною задачею.

Аналізуючи різні методи зниження динамічних навантажень [1], дійшли висновку, що найбільш доступним і ефективним методом є використання в механізмі підйому вантажу пристроїв, що дозволяють управляти початковою швидкістю підйому без внесення змін у систему керування електродвигуном і зі збереженням швидкісних показників крана – хвильових зубчастих передач.

Останнім часом хвильові передачі [2] знаходять все більше застосування в різних областях промисловості. Найбільш поширені 6 типів хвильових зубчастих передач: 1) з генератором у вигляді диска; 2) здвоєна; 3) з генератором у вигляді підшипника кочення; 4) торцева; 5) з генератором ковзання; 6) з роликовим генератором. Але практично всі конструктивні схеми хвильових зубчастих передач мають надто суттєві недоліки, що утрудняють їх застосування в механізмах кранів. Більш того, високе передатне відношення (тобто мала швидкість підйому вантажу) позитивне тільки в початковій стадії несталого руху, а наявність гнучкого колеса істотно збільшує вартість редуктора. Тому є необхідність у розробці конструктивної схеми хвильового редуктора, позбавленого вище перелічених недоліків.

При цьому до схеми, що розробляється, пред'являються наступні вимоги: простота конструкції; малі габарити та застосування в механізмі підйому вантажу без внесення змін до системи управління електродвигуном повинне забезпечити зниження динамічних навантажень із збереженням швидкісних показників крана.

В результаті виконаних досліджень до застосування в механізмі підйому вантажу пропонується хвильовий зубчатий редуктор, в конструктивну схему

якого включена спіральна пружина, що виконує функцію гнучкого колеса (рис. 1).

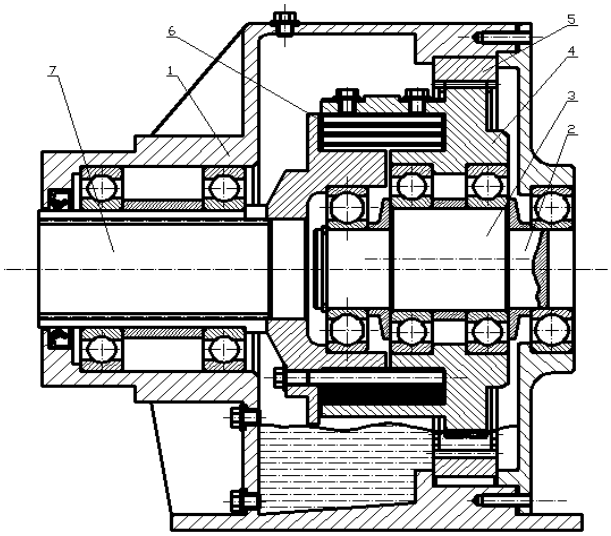


Рис. 1. Конструктивна схема хвильового зубчастого редуктора

Конструктивно хвильовий зубчатий редуктор складається з корпусу 1, на вхідному валу 2 якого в підшипниковому вузлі 3 ексцентрично встановлена привідна рухома шестерня 4, що контактує з веденим нерухомим колесом 5 по внутрішньому зачепленню, причому число зубів колеса більше, ніж шестерні. На рухомій шестерні 4 жорстко закріплений один кінець спіральної пружини 6, другий кінець якої встановлений на вихідному валу 7. При обертанні привідного валу 2 привідна шестерня 4 за рахунок ексцентрикового вузла 3 обкатується по внутрішній поверхні нерухомого колеса 5, при цьому швидкість обертання шестерні 4 щодо ексцентрикового вузла 3 буде менше швидкості обертання привідного валу 2. Передача моменту, що крутить, від шестерні 4 до вихідного валу 7 здійснюється за допомогою спіральної пружини 6, шестерні, що дозволяє компенсувати ексцентричне обертання.

Таким чином розроблена конструкція хвильового зубчатого редуктора в механізмі підйому вантажу (рис. 1) дозволяє: зменшити габаритні розміри механізму за рахунок мінімальних розмірів редуктора; понизити вартість механізму за рахунок зменшення вартості пропонованого редуктора порівняно з використанням класичних схем або відмовитися від гідросистеми у разі використання гідроприводу; понизити динамічні навантаження на металоконструкцію крана за рахунок включення в конструкцію редуктора спіральної пружини.

Література:

1. Динаміка та оптимальне керування рухом мостових кранів. Монографія / В.С. Ловейкін, Ю.О. Ромасевич, В.А. Голдун, В.В. Крушельницький. – К.: ЦП „КОМПРІНТ”, 2019. – 460 с. **2**. Полетучій, О.І. Основи теорії і методи розрахунків хвильових зубчастих механізмів із підвищеними якісними характеристиками: автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.02.02 / Полетучій Олександр Іванович ; Національний технічний ун-т "Харківський політехнічний ін-т". - Х., 2006. - 35 с.

ДОСЛІДЖЕННЯ НАВАНТАЖЕНЬ, ЩО ВИНИКАЮТЬ В ПРОЦЕСІ РОБОТИ БАШТОВИХ КРАНІВ

Єрмакова С.О., Котов В.А.
(ДДМА, м. Краматорськ - Тернопіль, Україна)

Баштові крани призначені обслуговувати територію будівельних майданчиків будівель і споруд, складів, полігонів, навантаження і розвантаження матеріалів з транспорту - при виконанні будівельно-монтажних і вантажно-розвантажувальних робіт. Такі крани вирішують питання механізації робіт на будівництві. У зв'язку з великим попитом на ці машини, забезпечення безпечної роботи є однією з головних задач при проектуванні, модернізації та експлуатації кранів.

Стійкість крана залежить від достатньо великої кількості суттєвих факторів, таких як вітрове навантаження, маса підіймального вантажу, динамічні навантаження, маси консольно розташованих конструктивних частин (стріла, противага і стрілове обладнання) тощо. Всі перелічені фактори найбільш значущі під час роботи крана, тобто при виконання операцій підйому вантажу, повороту башти крана, зміни вильоту, або суміщення робочих операцій. Динамічні навантаження, які виникають при цьому, можуть привести до різкої зміни навантажень на металоконструкцію крана, опори і рейкові шляхи. Розвиток і подальше удосконалення баштових кранів неможливе без дослідження навантажень, та їх впливу на стійкість за різними умовами роботи.

В процесі роботи баштових кранів в період пуску-гальмування механізмів крана внаслідок дії прискорення або уповільнення виникають динамічні навантаження. Кран представляє пружну систему, тому сили інерції викликають коливання його елементів, які тривають деякий час і після закінчення перехідних процесів.

Так як рухи крана часто поєднуються, то можливе накладення коливань, що виникають в результаті дії сил інерції різних механізмів.

Джерелом великих динамічних навантажень можуть бути поштовхи і удари, що досягають великої сили при великих зазорах в передачах механізмів, несправних стиках рейкових шляхів, знос опорно-поворотних пристроїв і т.п.

Динамічні навантаження виникають у всіх точках крана і визначаються в кожен момент часу твором маси на відповідне прискорення.

Дані вимірювань показують, що ці навантаження викликають в елементах крана напруги, мінливі в широких межах і часто перевершують напруження від ваги вантажу. Тому, щоб мати реальні навантаження робочого стану крана, необхідно детальне експериментальне та теоретичне дослідження зміни навантаженості конструктивних елементів машини.

Таким чином, обґрунтування навантажень, які виникають в процесі роботи баштових кранів, дозволять знайти конструктивні рішення для зменшення негативного впливу задля забезпечення надійності та безпечності машини за різних умов роботи.

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ МЕТАЛУ ПРИ НАПЛАВЛЕННІ САМОЗАХИСНИМ ПОРОШКОВИМ ДРОТОМ З МОДИФІКАТОРАМИ

Жаріков С. В., Гринь О. Г., Голуб Д.М., Шахбазян В.Ф.
(ДДМА, м. Краматорськ - Тернопіль, Україна)

В сучасних складних умовах існування і розвитку промисловості України важливим є питання відновлення інструменту, в тому числі і штампового. Для його відновлення широко застосовують самозахисні порошкові дроти (СПД). Наплавлення СПД повинно забезпечити отримання наплавленого металу з високою зносостійкістю, ударною в'язкістю і опірністю сколюванню. Відомо, що властивості наплавленого металу залежать від його хімічного складу та структури. Одним із шляхів забезпечення цих властивостей є введення в наплавлений метал рідкоземельних металів (РМЗ). РЗМ і їх з'єднання в наплавленому металі сприяють значному поліпшенню механічних властивостей, що підвищує ударну в'язкість та опірність сколюванню. РЗМ впливає на подрібнення дендритної структури наплавленого металу при кристалізації та зменшення величини зерна, що і обумовлює отримання високої ударної в'язкості.

При наплавленні СПД спостерігається відставання плавлення осердя від оболонки, що впливає на однорідність та властивості наплавленого металу, вміст і морфологію неметалевих включень. Одним із шляхів покращення характеристик плавлення порошкових дротів є введення до складу осердя СПД екзотермічних сумішей. За рахунок теплового ефекту при протіканні екзотермічної реакції забезпечується значне зниження відставання плавлення осердя від оболонки та покращення характеристик плавлення СПД.

Метою роботи є дослідження впливу екзотермічної суміші і РЗМ у складі самозахисного порошкового дроту на структуру і властивості наплавленого металу.

Для дослідження впливу екзотермічної суміші і РЗМ на структуру наплавленого металу, були виготовлені СПД з екзотермічною сумішшю окалина - алюміній і РЗМ у складі осердя та сумішшю залізного та алюмінієвого порошків. Виконувалося наплавлення валиків на пластини зі сталі 45 розміром 10×50×200 мм на режимі Ізв = 380 ... 400 А, Uд = 29 ... 30 В, Vзв = 19,3 м/год. Дослідження структури наплавленого металу виконували з використанням системи аналізу зображень макро- та мікроструктури матеріалів SIAMS 700.

Дослідження структури металу при наплавленні СПД з екзотермічною сумішшю і РЗМ показали, що середній розмір зерен наплавленого металу становить 15,7 мкм, середнє значення номера зерна 8,5. При відсутності у складі СПД екзотермічної суміші і РЗМ середній розмір зерен наплавленого металу становить 24,9 мкм, середнє значення номера зерна 7,4. Зменшення розміру зерен наплавленого металу обумовлено наявністю у структурі металу РЗМ і їх з’єднань, а також збільшенням мікроскопічних включень оксиду А12О3, які утворюються при протіканні екзотермічної реакції і стають додатковими центрами кристалізації та сприяють подрібненню структури.

АСПЕКТИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ МАШИН

Задорожня І.М., Зубер Л.О., Меделяєв Д.О.
(ДДМА, м. Краматорськ - Тернопіль, Україна)

Розвиток технології металообробки характеризується постійним зростанням вимог до точності та динамічних характеристик верстатів. Стійкими тенденціями розвитку є: підвищення гнучкості та функціональності металообробного устаткування, одночасне збільшення продуктивності та якості вироблених деталей, поліпшення енергоефективності верстатів, збільшення числа робочих координат.

Сучасні металорізальні верстати забезпечують виключно високу точність оброблених деталей. Відповідальні поверхні найбільш важливих деталей машин та приладів обробляють на верстатах з похибкою в частках мікрометра, а шорсткість поверхні при алмазному точінні не перевищує сотих часток мікрометра. Вимоги до точності постійно зростають, і це, у свою чергу, ставить нові завдання перед інженерами-конструкторами, зважаючи ще і на те, що питання покращення динамічних характеристик в електроприводах (ЕП) верстатів залишається нагальним незалежно від рівня вдосконалення елементів систем автоматичного керування [1]. Джерелом підвищення динамічності в ЕП верстатів є надмірні додаткові коливання, які в приводах можуть бути викликані наявністю пружних елементів у кінематичному ланцюгу механізму, а також нелінійностями, пов'язаними з люфтами, муфтами зчеплення, а також обмеження таких координат електродвигуна (ЕД), як напруга або струм. Наявність пружних елементів у приводах призводить до появи вібрацій, які негативно позначаються на якості обробки деталей, а також додаткових динамічних навантажень в кінематичних ланцюгах і зниження швидкодії. Для компенсації пружних коливань в ЕП використовуються різні способи [2, 3].

Мета роботи полягає в аналізі можливості вдосконалення якості функціонування верстата в контексті динамічних характеристик шляхом зниженні кількості використовуваних відношень кінематичного ланцюга приводу головного руху металорізального верстата та впровадженні напівпровідникового перетворювача частоти (ПЧ) для плавного регулювання швидкості шпинделя. Зокрема, було розглянуто кінематичний ланцюг ЕП головного руху верстата. В технічній документації верстата при цьому необхідно звернути увагу на допустимі значення моменту на шпинделі, кутові швидкості обертання шпинделя верстата, допустимі значення потужності, що є визначальними даними для вирішення питання модернізації ЕП.

При керуванні приводом основного руху металорізального верстата застосовується двозонне керування швидкістю, на низьких швидкостях управління зазвичай здійснюється з постійним моментом, а на високих швидкостях з постійною потужністю. При розгляді можливості застосування зменшеного числа передавальних відношень у коробці передач беруться до

уваги, з одного боку, характеристики перетворювача, а з іншого – можливості двигуна. В процесі вибору ПЧ звертається увага на такі технічні характеристики, як діапазон регулювання швидкості, величина підтримуваного електромагнітного моменту на низьких кутових швидкостях обертання відносно номінальної. Струми в перетворювачі не повинні перевищувати допустимих значень у всьому діапазоні регулювання.

При виборі ЕД необхідно врахувати, що він повинен підходити до ПЧ за номінальними значеннями електромагнітного моменту, напруги та струмів у статорних обмотках, а також здатний розвинути необхідну кутову швидкість обертання без перегріву. При модернізації також важливо звернути увагу на допустимі температури ізоляції, тип вентиляції двигуна, допустимі швидкості обертання підшипників, втрати в сталі машини на перемагнічування та вихрові струми, які збільшуються із зростанням частоти напруги живлення. Допустимі швидкості обертання підшипників різні залежно від геометричних розмірів, фірми виробника, конструктивних особливостей, застосовуваних мастильних матеріалів. В процесі роботи приводу швидкість обертання підшипників не повинна бути вищою за максимально допустиму.

Необхідно врахувати, що при використанні стандартних моделей асинхронних двигунів для частотного регулювання їхня система охолодження стає малоефективною на низьких швидкостях, що призводить до перегріву обмоток статора та ротора. При збільшенні швидкості стандартного двигуна понад номінальну виникають додаткові навантаження на валу від власного вентилятора. Виникнення додаткового моменту опору призводить до зниження перевантажувальної здатності ЕД. При аналізі можливості використання зменшеної кількості передавальних відношень кінематичного ланцюга приводу спочатку звертається увага на період, коли момент і швидкість на шпинделі будуть максимальними. Якщо критичний момент двигуна, наведений до шпинделя, більше необхідного для даного значення швидкості обертання шпинделя, то приймається рішення про збереження поточного передавального відношення кінематичного ланцюга. На наступному етапі розраховуються значення критичних моментів двигуна, наведених до шпинделя, для всіх швидкостей нижче номінальної при вибраному ступені коробки швидкостей. На швидкостях, вище за номінальну, звертається увага на можливості механіки розглянутого приводу, на допустимі значення швидкості обертання підшипників, а також критичний момент асинхронного двигуна, наведений до шпинделя токарного металорізального верстата. Запропонований алгоритм може бути корисним в комплексному підході для вдосконалення якості функціонування електроприводів металорізальних машин.

Література: 1. Білюк, І., Шарейко, Д., Савченко, О., Гаврилов, С., & Фоменко, Л. (2024). Модернізація електроприводів токарних верстатів в Україні. Scientific Collection «InterConf+», (42(189), 478–495. **2.** Клименко Г.П. Управління процесом експлуатації інструменту при обробці деталей на важких верстатах / Г. П. Клименко, О. В. Суботін // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : збірник наукових праць. – Краматорськ : ДДМА, 2015. – Вип. № 37. – С. 88–92. **3.** Задорожня І. М., Задорожній М. О. Оптимізація та взаємозв’язки параметрів двомасових електромеханічних систем [Електронний ресурс] : монографія – Електрон. текст. дані (4,5 Мб). – Краматорськ : ДДМА, 2021.

ОСОБЛИВОСТІ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ МЕТАЛУРГІЙНИХ МАШИН ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ ЇХ ФУНКЦІОНУВАННЯ

Задорожня І.М., Чередниченко І.І.
(ДДМА, м. Краматорськ - Тернопіль, Україна)

Сьогодні автоматизовані електроприводи (ЕП) розвиваються під впливом появи нових технологій у сфері роботизації та автоматизації виробничих процесів, що пояснюється насамперед новими вимогами, що висуваються в сучасних умовах до електромеханічних пристроїв.

Аналіз особливостей функціонування типових технологічних машин металургійного виробництва (головні ЕП прокатних станів, ЕП допоміжних механізмів) свідчить про те, що конструкції їх механічних передач постійно удосконалюються, але їх елементи, що приводяться в рух, в дійсності мають пружні властивості, сприяючі порушенню коливань при дії внутрішніх і зовнішніх навантажень. Коливання в перехідних режимах створюють додаткові динамічні навантаження механічного та електричного обладнання та негативно впливають на якість виконання технологічних операцій. Пружні механічні ланки приводу машин, як накопичувачі енергії, при прийомі і скиданні навантаження робочим органом збуджують коливання його координат з відхиленням процесів від зумовлених технологією і зростанням динамічних навантажень на механічні передачі, електродвигун і робочі органи машини.

Не зважаючи на постійне вдосконалення властивостей ЕП, задача зниження рівня динамічних навантажень є нагальною, що вимагає детального аналізу, навіть враховуючи той факт, що чимало робіт наукового та практичного спрямування присвячено пошуку шляхів та напрямків вирішення вказаної проблематики.

Мета роботи полягає в аналізі впливу режимів роботи ЕП на ефективність керування допоміжного обладнання металургійних машин та пошук рішень з вдосконалення динамічних режимів їх функціонування. Зокрема, суттєві проблеми наявності пружних ланок виникають в ЕП допоміжного обладнання, а саме це стосується особливостей функціонування петльових пристроїв (накопичувачів), які призначені для створення запасу смуги, що забезпечує безперервну обробку листового металу на прокатних станах різного типу. Безпосередньо петльовий накопичувач станів холодної прокатки або ділянки нанесення на плоский або сортовий прокат покриття (цинк, полімери, алюміній), передбачає створення запасу смуги, що забезпечує безперервну роботу середньої технологічної частини в період зварювання кінців смуг. Ділянка нанесення покриття складається з трьох частин: безперервної середньої частини та дискретних головної та хвостової частин. У середній технологічній частині здійснюється технологічний процес покриття. Для зв'язку безперервної та дискретної частини призначені петльові пристрої.

Петльові накопичувачі є пристроями, що складаються з мас, які рухаються поступально (візок) і обертально (барабани, лебідки), механічний зв'язок між якими здійснюється гнучкими елементами (смугою, канатами). Динаміка такої системи несприятлива і проявляється при постійно повторюваних режимах подачі та вилучення смуг, які спричиняють додаткові коливання.

Електромеханічна система (ЕМС) горизонтального петльового накопичувача є багатомасовою, і для досліджень вимагає врахування не тільки зміни пружності смуги, як розподіленої механічної системи, при зменшенні або збільшення її довжини в накопичувачі, а й зміни маси сталевої смуги, тобто її механічних властивостей та варіювання наведеного моменту інерції смуги.

В рамках початкового етапу дослідження було побудовано математичну модель ЕП горизонтального петльового накопичувача на основі двомасової розрахункової схеми для системи постійного струму. При цьому враховано, що ЕМС горизонтального петльового пристрою є слабодемпфованою системою, до того ж вельми чутливою до впливів керування. В режимі видачі смуги з петльового пристрою коливання в самій залізній смузі фактично відсутні. Двигун працює при цьому в генераторному режимі. В режимі наповнення петльового пристрою двигун працює в рушійному режимі, але при цьому спостерігаються значні розгойдування смуги. У зв'язку з цим в рамках досліджень розглядався лише рушійний режим функціонування накопичувача при наборі смуги. При побудові системи автоматичного керування, що складена за принципом підлеглого регулювання і містить контури регулювання струму та швидкості, використані задатчики інтенсивності, які необхідні для отримання бажаного закону зміни у часі сигналу завдання системи регулювання та дозволяють сформувати процеси розгону та гальмування ЕП із заданим темпом. В системах вентильного ЕП ці пристрої, як правило, визначають сигнал завдання швидкості двигуна. Застосування задатчика інтенсивності дозволяє підтримувати у процесі розгону постійний динамічний момент двигуна, величина якого визначається темпом зміни вихідної напруги задатчика інтенсивності, чим забезпечується незалежність прискорення від статичного навантаження. Введення в прямий ланцюг аперіодичної ланки зі сталою часу значно більшою, ніж у ланок вихідної системи автоматичного керування, підвищує запас стійкості системи. До переваг можна віднести також зниження високочастотних перешкод і коливань перехідних процесів. Такий прийом підвищення запасу стійкості є демпфіруванням з придушенням високих частот, недоліком якого є деяке зниження швидкодії системи.

Дослідження на математичній моделі дозволили з’ясувати, що при значеннях коефіцієнта співвідношення інерційних мас $\gamma < 2$ досягти ефективного демпфування пружних коливань швидкості виконавчого органу без значного зниження швидкодії тільки за рахунок вибору структури та параметрів регулятора швидкості складно, тому методи корекції подібних систем пов'язані із застосуванням тих чи інших коригувальних зв'язків за швидкістю механізму або можуть бути використані положення теорії електромеханічної взаємодії [1]. Введення зворотного зв'язку за похідною від швидкості виконавчого валу

призводить до ефекту, еквівалентного збільшенню коефіцієнта інерції. Отже, можна, вводячи зворотний за похідною швидкості, отримати плавні перехідні процеси, незважаючи на те, що в нескоректованій системі рух виконавчого валу має сильний коливальний характер [2].

Позитивний ефект може бути отриманий при введенні на вхід регулятора швидкості сигналу за другою похідною від швидкості виконавчого механізму, проте дворазове диференціювання зазвичай важко виконати через наявність пульсацій на виході вимірювача швидкості. Щодо якості перехідних процесів керування, то аналогічний результат може бути отриманий, якщо на вхід регулятора швидкості ввести сигнал, який пропорційний різниці швидкості двигуна і приведеної до валу двигуна швидкості виконавчого органу.

Підсумком початкового етапу досліджень є розуміння того, що зниження рівня динамічних навантажень може бути досягнуто від введення зворотного зв’язку по похідній швидкості ролика за рахунок демпфування пружної хвилі зусиль, яка поширюється вздовж смуги металу. ЕМС досліджуваного механізму є розподіленою, при заповненні якої виникають пружні коливання. При цьому сигнал за похідною від швидкості ролика дозволяє здійснювати демпфування поширення пружної хвилі за рахунок впливу на ЕП. Введення додаткового зворотного зв'язку по похідній за швидкістю другого ролика дозволить придушити пружну хвилю, яка поширюється смугою при переміщенні візка накопичувача. Втім, виявлено, що зі збільшенням довжини сталевої смуги збільшується її момент інерції, а також частота її коливань та амплітуда, що призводить до додаткових динамічних ударів, що вимагає проведення подальших досліджень.

Загалом оптимізація динамічних режимів функціонування ЕП головних та допоміжних механізмів металургійних машин з метою забезпечення відповідної якості перехідних процесів та вдосконалення динамічних режимів їх функціонування вимагає взаємного розгляду та врахування особливостей технології, машинобудування і досягнень електротехніки, а врахування закономірностей електромеханічної взаємодії складових частин єдиної системи ЕП [3] дозволяє забезпечити істотне зниження навантажень на електричне і механічне обладнання за рахунок раціонального вибору структури і параметрів електричної частини з використанням демпфувальних можливостей власне ЕП.

Література:

1. Задорожня І. М., Задорожній М. О. Оптимізація та взаємозв’язки параметрів двомасових електромеханічних систем [Електронний ресурс] : монографія – Електрон. текст. дані (4,5 Мб). – Краматорськ : ДДМА, 2021.

2. Kozhevnikova A.A., Kozhevnikov A.V., Sorokin G.A. et al. Damping of Vibrations in the Primary Drives of Cold-Rolling Mills // Steel in Translation. – 2016. – Vol. 46, №10. – P. 739-741.

3. Задорожня І. М. Аналіз умов демпфування коливань в двомасовому електроприводі на основі ефекту резонансної електромеханічної взаємодії з додатковими зворотними зв’язками / І. М. Задорожня, М. О. Задорожній // Вісник Херсонського національного технічного університету «ХНТУ». – 2024. – №2 (89). – С. 20-26.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ГЕНЕТИЧНИХ АЛГОРИТМІВ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

Залета А.О.
(Луцький національний технічний університет, м Луцьк, Україна)

Еволюційні методи оптимізації – це клас алгоритмів, суть яких полягає у покроковому покращенні інженерних рішень шляхом виконання ряду ітерацій: формування початкової популяції рішень (хромосом); оцінка кожного рішення на основі фітнес-функції; селекція (відбір); кросовер (схрещування); мутація; еволюція нового покоління.

У дослідженні виконується аналіз генетичних алгоритмів з метою виявлення можливостей їх використання для структурної оптимізації технологічних машин. Основною вимогою до вибору методу є придатність до застосування для об’єктів з дискретною структурою, кожен елемент якої може бути представлений деякою кількістю альтернативних варіантів, серед множини яких слід знайти такий, що найбільшою мірою задовольняє умовам поставленої задачі.

Широке застосування генетичних алгоритмів вказує на те, що вони стійкі до потрапляння у локальні оптимуми, добре працюють при вирішенні задач багатоцільової оптимізації, прості в реалізації. До того ж, покоління зручно розбивати на групи і працювати з кожною з них окремо, забезпечуючи за потреби обмін між групами кількома хромосомами, що підвищує ймовірність знаходження найкращого розв’язку задачі серед потенційно можливих.

Важливим недоліком ГА є те, що процес створення вихідного набору хромосом, критерії відбору хромосом і процедури алгоритму є евристичними і не гарантують швидкого знаходження глобального екстремуму цільової функції, адже еволюція може виконуватись нескінченно довго на будь-якому непродуктивному відгалуженні. І, навпаки, два неперспективні батьки, виключені з еволюції, виявляються здатними через кілька ітерацій продукувати високоефективного нащадка. Разом з тим, важливою перевагою генетичних алгоритмів у порівнянні з іншими методами є знаходження кращих рішень для складних задач великої розмірності.

Виконаний аналіз дозволяє зробити висновок, що генетичні алгоритми мають високий потенціал ефективності для структурної оптимізації технологічного обладнання, особливо з багатоелементною структурою.

Література:

1. Бондаренко О.В. Огляд сучасного використання генетичних та еволюційних алгоритмів. Стратегії, можливості (оглядова стаття) / О. В. Бондаренко, О. В. Устиненко, Р. В. Протасов та ін. // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Машинознавство та САПР. – 2022. – № 2. – С. 6-16. https://doi.org/10.20998/2079-0775.2022.2.01

2. Еволюційні обчислення та програмування : навч. посібник / А.О. Олійник, С.О. Субботін, О.О. Олійник. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2010. – 324 с.

АНАЛІЗ РЕЗЕРВІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТОКАРНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ВАЖКОГО МАШИНОБУДУВАННЯ ЗА РАХУНОК УВЕДЕННЯ ДОДАТКОВОЇ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ДО ЗОНИ РІЗАННЯ

Калініченко В. В., Ялоза Б.О.
(ДДМА, м. Краматорськ-Тернопіль, Україна)

Підвищення енергоефективності токарної обробки деталей важкого машинобудування має базуватися на використанні енергоефективних умов обробки. Серед шляхів забезпечення таких умов може бути запропоноване зниження силового навантаження у зоні різання за рахунок полегшення деформації оброблюваного матеріалу при його нагріванні внаслідок уведення додаткової теплової енергії. Утворення додаткових джерел теплоти може бути здійснене за допомогою струменя плазми або технологічного електричного струму за схемою електроконтактного нагрівання (ЕКН). Обидва ці методи забезпечують суттєве полегшення деформації оброблюваного матеріалу. Технологічна простота способу ЕКН дозволяє обрати саме його у якості найбільш перспективного способу утворення додаткових джерел теплоти.

Для реалізації способу ЕКН верстат оснащують спеціальною установкою, що може бути спроєктована на базі відомої установки УЕМО-1 і виготовлена на основі зварювального трансформатора перемотуванням обмоток. Згідно з [1], спосіб забезпечує зниження сил різання при обробці деталей важкого машинобудування на 25...40 %. Рекомендований діапазон режимів роботи установки: сила електричного струму I = 100...200 А; напруга U = 6...12 В.

З метою виявлення резервів підвищення енергоефективності токарної обробки при використанні способу ЕКН було проведено аналіз зміни показників питомої енергомісткості e різання при чорновому точінні сталі 50ХН (твердий сплав Т5К10; діаметр обробки D = 1300 мм; t = 15 мм; S = 1,47...1,65 мм/об; v = 50...60 м/хв) при переході від звичайних умов обробки до обробки з ЕКН. Порівняння значень e здійснювалось для обробки з: нормативними режимами ($S_{норм}$ = 1,47 мм/об; $v_{норм}$ = 50 м/хв); максимальною подачею та нормативною швидкістю різання ($S_{макс}$ = 1,65 мм/об; $v_{норм}$ = 50 м/хв); режимами максимальної продуктивності ($S_{макс}$ = 1,65 мм/об; $v_{макс}$ = 60 м/хв). Зниження величини e при обробці на різних досліджуваних режимах різання склало: для ЕКН з максимальною напругою (I = 100 А; U = 12 В) – 14,95...15,06 %; для ЕКН з максимальною силою струму (I = 200 А; U = 6 В) – 24,97...25,06 %. Наведені дані підтверджують суттєві резерви підвищення енергоефективності токарної обробки деталей важкого машинобудування при використанні способу ЕКН для уведення додаткової теплоти при різанні.

Література. 1. Калініченко, В. В. Можливості зниження енерговитрат на перебіг процесу різання при чорновому точінні деталей на важких верстатах за схемою електромеханічної обробки / В. В. Калініченко // Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. Матеріали XIX Міжнародної науково-технічної конференції 01 – 04 червня 2021 року / за заг. ред. В. Д. Ковальова. – Краматорськ : ДДМА, 2021. – С. 53.

МЕТОДИ АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ РЕЖИМАМИ ОБРОБКИ ІНСТРУМЕНТУ В ІМПУЛЬСНОМУ МАГНІТНОМУ ПОЛІ

Кінденко М. І.
(ДДМА, м. Краматорськ - Тернопіль, Україна)

Магнітне зміцнення на основі методу магнітно-імпульсної обробки (МІО) має низку переваг, зокрема: низька собівартість оброблення, збереження геометрії оброблених деталей та екологічна чистота. Водночас слід зазначити, що ключовим моментом забезпечення ефективності МІО є правильний вибір режимів обробки. Вибір режимів є складним технічним завданням, що потребує індивідуального підходу до вирішення для кожної конкретної галузі застосування.

Успішне розв'язання задачі вибору режимів МІО може бути досягнуто шляхом створення інтелектуальних систем керування цим процесом. Відповідно до принципів адаптивного керування, вплив на керований процес ведеться згідно з цільовою функцією - законом керування, спрямованим на досягнення і підтримання найефективнішого значення будь-якого параметра [1].

Використання класичних методів адаптивного керування для розв'язання задач МІО малопридатне, оскільки процес МІО характеризується мінливістю параметрів оброблюваних виробів і складністю побудови точних математичних моделей, що описують зміну фізичних характеристик виробу під впливом магнітного поля. Опис процесів, що відбуваються під час обробки виробу, отримують або теоретично за використання відповідних припущень, або емпірично на підставі статистичного опрацювання результатів експериментів для типових випадків. Ці залежності не враховують значної кількості різноманіття чинників, що діють у реальних умовах у кожен момент часу. Завдання прогнозування результатів МІО належить до класу завдань, алгоритм розв'язання яких або не є єдиним, або не дає змоги оцінити якість розв'язання.

На практиці складно зафіксувати властивості функціональної залежності вихідних параметрів режимів МІО від вхідних величин, ще складніше зробити аналітичний опис такої залежності. У зв'язку з цим постає завдання використання під час проєктування системи керування МІО таких методів оптимізації, які були б здатні відшукувати рішення практично за повної відсутності припущень про характер досліджуваної функції.

Для подолання зазначених недоліків необхідне створення системи управління, що дає змогу:

- розв'язати завдання управління, моделювання та прогнозування результатів МІО.
- оптимізувати режими МІО конкретного виробу, використовуючи поточну інформацію за параметрами, що визначають умови і якість процесу МІО.

Література: 1. Нестеренко О.В., Савенков О.І., Фаловський О.О. Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень: навч. посібн. / за ред. П.І. Бідюка. Київ: Національна академія управління. 2016. 188 с.

СУЧАСНІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ В СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ РЕЖИМАМИ ІМПУЛЬСНОЇ МАГНІТНОЇ ОБРОБКИ ІНСТРУМЕНТІВ

Кінденко М. І.
(ДДМА, м. Краматорськ - Тернопіль, Україна)

Застосовуючи магнітно-імпульсну обробку (МІО) можна значно зменшити надмірну енергію матеріалу, пов'язану з концентрацією внутрішніх і поверхневих напруг в інструменті, і знизити до мінімуму ймовірність його поломки. Першопричиною поліпшення експлуатаційних характеристик осьового інструменту, підданого магнітній обробці, є зміна властивостей інструментального матеріалу. Воно відбувається за рахунок магнітострикційного зміцнення швидкорізальної сталі [1].

Дія імпульсних магнітних полів на осьовий інструмент зі швидкорізальних сталей є ефективною тільки при певних (оптимальних) режимах магнітної обробки (напруженості магнітного поля, часу обробки інструменту і часу витримки після обробки).

Оптимальні режими магнітної обробки, при яких досягається найбільше підвищення стійкості різального інструменту і максимальне поліпшення властивостей інструментального матеріалу співпадають. В результаті магнітної обробки швидкорізальна сталь зазнає об'ємне зміцнення, дисперсійне тверднення, стає однорідніщою по структурі і покращує свої фізико-механічні властивості [2].

Нині триває інтенсивний розвиток методів і засобів МІО, у зв'язку з чим особливого інтересу набуває проблема математичного моделювання МІО з метою оптимального керування її основними параметрами. Складність керування процесом МІО полягає в тому, що необхідно одночасно здійснювати керування кількома параметрами (напруженістю магнітного поля, числом імпульсів у серії, частотою проходження імпульсів, часом імпульсу в серії, інтервалами між імпульсом у серії, числом серій імпульсів).

Керування МІО доводиться здійснювати на підставі емпіричних залежностей і дослідних даних, на які істотно впливають матеріал і форма виробу.

У ситуації, що склалася, виникає необхідність створення інтелектуальної системи управління МІО, що дає змогу оптимізувати режими оброблення для конкретних типів і матеріалів оброблюваних виробів.

Наявність апріорно заданих режимів МІО часто призводить до зниження якості обробки, оскільки під час програмування не можуть бути враховані особливості МІО конкретної деталі і розрахунок ведеться за усередненими середньостатистичними даними. Разом з тим, у багатьох випадках оптимальні режими МІО є унікальними для конкретного зразка виробу.

Оскільки ефективність процесу МІО безпосередньо залежить від точності вибору режимів, виникає необхідність розв'язання задачі оптимального

управління режимами - сукупності числових значень кількох параметрів, основними з яких є: напруженість магнітного поля, час імпульсу в серії, частота проходження імпульсів, кількість імпульсів у серії, інтервал між імпульсами в серії, кількість серій імпульсів.

На підставі вищевикладеного можна зробити висновок, що для подолання зазначених недоліків необхідна наявність інтелектуальної системи управління, що дає змогу оптимізувати процес оброблення кожної деталі, що визначає умови та якість процесу МІО. Управління процесами МІО в інтелектуальній системі управління МІО може бути здійснено за допомогою методів адаптивного управління.

Цій проблемі й присвячені дослідження, проведені в даній роботі.

У різних сферах практичної діяльності, пов’язаних з вирішенням завдань управління та контролю, оптимізації та моделювання, пошуку та вибору, розпізнавання та класифікації, гостро постала необхідність інтелектуальної підтримки для подолання труднощів в складних ситуаціях і при обмежених ресурсах.

Сьогодні використання сучасних інтелектуальних технологій, таких як нейронні мережі та штучний інтелект, є передумовою проактивного розвитку всіх сфер діяльності людини.

Методи та засоби штучного інтелекту доходять до споживача у вигляді інтелектуальних технологій, які практично інваріантні до тієї чи іншої проблемної області. Традиційно до ІТ відносять нечітку логіку (НЛ), генетичні алгоритми (ГА) і нейронні мережі (НМ). ІТ успішно використовуються для створенні складних систем управління. Вимоги до пристроїв управління – забезпечувати надійне управління об'єктом в різних режимах його роботи [3].

Розглянемо систему нечіткого виводу. Головне місце в нечіткій логіці та відповідних системах керування посідає нечіткий висновок. Процес нечіткого виведення являє собою послідовність здобуття нечітких висновків з урахуванням нечітких умов або передумов за допомогою використання понять і принципів нечіткої логіки. Цей процес об'єднує в собі всі основні концепції теорії нечітких множин: функції приналежності, лінгвістичні змінні, нечіткі логічні операції, методи нечіткої імплікації та нечіткі композиції.

Системи нечіткого виводу використовуються для реалізації процесу нечіткого виведення і служать світоглядним базисом усієї існуючої нечіткої логіки. Досягнуті успіхи в застосуванні цих систем для вирішення значного класу задач керування стали основою становлення нечіткої логіки. Системи нечіткого виводу дозволяють вирішувати задачі автоматичного управління, групування даних, розрізнення образів, прийняття рішень, роботизованого навчання та багато інших.

Нейронна мережа – це розподілений паралельний процес, що складається з елементарних одиниць обробки інформації, що накопичують експериментальні знання та надають їх для подальшої обробки. Нейронна мережа отримує інформацію з навколишнього середовища і використовує їх в процесі навчання [3].

Розвиток технологій та створення високо продуктивних мікропроцесорів з великим об'ємом пам'яті, можливість організації мульти мереж для реалізації паралельних обчислень, з одного боку, та потреба обробки великих масивів інформації, використання баз знань для генерації направленої діяльності – з іншого, призвели до створення інтелектуальних систем [4].

Під інтелектуальною системою розуміють об'єднану інформаційним процесом структуру технічних засобів і програмного забезпечення, котрі працюють у взаємозв'язку з оператором або незалежно від нього; здатну на основі відомостей і знань при наявності мотивації синтезувати, генерувати рішення про дію та знаходити ефективні шляхи вирішення завдань. Інтелектуальні системи здатні генерувати мету, приймати рішення до дії, забезпечувати дію для досягнення мети, прогнозувати значення параметрів результату дії і зіставляти їх з реальними, утворюючи зворотний зв'язок, коригувати мету або управління. Відмінною особливістю інтелектуальних систем керування є їх класифікаційне віднесення до класу динамічних систем, які працюють в режимі реального часу і мають в своєму складі підсистеми взаємодії з зовнішнім світом (датчики, виконавчі пристрої).

Висновки:

1. Застосування інтелектуальної системи управління МІО дасть змогу змінювати параметри режимів обробки залежно від матеріалу і геометрії оброблюваного виробу. Це дасть змогу швидко переналаштовуватися на обробку виробів різних типів і матеріалів.

2. Застосування нечітких нейронних мереж в управлінні дасть змогу точно оптимізувати параметри режимів МІО для конкретного типу інструменту або виробу.

3 Застосування запропонованого підходу до управління МІО дасть змогу скоротити час на обробку виробів, підвищити якість МІО і скоротити витрату електроенергії, що витрачається на процес МІО.

Література:

1. Кінденко М.І. Вплив режимів магнітної обробки інструменту зі швидкорізальної сталі на його фізико-механічні властивості // Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації. Збірник наукових праць XXI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів у місті Кременчук 16–17 травня 2024 р. Кременчук, КрНУ, 2024. – С. 67-68. https://doi.org/10.32782/2079-5106.2024.3.2

2. Кінденко М.І. Дослідження механізму магнітострикційного та магнітно-дисперсійного твердіння пробивних пуансонів із швидкорізальної сталі після обробки в імпульсних магнітних полях // *Обробка матеріалів тиском. Materials Working by Pressure*. Краматорськ : ДДМА. 2024. 1(53). С. 181–187, https://doi.org/10.37142/2076-2151/2024-(53)181

3. Інтелектуальні системи автоматизації : монографія / Аврунін О. Г., Владов С. І., Петченко М. В., Семенець В. В., Татарінов В. В., Тельнова Г. В., Філатов В. О., Шмельов Ю.М., Шушляпіна Н. О. – Кременчук : Видавництво «НОВАБУК», 2021. – 322 с.

4. Нестеренко О.В., Савенков О.І., Фаловський О.О. Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень: навч. посібн. / за ред. П.І. Бідюка. Київ: Національна академія управління. 2016. 188 с.

СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ЯКІСТЮ ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ СНАРЯДІВ

[1]Клименко Г. П., [1]Марков О. Є., [2]Калюжний В.Л., [3]Загірняк Д.М., [4]Музикін Є.С., [4]Музикін П.С., [5]Адаменко Б.І.Д, [5]Барабой М.М.
(ДДМА, м. Краматорськ-Тернопіль, Україна, [2]Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», [3]Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, [4]ТОВ «ДЄМЗ»., [5]Акціонерне товариство «Компанія авіаційного та ракетно-технічного машинобудування»)

У контексті розвитку оборонної промисловості України, зокрема виробництва крупнокаліберних снарядів, актуальним є створення надійної системи керування якістю технологічного процесу механічної обробки корпусів. Розроблено інтегровану систему, що ґрунтується на принципах процесного підходу міжнародного стандарту ISO 9000:2000, враховує специфіку виробництва та орієнтована на стабільне забезпечення високої точності, продуктивності і надійності процесу.

Запропонована система охоплює усі стадії обробки: від підготовки та вибору параметрів до моніторингу якості в реальному часі. На рисунку 1 представлено структуру системи керування якістю процесу механічного оброблення снарядів, яка передбачає зворотній зв’язок, коригувальні дії та оптимізацію регламентів оброблення.

Особливу увагу приділено процесу попереднього моделювання режимів різання для забезпечення сталості якості обробки на різних етапах виробництва. Створено базу параметрів оброблення з урахуванням типових дефектів заготовок, конструктивних особливостей корпусів снарядів і вимог до геометричної точності та чистоти поверхні. Застосування методів машинного навчання на основі зібраних даних дозволяє прогнозувати відхилення у процесі та оперативно вносити корективи у режими.

Інтеграція в систему цифрових засобів діагностики, таких як індуктивні датчики переміщення, вібродатчики та оптичні системи контролю форми, дає змогу виявляти відхилення на ранніх стадіях та оперативно реагувати на позаштатні ситуації.

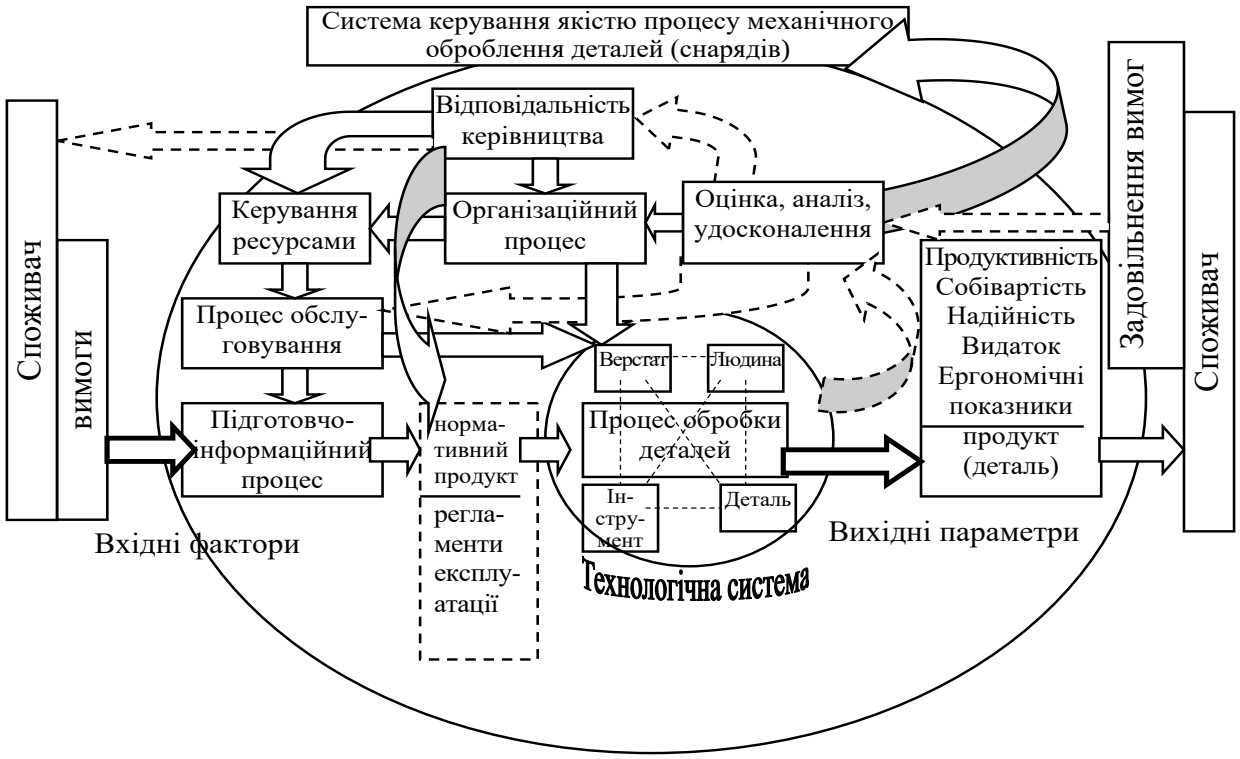


Рис. 1. Система керування якістю процесу механічного оброблення снарядів

Особливо ефективною є реалізація комбінованої моделі оцінювання зносу інструменту, яка враховує не лише геометричні, а й термомеханічні параметри в реальному часі.

У процесі впровадження системи на експериментальних ділянках обробки снарядів було досягнуто підвищення коефіцієнта придатності продукції до 97%, зниження відсотку браку на 35% та подовження ресурсу інструменту в середньому на 40%. Використання накопичених даних дозволяє формувати цифрові паспорти операцій та створювати базу знань для подальшої автоматизації і стандартизації операцій в межах оборонного виробництва.

Таким чином, розроблена система керування якістю процесу механічної обробки снарядів забезпечує комплексний підхід до гарантування відповідності продукції вимогам. Поєднання цифрових технологій, методів аналізу даних і адаптивного керування сприяє розвитку новітніх підходів у машинобудуванні та підвищенню обороноздатності України.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОБРОБЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ В УМОВАХ ВАЖКОГО МАШИНОБУДУВАННЯ

Клименко Г.П., Рева Є.С., Машньов І.О., Олійник С.І.
(ДДМА, м. Краматорськ-Тернопіль, Україна)

В умовах важкого машинобудування, де обробляються заготовки з високоміцних сталей, що використовуються для оборонного та енергетичного призначення, особливо актуальним є підвищення ефективності токарної обробки в умовах значного термомеханічного навантаження на різальне лезо. Проведені дослідження показали, що інтенсивність зношування інструмента тісно пов'язана з температурою формостійкості різальної кромки та касальними напруженнями, які виникають на передній та задній поверхнях інструменту.

Запропоновано застосування термомеханічної моделі для обґрунтування раціональних параметрів інструменту для оброблення деталей з важкооброблюваних сталей (до НВ 3600 МПа), що характерно для підприємств «Турбоатом», «Електроважмаш», «НКМЗ», «КЗВВ» та інших виробників великогабаритних деталей. Запропоновано використання прецизійних пластин із притупленням, виконаним на задній поверхні, та стружколамаючих геометрій з оптимізованими стабілізуючими фасками. Це дозволяє знизити напруження в різальній зоні, підвищити зносостійкість та стабілізувати процес формування поверхні.

На рисунку 1 представлено експериментальні залежності ширини фаски зносу інструмента від шляху різання при точінні сталей різної твердості. Графіки свідчать про значний вплив умов різання на форму кривих зношування, що необхідно враховувати під час призначення режимів обробки для забезпечення стабільної зносостійкості інструменту.

Математична модель, яка враховує залежності міцності оброблюваного матеріалу від температури, дозволила зменшити помилки розрахунку температури і напружень на передній поверхні інструменту. Реалізація отриманих рекомендацій на виробництві дає змогу скоротити витрати на інструмент до 2,5 разів, забезпечити регламентовану точність та якість поверхні, особливо під час обробки виробів важкого машинобудування.

Для врахування впливу температури та напружень на знос різального інструменту використано залежність інтенсивності зношування від температури формостійкості $\theta_ф$ та відносного касального напруження $\sigma_\tau/\sigma_в$.

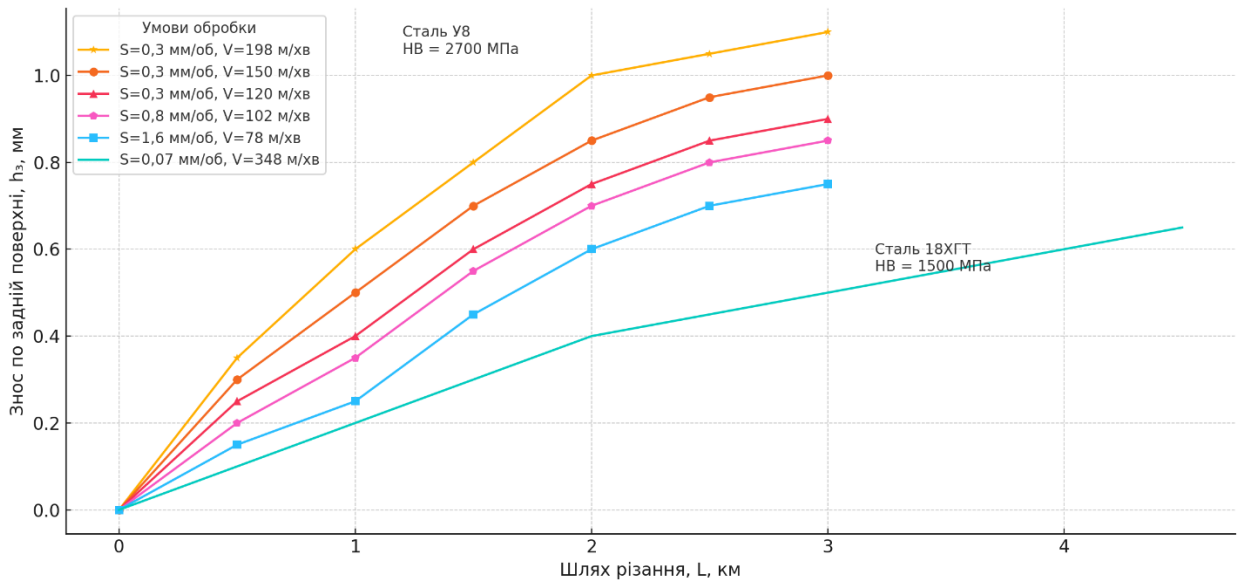


Рис. 1. Залежність ширини фаски зносу від шляху різання при точінні сталей підвищеної твердості

Температура формостійкості визначається як середньозважене значення температур передньої та задньої поверхонь різального леза:

$$Q_{\text{ф}} = \sqrt{\frac{(\theta n - 400)^2 + (\theta з - 400)^2}{2}} / \sqrt{2} + 400$$

де θn – температура на передній поверхні інструмента,

$\theta з$ – температура на задній поверхні інструмента,

400 – еталонна температура, що відповідає початку активного розм'якшення інструментального матеріалу.

Інтенсивність зношування визначається за узагальненою експоненційною моделлю:

$$S_l(\theta ф, \sigma\tau) = S_0(\sigma\tau) \cdot [k_1 \cdot (0{,}6 + 0{,}1 \cdot |\sigma\tau|)]^{1/2}$$

де S_0 – базова інтенсивність зношування при кімнатній температурі,

$\sigma\tau$ – касальне напруження,

k_1 – коефіцієнт, що враховує теплофізичні властивості інструментального матеріалу.

Таким чином, використання термомеханічного підходу до оцінки умов різання і оптимізації параметрів різального інструменту сприяє підвищенню технологічної ефективності виробництва на підприємствах важкого машинобудування України.

ВПЛИВ КРИВИНИ ПОВЕРХНІ РІЗАННЯ НА ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ ПРИ СВЕРДЛІННІ

[1]Кобельник О.С., [2]Лещук Р.Я., [2]Бей М.І., [2]Кобельник В.Р.
([1] ВСП «Тернопільський фаховий коледж ТНТУ імені І. Пулюя», Україна,
[2] Тернопільський національний технічний університет імені І. Пулюя, Україна)

Спіральні свердла мають ряд конструктивних та геометричних особливостей. Однією із таких основних конструктивних особливостей спірального свердла є те, що його головні різальні кромки (ГРК) розміщені під певним кутом φ до напряму подачі (головний кут в плані) і тому поверхню різання можна подати, як конічну, яка має певну сформовану в процесі обробки кривину. Так, наприклад, для свердл діаметрами 9 і 14мм, при середніх значеннях перемички 2 і 2,5мм: кривина ρ поверхні різання коливається в границях 0,22…1,00 і 0,14…0,80 відповідно. Така зміна кривини поверхні різання при свердлінні безперечно буде впливати на певні особливості процесу різання, а саме: коефіцієнт поздовжнього укорочення стружки k, величину кута зсуву θ (положення площини зсуву) і величину відносного зсуву ε.

Слід зазначити, що аналіз відомих літературних джерел показав, що переважно досліджувався вплив елементів режиму різання (глибини, подачі, швидкості різання) і геометричних параметрів різальної частини інструментів – різців на величини: k, θ і ε.

Питання впливу саме кривини оброблюваної поверхні на деякі характеристики процесу різання (тангенціальну складову сили різання) досліджено тільки при точінні і то частково.

Тому проведення, в імовірнісному аспекті, досліджень впливу кривини поверхні різання при свердлінні на коефіцієнт укорочення стружки – k_l, положення площини зсуву (кут зсуву θ) і відносний зсув - ε в певній мірі заповнить існуючу прогалину в цій області досліджень і є безперечно актуальним завданням. Для вирішення поставленого завдання необхідно: встановити стохастичність значень величин k_l, θ і ε та дослідити вплив кривини поверхні різання на ці величини.

Експериментальні дослідження здійснюється з використанням моделювання процесу різання шляхом використання комплекту різців з відповідними γ і α значення глибини різання t, подачі s, швидкості різання V і геометричних параметрів різальної частини різця – були постійними.

Отримали відповідні зразки стружки на різній кривині поверхні, визначили значення k_l. Опрацювавши статистичні ряди отримали експериментальні графіки залежностей $k_l = f(\rho)$ та емпіричні залежності для визначення k_l. Скориставшись моделлю зони деформації з однією площиною зсуву, після ряду спрощень отримали залежності θ та ε від коефіцієнта k_l та відповідно графіки залежностей θ та ε від кривини поверхні з характеристиками розсіювання величин. І, як результат, отримали емпіричні залежності для визначення θ та ε.

СТІЙКІСТЬ ІНСТРУМЕНТУ ПРИ ОБРОБЦІ НЕЖОРСТКИХ ГВИНТОВИХ ЗАГОТОВОК

[1]Кобельник О.С., [2]Лещук Р.Я., [2]Кобельник В.Р., [2]Лещук М.Р., [2]Буховець В.М.
([1] ВСП «Тернопільський фаховий коледж ТНТУ імені І. Пулюя», Україна,
[2] Тернопільський національний технічний університет імені І. Пулюя, Україна)

Сучасне виробництво висуває підвищені вимоги до якості та точності деталей машин, у тому числі й до деталей, що мають нежорсткі чи маложорсткі гвинтові поверхні. Процес обробки різанням нежорстких гвинтових заготовок, які використовуються у гвинтових конвеєрах, є дуже складним, а результат його визначається багатьма параметрами. Нерівномірність фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу, структурні зміни зрізуваного шару металу в процесі обробки через сильне деформування і нагрів, безперервна зміна геометрії різальної кромки, різні фізико-хімічні ефекти, що з'являються і зникають в процесі різання значно впливають на стійкість різального інструменту. Тому вивчення і дослідження стійкості інструменту методом однофакторного аналізу є затрудненим, оскільки важко стабілізувати незалежні змінні величини і по черзі змінювати деякі з них, щоб встановити певні закономірності. Тому практично ці закономірності можна виявити емпірично, одночасно змінюючи декілька змінних, щоб скоротити час і витрати для експерименту.

Для дослідження цього процесу доцільно використовувати метод оптимального планування (метод характеристичних поверхонь), який вперше запропонований проф. Боксом і адаптований до технології машинобудування проф. Вульфом А.М.

Необхідно зазначити, що математична модель описується не системою рівнянь в цілому, а лише певним комплексом факторів, які найбільше інтересують дослідників, який намагається творити якомога простішу модель, щоб забезпечити її вирішення.

Так, зміна стійкості інструменту *T* залежно від швидкості різання *V*, подачі *S* і глибини різання *t* описується математичною залежністю $T^m = Cvs^p t^q$, тут приймається *T* – залежна і *V,s,t* – незалежні змінні процесу різання.

В логарифмічному вигляді рівняння буде поліномом першої степені:

$$\ln T = \frac{\ln C}{m} + \frac{\ln V}{m} + \frac{P}{m}\ln S + \frac{q}{m}\ln t;$$

Експерименти планували на основі багатофакторного аналізу, тобто одночасної зміни всіх змінних факторів $X_1(V)$, $X_2(S)$, $X_3(t)$ з необхідним визначенням постійної b_0 і коефіцієнтів b_1, b_2, b_3. та врахуванням похибки: $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \varepsilon$.

Після проведення математичного планування багатофакторного експерименту та обробки експериментальних даних отримали цільову функцію в натуральних значеннях $T = e^{11,24}/V^{1,67}S^{0,46}t^{0,35}$, хв.

ЕНТРОПІЙНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ МАШИН У РЕМОНТНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Ковалевський С.В.
(ДДМА, м. Краматорськ - Тернопіль, Україна)

Одним із актуальних викликів для важкого машинобудування є забезпечення ефективного технічного стану обладнання на всіх етапах його життєвого циклу, особливо в умовах обмежених ресурсів та необхідності продовження ресурсу в ремонтному виробництві. У цьому контексті запропоновано використання ентропійного підходу для кількісної оцінки надійності машин.

У центрі дослідження — ентропія Шеннона, яка дозволяє розглядати надійність як рівень інформаційної визначеності щодо залишкового ресурсу технічної системи. Запропонована методологія базується на формалізованому аналізі ентропійних характеристик типових законів розподілу часу до відмови (нормального, експоненціального, Вейбулла, гамма-розподілу, логнормального, рівномірного та розподілу Пуассона) за умови однакових значень математичного сподівання та дисперсії [1,2,3]. Це дозволяє уніфіковано порівнювати моделі деградації й адаптувати прогнозні стратегії. Введено поняття залишкової ентропії — як кількісного індикатора післяремонтного стану вузлів. Цей показник дає змогу не лише оцінювати рівень невизначеності прогнозу, а й враховувати вплив самого технічного втручання на майбутній стан системи. Особливу увагу приділено побудові метрики ентропійного ризику, яка враховує як ймовірність відмови вузла, так і ступінь невизначеності її прогнозу. Така метрика дозволяє виконувати динамічне ранжування елементів за критичністю, формувати адаптивні графіки технічного обслуговування та зменшувати загальну кількість втручань без втрати надійності.

Оскільки ремонтне виробництво часто має справу з устаткуванням, для якого відсутні повні історичні дані або паспортна документація втрачена, критично важливою стає можливість реалізації підходів, здатних працювати в умовах неповної інформації. Ентропійний підхід виявився особливо ефективним саме в таких обставинах, оскільки він дозволяє здійснювати оцінювання не абсолютного часу до відмови, а рівня визначеності, пов’язаного з прогнозом ресурсу.

У рамках дослідження було проведено порівняльний аналіз сценаріїв використання ентропійних індикаторів у різних виробничих середовищах — від дрібносерійного до масового виробництва. Особливу цінність ентропійна модель продемонструвала в умовах одиничного ремонту складних технічних систем, де кожен вузол може мати власну історію експлуатації та особливості деградації.

Значущим результатом стала розробка процедур агрегації ентропійних характеристик на рівні машинних парків і технологічних ліній. Це дало змогу вийти за межі індивідуальних моделей та запропонувати інтегральні індикатори

надійності для виробничих підрозділів. Отже, оцінка надійності перестає бути лише питанням інженерної діагностики і набуває стратегічного значення для планування виробничих ризиків і оптимізації витрат.

Системна інтеграція з діючими платформами цифрового виробництва дала змогу об'єднати дані з численних джерел — від сенсорів і ЧПУ-систем до ERP-рішень. Таким чином, ентропійна модель стає не окремим модулем, а складовою частиною цифрового контуру підприємства, підтримуючи прийняття рішень у режимі, близькому до реального часу.

На базі запропонованих підходів розроблено архітектуру цифрового модуля діагностики, який може бути реалізований як частина MES/SCADA/IoT-систем у виробничих умовах. Модуль виконує обчислення залишкової ентропії, прогнозування ризику та видає рекомендації з ТО. Алгоритм реалізовано у вигляді псевдокоду з використанням сенсорних даних і даних напрацювання, що робить систему гнучкою до конкретних умов експлуатації. Моделювання показало, що впровадження ентропійної моделі на підприємстві з обслуговування металорізального обладнання (70 одиниць) дозволяє зменшити кількість аварійних зупинок на 43 %, знижити витрати на обслуговування на 18 %, збільшити інтервал між втручаннями на 12 %, забезпечити вірогідність переваги ентропійного підходу понад 95 %.

Отримані результати свідчать, що ентропійна модель є потужним інструментом у стратегії переосмислення технічного обслуговування, орієнтованої на індивідуальну поведінку обладнання та інформатизоване управління ресурсами. Інтеграція ентропійних методів у цифрові системи технічної діагностики створює наукове підґрунтя для побудови інтелектуальних самонавчальних платформ керування життєвим циклом виробів машинобудування, що цілком відповідає завданням автоматизації та підвищення надійності в умовах сучасного виробництва.

Система може бути налаштована на накопичення та використання зворотного зв'язку — як від інженерів, що здійснюють обслуговування, так і від систем моніторингу. Це створює передумови для поступового вдосконалення алгоритмів і адаптації їх до специфіки конкретного виробництва.

Література:

1. Bodnarchuk I., Mishura Y., Ralchenko K. Properties of the Shannon, Rényi and other entropies: dependence in parameters, robustness in distributions and extremes [Електронний ресурс] / I. Bodnarchuk, Y. Mishura, K. Ralchenko. – 2024. – Режим доступу: https://arxiv.org/abs/2411.15817

2. Billio M., Casarin R., Costola M., Pasqualini A. An entropy-based early warning indicator for systemic risk // Journal of International Financial Markets, Institutions and Money. — 2016. — Vol. 45. — P. 42–59. — DOI: https://doi.org/10.1016/j.intfin.2016.05.008.

3. Boškoski P., Gašperin M., Petelin D., Juričić Đ. Bearing fault prognostics using Rényi entropy based features and Gaussian process models // Mechanical Systems and Signal Processing. – 2015. – Т. 52–53. – С. 327–337. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2014.07.011.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ОБРОБКИ ВЕЛИКИХ ДЕТАЛЕЙ У ВАЖКОМУ МАШИНОБУДУВАННІ УКРАЇНИ

Ковальов В.Д., Антоненко Я.С., Пономаренко О.В., Васильченко Ю.В., Шаповалов М.К.
(ДДМА, м. Краматорськ-Тернопіль, Україна)

Сучасні виклики оборонної, транспортної та енергетичної галузей вимагають від підприємств важкого машинобудування України високоточного виготовлення великогабаритних деталей зі складною геометрією, що зазнають значного теплового і силового навантаження при обробці. Типові приклади — колінчасті вали, гідротурбінні деталі, корпуси та підшипникові вузли діаметром до 3 м і довжиною до 12 м.

Огляд сучасних досліджень [1–3] свідчить, що традиційні методи не забезпечують необхідної точності через:

- деформації, спричинені гравітаційними та тепловими навантаженнями;
- неефективність стандартних кріплень для довгих валів або великих деталей;
- відсутність засобів компенсації відхилень у режимі реального часу;
- обмеженість стаціонарних вимірювальних систем у разі великих розмірів об’єктів.

У контексті машинобудівних підприємств України постає потреба вирішення таких задач:

- розробка гнучких, адаптивних, багатоточкових кріплень для зменшення деформацій [2];
- побудова інтегрованих моделей, що враховують одночасний вплив термомеханічних факторів [3];
- застосування мобільних роботизованих платформ для обробки й вимірювання деталей великого розміру [1, 4];
- оптимізація режимів обробки з урахуванням впливу зносу інструменту, теплового дрейфу та динамічних змін у геометрії деталі.

Виконання вказаних задач забезпечить створення науково обґрунтованої методики високоточної обробки, яку можна адаптувати до наявного обладнання підприємств важкого машинобудування України з мінімальними затратами.

Література: 1. Guo Q. Reviews on the machining and measurement of large components. – Advances in Mechanical Engineering, 2023, 15(9): 1–11.

2. Wang Y. et al. Optimisation of machining fixture layout under multi-constraints. – Int J Mach Tools Manuf, 2006.

3. Denkena B., Schmidt C. Thermal and mechanical influences on shape deviations in machining structural parts. – Int J Mach Tools Manuf, 2010.

4. Zhou Z. et al. A combined calibration method of a mobile robotic measurement system for large-sized components. – Measurement, 2022.

МЕТОДИКА ГЕОМЕТРИЧНОЇ ВЕРИФІКАЦІЇ СТАНИН ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ЗВОРОТНОГО ІНЖИНІРИНГУ

[1]Ковальов В.Д., [1]Антоненко Я.С., [2]Сенчишин В.С.
[1](ДДМА, м. Краматорськ-Тернопіль, Україна)
[2]Тернопільський національний технічний університет імені І. Пулюя, Україна)

Жорсткість системи і її елементів, в першу чергу елементів, що мають значну масу, таких як станини, істотно впливає на стійкість процесу різання, і, як наслідок, на точність та якість виготовленої продукції. В даний час перевірка геометричних компонентів у промисловому застосуванні в основному покладається на традиційні методи вимірювання. Хоча ці методи ефективні для оцінки базових геометричних форм, вони стикаються з обмеженнями при застосуванні до складної геометрії з незначними відхиленнями [1]. З розвитком технологій зворотного інжинірингу стала можливою більш ефективна і точна перевірка складних компонентів, в тому числі станин зварних конструкцій важких верстатів. Реінжиніринг передбачає аналіз існуючого продукту або компонента для розуміння його конструкції, функцій та параметрів. Він широко використовується у виробництві, контролі якості, діджиталізації та метрології. Процес складається з оцифрування об'єкта за допомогою 3D-сканування, обробки отриманих даних, реконструкції CAD-моделі та перевірки її точності. Тривимірні сканери дозволяють збирати високодеталізовані геометричні дані, полегшуючи створення цифрових моделей, які можна порівняти із заздалегідь визначеними специфікаціями САПР.

Однією з основних проблем геометрично складних деталей є термічна деформація, яка виникає через нерівномірне нагрівання та охолодження матеріалу [2]. Це явище спричиняє усадку, зміщення та викривлення деталей, що призводить до відхилень від необхідних розмірів. Іншим критичним фактором є якість напівфабрикатів, де неоднорідність матеріалу та залишкові напруження сприяють деформаціям навіть на початкових етапах процесу створення конструкції. Методи керування точністю важкого верстата зі зворотними зв'язками були розглянуті в попередніх дослідженнях [2]. В результаті дослідження запропоновано схеми і конструкції адаптивних елементів керування геометричною точністю технологічних систем. Удосконалено способи адаптивного керування точністю за відхиленнями елементів несучої системи і похибок готової деталі. Поряд із тим, застосування технологій 3D-сканування на основі реінжинірингу для контролю якості може бути корисним для визначення загальної залишкової деформації, висвітлюючи взаємодію деформацій між кількома зварювальними процесами.

Література: 1. Gabštur, P., Kočiško, M., Kaščak, J., & Pollák, M. (2025). Methodology for Verification of Geometrically Complex Components Through Reverse Engineering. *Applied Sciences*, *15*(7), 3963. https://doi.org/10.3390/app15073963. **2.** Диссертація Підвищення точності важких токарних верстатів шляхом управління параметрами несучої системи /Антоненко Я.С. – Краматорськ – 2019 - УДК 621.9.06-229.004

КОМПОНОВКА ВАЖКИХ ТОКАРНИХ ВЕРСТАТІВ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛЕЙ ОБОРОННОГО ТА ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Ковальов В.Д., Чуйко В.В., Лобур Ю.М., Голубицький Е.В.
(ДДМА, м. Краматорськ-Тернопіль, Україна)

В умовах воєнного стану та необхідності релокації промислових підприємств України виникає потреба у створенні технологічно мобільних, жорстких і точних верстатів для обробки великогабаритних деталей оборонного та енергетичного призначення. У роботі запропоновано застосування методики адаптивного формування компоновки важких токарних верстатів на основі структурно-функціонального аналізу вузлів і елементів системи. В основу покладено класифікацію та оцінку компоновочних рішень за критеріями функціонального навантаження, просторової жорсткості, технологічної мобільності та сумісності з системами адаптивного керування. Методика, передбачає побудову структурної матриці, яка дозволяє обрати раціональні конструкції станини, опор, приводів та інтерфейсів відповідно до призначення виробу і умов експлуатації. Особливу увагу приділено поєднанню модульного принципу побудови з адаптивними гідростатичними опорами та цифровими системами діагностики, що підвищує точність, надійність і ресурс обробного обладнання. Для важких токарних верстатів, призначених для обробки корпусів снарядів, елементів трубопроводів, турбінних фланців, запропоновано конфігурації з підвищеною динамічною стійкістю та мінімальним енергоспоживанням.

Запропонований підхід дозволяє адаптувати конструкцію верстата до конкретних умов виробництва, а також спрощує транспортування, монтаж і технічне обслуговування після релокації підприємства. Рис. 1 ілюструє логіку вибору вузлів компоновки з урахуванням критеріїв пріоритетності. Запропонований алгоритм вибору елементів компоновки верстата призначений для структурного синтезу та оптимізації компонувальних рішень у конструкціях важкого металообробного обладнання. Він базується на послідовному врахуванні геометричних, технологічних та метрологічних параметрів системи. Початкові етапи включають формалізацію поверхні обробки у вигляді параметричного рівняння, що дозволяє застосовувати математичне моделювання при подальшому аналізі. Наступним кроком є визначення структурного складу металорізальної системи, що відповідає базовому варіанту побудови.

Далі виконується синтез можливих структур, розраховуються нормалі та баланс геометричних похибок, а також оцінюється вплив деформаційних чинників. Завершальні етапи зосереджуються на порівнянні альтернативних компоновок, встановленні критеріїв та виборі раціонального варіанту, придатного для конкретних умов експлуатації.

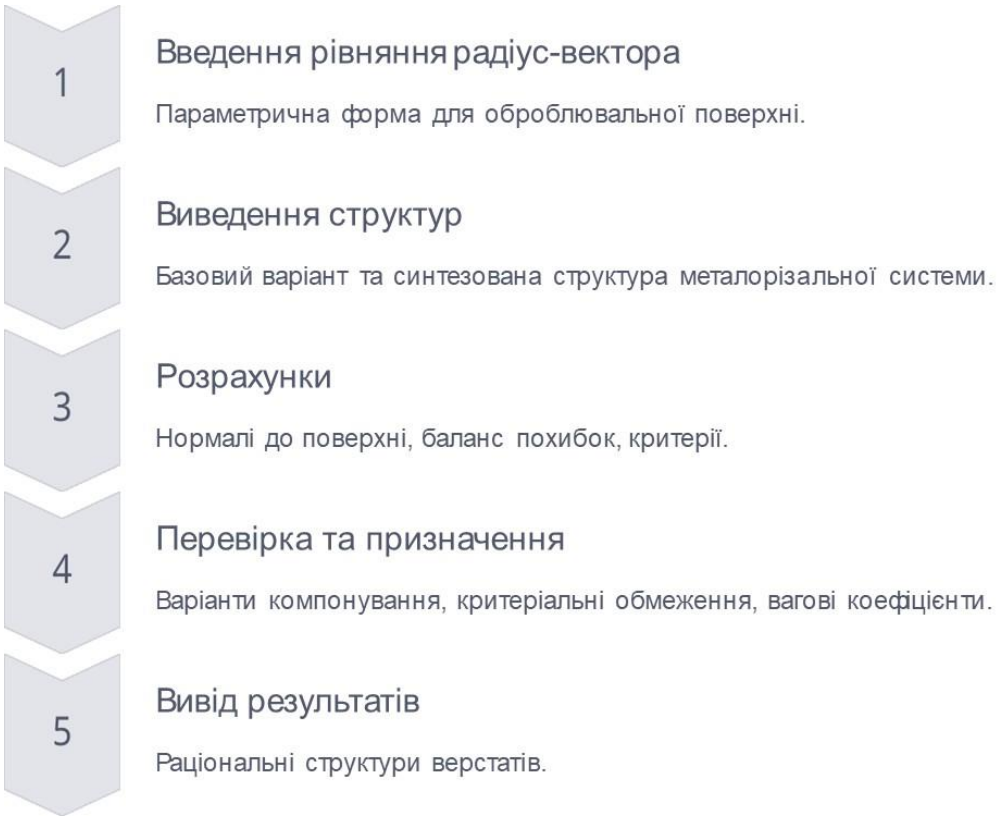


Рис. 1. Алгоритм вибору елементів компоновки важкого токарного верстату.

Запропонована методика проєктування компоновки важких токарних верстатів забезпечує новий рівень мобільності, точності та функціональної ефективності металообробного обладнання, що є критично важливим для умов воєнного стану та релокації виробництва. Поєднання структурно-функціонального аналізу з модульними рішеннями та цифровими системами контролю дозволяє сформувати інженерні рішення, орієнтовані на обробку деталей оборонного та енергетичного призначення. Результати дослідження підтверджують доцільність впровадження алгоритмізованого підходу до вибору елементів компоновки, що базується на чітких функціональних, геометричних, технологічних і метрологічних критеріях. Це дає змогу створювати конструкції верстатів, адаптовані до швидкого розгортання у нових виробничих умовах, з одночасним забезпеченням високої надійності та стабільності процесів обробки.

ДОСЛІДЖЕННЯ НЕОБХІДНОГО СТУПЕНЯ ДЕФОРМАЦІЇ КОВАЛЬСЬКОЇ ОПЕРАЦІЇ ОСАДЖУВАННЯ ПРИ КУВАННІ ГАКІВ

Колісник К. Д., Чухліб В. Л.
(Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна)

У важкому машинобудуванні однією з ключових задач є виготовлення відповідальних деталей, таких як вантажопідіймальні гаки, що експлуатуються в умовах значних динамічних навантажень. Від операції осаджування (рис. 1) при виготовленні куванням гаків залежить однорідність структури, міцність і довговічність таких елементів. Вибір необхідного ступеня деформації є важливим, адже його порушення може призвести до виникнення внутрішніх дефектів або зниження ресурсу деталі [1].

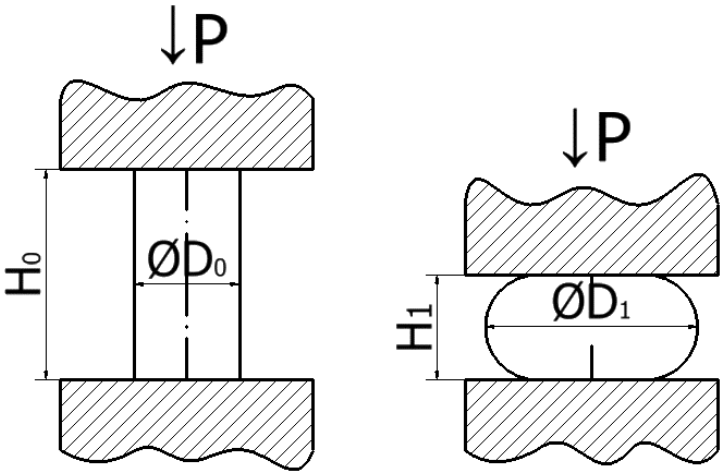


Рис. 1. Ескіз ковальської операції осаджування

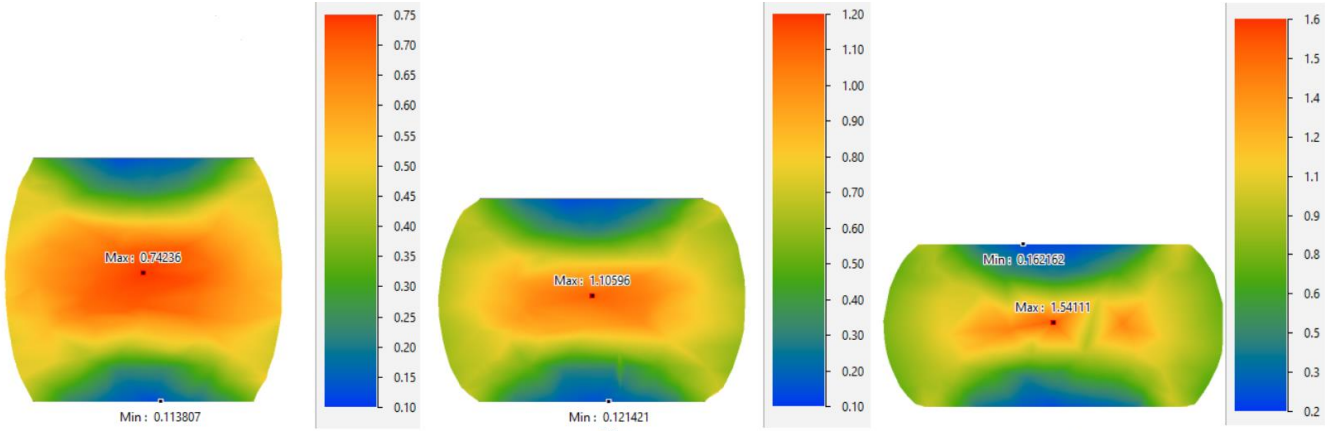
У роботі [2] автори визначили для поковок з титанових сплавів необхідний ступінь деформації при осаджуванні, який становить 30%. Однак специфіка осаджування при виготовленні гаків, зокрема з урахуванням пластичної деформації, внутрішніх напружень, температурного поля та орієнтації волокон, досі недостатньо опрацьована. Відсутні системні підходи до встановлення необхідного ступеня деформації з використанням чисельного моделювання.

Метою дослідження є визначення необхідного ступеня деформації осаджування заготовки зі сталі 20 для гака шляхом комп'ютерного моделювання.

Завдання: провести серію досліджень в середовищі QForm [3] , що дозволяє візуалізувати деформаційний процес у реальному часі, з різними ступенями деформації та проаналізувати отримані дані щодо значення пластичної деформації, напружено-деформованого стану, температурного режиму, орієнтації волокон та утворення дефектів.

Досліджено варіанти ступеня деформації: 20%, 30%, 40%, 50%, 60% та 70%. Результати показали, що при ступені деформації 40–50% (рис. 2) досягається найкраще ущільнення матеріалу, рівномірний розподіл пластичної

деформації, напружень та відсутність перевантажень. При деформації 60% спостерігається підвищення ризику утворення тріщин і порожнин у центральній частині заготовки.



а) б) в)

а) 40%; б) 50%; в) 60%

Рис. 2. Розподілення пластичної деформацій в перерізі заготовки з різним ступенем деформації

Таблиця 1 - Показники пластичної деформації

Ступінь деформації (%)	Мінімальне значення (Min)	Максимальне значення (Max)
40	0,11	0,74
50	0,12	1,1
60	0,16	1,5

Комп’ютерне моделювання в QForm підтвердило, що раціональний ступінь деформації осаджування для виготовлення гаків зі сталі 20 становить 40–50%. Це забезпечує високі експлуатаційні характеристики виробу та знижує ймовірність внутрішніх дефектів.

Перспективи дослідження — для більш детальнішого дослідження, можна застосувати метод оцінки нерівномірності розподілення деформацій [2], результати можуть бути застосовані для вдосконалення технологічних процесів на підприємствах важкого машинобудування та підвищення якості кованих деталей і зниження виробничих витрат.

Література:

1. Є. І. Шифрін, Є. І. Сокол, В. Л. Чухліб, С. О. Губський, P. Lechner, W.Volk. / Якість металопродукції : навчальний посібник – Харків : НТУ «ХПІ», 2025. – 415 с.

2. Чухліб В.Л. Дослідження впливу параметрів процесу попереднього осаджування на нерівномірність розподілення деформацій в металі при протягуванні заготовок з титанового сплаву / В.Л. Чухліб, Є.С. Клемешов, В.О. Гринкевич, Х. Дия // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія «Машинобудування». – К.: НТУУ «КПІ». - 2016. - № 1 (76). - С. 147 – 155.

3. Qform UK. URL: https://www.qform3d.com/ (accessed May 21, 2025).

РОЛЬ СОЦІАЛЬНО-ПСИХОЛОГІЧНИХ МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ НА МАШИНОБУДІВНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ

Кондратенко О.О., Бєлікова О.Ю., Аненко Н.В.
(ДДМА, м. Краматорськ - Тернопіль, Україна)

Сучасне виробництво — це не лише обладнання і технології, а й люди, які забезпечують ефективність і якість роботи. Машинобудівна галузь часто стикається з високим рівнем стресу, втоми, міжособистісних конфліктів. З одного боку - технічні інновації вимагають гнучкої адаптації персоналу, з іншого - в умовах воєнного стану особливо вразливий психічний стан людини, який супроводжується зміною поведінки, низьким рівнем сприйняття інформації, агресивним ставленням до оточуючих. Соціально-психологічні методи розглядаються як управлінські інструменти, спрямовані на створення позитивного морального клімату, мотивацію, розвиток колективу та гармонійні відносини між працівниками.

Цілями дослідження є визначення та обґрунтування ролі соціально-психологічних методів управління у забезпеченні ефективності роботи машинобудівного підприємства, особливо в умовах підвищеного стресу, нестабільності та кадрових викликів.

Теоретичною основою соціальних і психологічних методів управління є соціальна психологія і психологія особистості як науки про закони психофізичної діяльності індивіда, різних суспільних груп, колективів. Мета цих методів управління - вивчати і використовувати закони психічної діяльності людей для оптимізації психологічних явищ і процесів в інтересах суспільства і особистості. У цьому полягає єдність, тісний зв'язок і взаємозумовленість соціальних і психологічних методів управління [1].

Разом з тим між ними існують і відмінності: за допомогою соціальних методів управління здійснюється управління відносинами в колективах і між колективами; за допомогою психологічних – управління поведінкою індивіда і міжособовими стосунками у колективі [2].

У машинобудуванні висока продуктивність і точність залежать не лише від технологій, а й від злагодженої роботи команди. Соціально-психологічні методи допомагають:

- розв’язувати конфлікти;
- формувати позитивний клімат;
- знижувати плинність кадрів.

Важливого значення соціально-психологічні методи набувають в умовах воєнного стану, адже війна впливає не лише на економіку, а й на психоемоційний стан працівників, трудову дисципліну та здатність колективу діяти згуртовано. Розглянемо необхідність використання саме соціально-психологічних методів в цих умовах.

1. Підвищений рівень тривожності та стресу. Працівники постійно перебувають під впливом новин про бойові дії, втрату близьких, мобілізацію, обстріли, відключення електроенергії. Стрес негативно впливає на концентрацію

уваги, мотивацію до праці, якість виконання завдань, фізичний і психічний стан.

2. Колектив як джерело сили і підтримки. На фоні невизначеності дуже важливо будувати відчуття єдності, взаємної довіри й солідарності в колективі. Соціально-психологічні методи допомагають: організувати волонтерські ініціативи, проводити заходи взаємопідтримки, створювати культуру «свого серед своїх».

3. Збереження мотивації у кризових умовах. Грошова мотивація може бути обмеженою через нестабільність ринку. Соціально-психологічні методи (визнання, дяка, моральне заохочення, довіра) стають ключовими стимулами для збереження продуктивності, запобігання вигоранню, зміцнення почуття значущості праці.

4. Підтримка мобілізованих та їхніх родин. У багатьох підприємствах працівники або мобілізовані, або мають родичів на фронті. Соціально-психологічні методи дозволяють організувати взаємодопомогу сім'ям військових, підтримувати зв'язок із мобілізованими (інформаційні листи, подарунки), зменшити відчуття втрати чи ізоляції в родинах.

5. Адаптація до нестабільних умов праці. Війна змінює умови роботи: можуть бути перебої з електрикою, скорочення робочого дня, евакуація. Соціально-психологічна гнучкість (наставництво, співчуття, чесна комунікація) дає змогу ефективно адаптувати колектив до змін без паніки.

На сучасному етапі діяльності машинобудівних підприємств треба адаптувати та розвивати інститут наставництва. Необхідно мотивувати досвідчених працівників та проводити тренінги для наставників із розвитку комунікативних навичок і методик навчання. Крім цього, забезпечити психологічну сумісність між наставником і новачком (за участю HR-фахівця або психолога).

На провідних заводах Німеччини та Польщі практикують «психологічний скринінг» молодих працівників перед стажуванням. Це допомагає обрати оптимального наставника, а не «першого вільного».

Залучення психолога або HR-консультанта дозволить:

- забезпечити хоча б часткову психологічну підтримку для працівників, особливо в умовах стресу (військова тривога, нестабільність);
-проводити короткі анонімні опитування щодо емоційного стану колективу;
- створити «точку довіри» — місце або контакт, куди працівник може звернутися з особистими труднощами.

Впровадження зазначених рекомендацій підвищить ефективність взаємодії в колективі та зменшить рівень емоційного вигорання.

Література:

1. Мельник І. О., Разговорова А. А. Застосування соціально-психологічних методів управління колективом. *Modern Economics*. 2019. № 18(2019). С. 99-105. **2.** Пшик-Ковальська О.О., Ковальський О.І. Розвиток соціально-психологічних методів управління персоналом в умовах воєнного стану. Менеджмент та підприємництво в Україні: етапи становлення і проблеми розвитку. 2023. № 2 (9). С.104-109.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДИСКРЕТИЗАЦІЇ ЗАДНЬОЇ ПОВЕРХНІ ІНСТРУМЕНТА НА ПРОЦЕС РІЗАННЯ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ

[1]Корбут Є.В., [1]Парненко В.С., [2]Ніколаєнко Т.П., [1]Петров О.Д.
([1]Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна, [2]Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна)

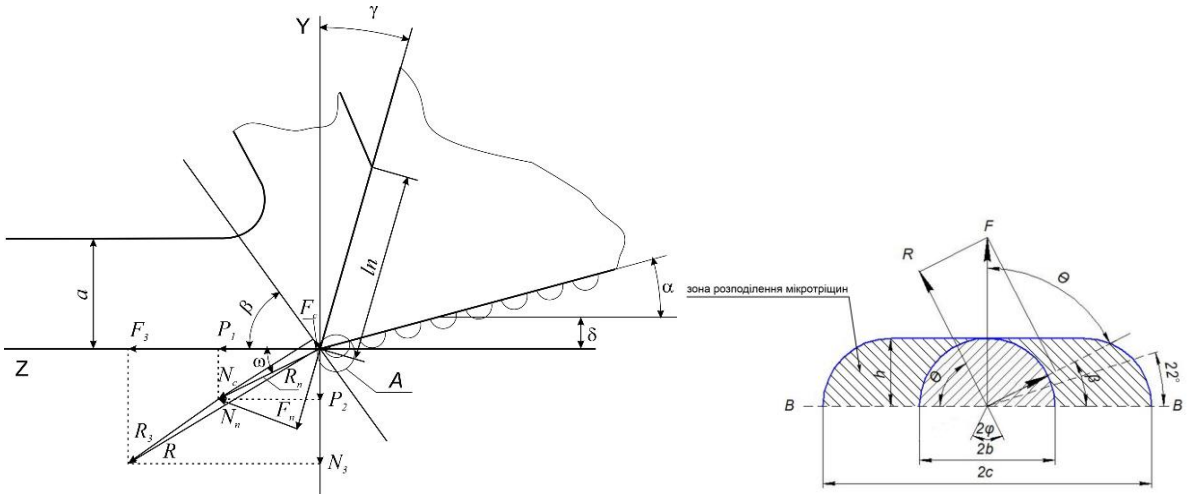
Полімерні композиційні матеріали (ПКМ) широко використовуються в сучасному машинобудуванні завдяки своїм високим експлуатаційним властивостям. Одна з причин, яка впливає на якість обробленої поверхні деталей з ПКМ являється теплонапруженість процесу різання, що в основному викликана силами тертя задньої поверхні інструмента та оброблюваного матеріалу, що не дозволяє підвищити продуктивність обробки без втрати якості.

Метою роботи є визначення впливу конструкції інструмента на якість отриманої поверхні деталі з ПКМ шляхом моделювання механізму процесу різання полімерних композиційних матеріалів інструментом з дискретно модифікованою задньою поверхнею.

Для визначення впливу дискретизації задньої поверхні інструмента на величину та розподіл сил різання проведено порівняльне дослідження сил різання при використанні інструмента зі суцільними різальними поверхнями та інструмента з дискретно модифікованими робочими поверхнями.

Для визначення впливу дискретизації задньої поверхні інструмента на величину та розподіл сил різання проведено порівняльне дослідження сил різання при використанні інструмента зі суцільними різальними поверхнями та інструмента з дискретно модифікованими робочими поверхнями.

На рис. 1 представлена схема сил, які діють в зоні різання при обробці ПКМ.



N_n – нормальна сила, яка діє по передній поверхні, $N_з$ - нормальна сила, яка діє по задній поверхні, N_c – нормальна сила зсуву, F_c – дотична сила зсуву, F_n – сила тертя по передній поверхні, $F_з$ – сила тертя по задній поверхні, R_n – рівнодіюча сила (сила стружкоутворення), R – сумарна сила різання.

Рис. 1. Схема сил різання при обробки ПКМ

З рис. 1 випливає, складові рівнодіючої сили дорівнюють (1, 2):

$$P_Z = P_1 + F_з = N_n \cos\gamma + F_n \sin\gamma + F_з \quad (1)$$
$$P_Y = P_2 + N_з = F_n \cos\gamma - N_n \sin\gamma + N_3 \quad (2)$$

Нормальна сила по передній поверхні та сила тертя по передній поверхні дорівнюють (3, 4):

$$N_n = P_1 \sin(\omega + \gamma)/\cos\omega \quad (3)$$
$$F_n = P_1 \cos(\omega + \gamma)/\cos\omega \quad (4)$$

Звідси (5, 6):

$$\sigma_n = P_1 \sin(\omega + \gamma)/\,(\mathrm{b}l_n \cos\omega) \quad (5)$$
$$\tau_n = P_1 \cos(\omega + \gamma)/\,(\mathrm{b}l_n \cos\omega) \quad (6)$$

де, σ_n – нормальне напруження по передній поверхні, τ_n – дотичне напруження, яке діє по передній поверхні, b – ширина зрізу, l_n – довжина контакту по передній поверхні.

Сили, що діють в площині зсуву (7, 8):

$$N_c = R_n \sin(\omega + \beta) \quad (7)$$
$$F_c = R_n \cos(\omega + \beta) \quad (8)$$

Звідси (9, 10):

$$\sigma_c = R_n \sin(\omega + \beta) \sin\beta\,/(ba) \quad (9)$$
$$\tau_c = R_n \cos(\omega + \beta) \sin\beta\,/(ba) \quad (10)$$

Сили тертя по передній та задній поверхні (11, 12):

$$F_n = \mu \times N_n \quad (11)$$
$$F_з = \mu \times N_з \quad (12)$$

де μ – коефіцієнт тертя.

Сили, які діють по задній поверхні інструменту виникають у результаті пружного відновлення оброблюваного матеріалу та згідно дослідженням проф.

О.О. Степанова можна розглядати як статичне вдавлювання задньої поверхні інструмента в матеріал композита.

Використовуючи дані досліджень проф. М.В. Верезуба, сили, які діють по задній поверхні інструмента без врахування кута орієнтації армуючих волокон та довжини контакту по задній поверхні можна записати у вигляді (13, 14):

$$\tau_з = 0{,}5\rho \cdot E \cdot \beta(1 - \mu \cdot cos\alpha \cdot \sin\alpha) \quad (13)$$

$$N_з = 0{,}5 \cdot \rho \cdot E \cdot \delta \cdot cos^2\alpha \quad (14)$$

де ρ – радіус закруглення різальної кромки, E – модуль пружності матеріалу ПКМ.

Звідси, використовуючи залежності (13, 14) та рис.1:

$$\sigma_з = 0{,}5 \cdot \rho \cdot E \cdot \delta \cdot cos^2\alpha / bl_з \quad (15)$$

$$\tau_з = 0{,}5\rho \cdot E \cdot \beta(1 - \mu \cdot cos\alpha \cdot \sin\alpha) / bl_з \quad (16)$$

Із залежностей (15) та (16) отримано значення нормальних та дотичних напружень які діють по задній поверхні інструмента.

В процесі контакту різальної кромки інструменту з модифікованою робочою поверхнею у вигляді дискретних ділянок з регулярно розташованими на них глобулами відбувається направлене руйнування матеріалу композиту в об'ємі зрізаємого шару [1], в результаті чого відбувається зародження, ріст та злиття мікротріщин у макротріщини. Для того, щоб дати оцінку ефективності використання даного виду інструменту для обробки ПКМ, досліджено утворення мікротріщин, що виникають під дією глобули на дискретній ділянці задньої поверхні інструмента, визначено їх розміри та поведінку.

Підсумком роботи є встановлення залежності між конструкцією інструмента, параметрами процесу різання та якістю обробленої поверхні деталей з полімерних композиційних матеріалів. Для підтвердження отриманих результатів необхідно провести відповідні експериментальні дослідження. Отримані результати можуть бути використані при оптимізації технологічних режимів обробки ПКМ з метою підвищення якості та надійності виготовлених деталей.

Література:

1. Корбут Є., Парненко В., Ніколаєнко Т., Плівак О. Дослідження точності отворів у волокнистих полімерних композиційних матеріалах при обробці свердлами з дискретними покриттями глобулярного типу на робочій поверхні // Технічні науки та технології. – 2022. – № 1(27). – С. 101–107.

РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЛІНІЙНИМ АКТУАТОРОМ ДЛЯ НАЦІЛЮВАННЯ БРАНДСПОЙТА РОБОТОМ-МАНІПУЛЯТОРОМ

Корендій В.М., Качур О.Ю., Пилип М.В., Карпин Р.Б.
(Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна)

Забезпечення ефективного та безпечного гасіння пожеж є критично важливим завданням, для вирішення якого все частіше залучаються роботизовані системи. Невід'ємною складовою таких систем є роботи-маніпулятори, призначені для точного позиціонування засобів пожежогасіння, зокрема брандспойтів. Успішна реалізація цих завдань базується на ретельному структурному та кінематичному аналізі маніпуляторів [1], а також на розробці та дослідженні спеціалізованих конструкцій, безпосередньо орієнтованих на керування брандспойтами [2, 3]. При цьому, оптимізація конструктивних параметрів таких роботизованих комплексів є ключовою для забезпечення їх ефективності та надійності в експлуатаційних умовах [4]. Важливим аспектом у цьому контексті є розробка прецизійних систем керування виконавчими механізмами, серед яких лінійні актуатори посідають значне місце завдяки своїй здатності забезпечувати точне та швидке лінійне переміщення, що є критичним для ефективного націлювання. Дана стаття зосереджена на розробці системи керування лінійним актуатором, що є частиною робота-маніпулятора, для вирішення задачі точного націлювання брандспойта у складі автоматизованих систем пожежогасіння, розвиваючи попередні дослідження авторів у галузі проектування та аналізу маніпуляційних пристроїв [5].

Досліджуваний робот-маніпулятор (рис. 1), призначений для точного керування та націлювання пожежного брандспойта, має шарнірно-важільну конструкцію та побудований за кутовою (ангулярною) кінематичною схемою, де всі рухомі з'єднання є обертальними. Така конструкція забезпечує високу маневреність та гнучкість у робочій зоні, що є критично важливим для завдань пожежогасіння. Маніпулятор може бути розгорнутий як стаціонарно, з кріпленням основи до нерухомого фундаменту, так і мобільно, шляхом монтажу на колісну або гусеничну платформу для розширення операційної зони.

Основу конструкції складає масивна плита 1, яка забезпечує її стійкість та слугує основою для кріплення всіх решта ланок маніпулятора. Горизонтальне обертання маніпулятора здійснюється за допомогою привода, що включає електродвигун 8 та редуктор 11, дозволяючи маніпулятору охоплювати широкий азимутальний діапазон. Сама рука маніпулятора складається з кількох ключових ланок: плечова ланка 3 з'єднується з приводом горизонтального обертання через підшипникові опори, а її кутове положення (нахил) відносно горизонтальної площини контролюється лінійним електроприводом 15. Ліктьова ланка 4 з'єднана з плечовою також через підшипникові вузли, і її кут також регулюється окремим лінійним електроприводом 16, дозволяючи змінювати виліт руки. Ланка передпліччя 5 з'єднується з ліктьовою та має здатність обертатися навколо своєї поздовжньої осі за допомогою електродвигуна 9 та поворотного механізму

12. Вузол кисті 6 кріпиться до передпліччя через підшипникові опори 14, а його кутове положення контролюється електродвигуном 10 через пасову передачу 13. Він розрахований на забезпечення додаткового ступеня вільності для точнішого орієнтування схоплювача 7 пожежного брандспойта у просторі.

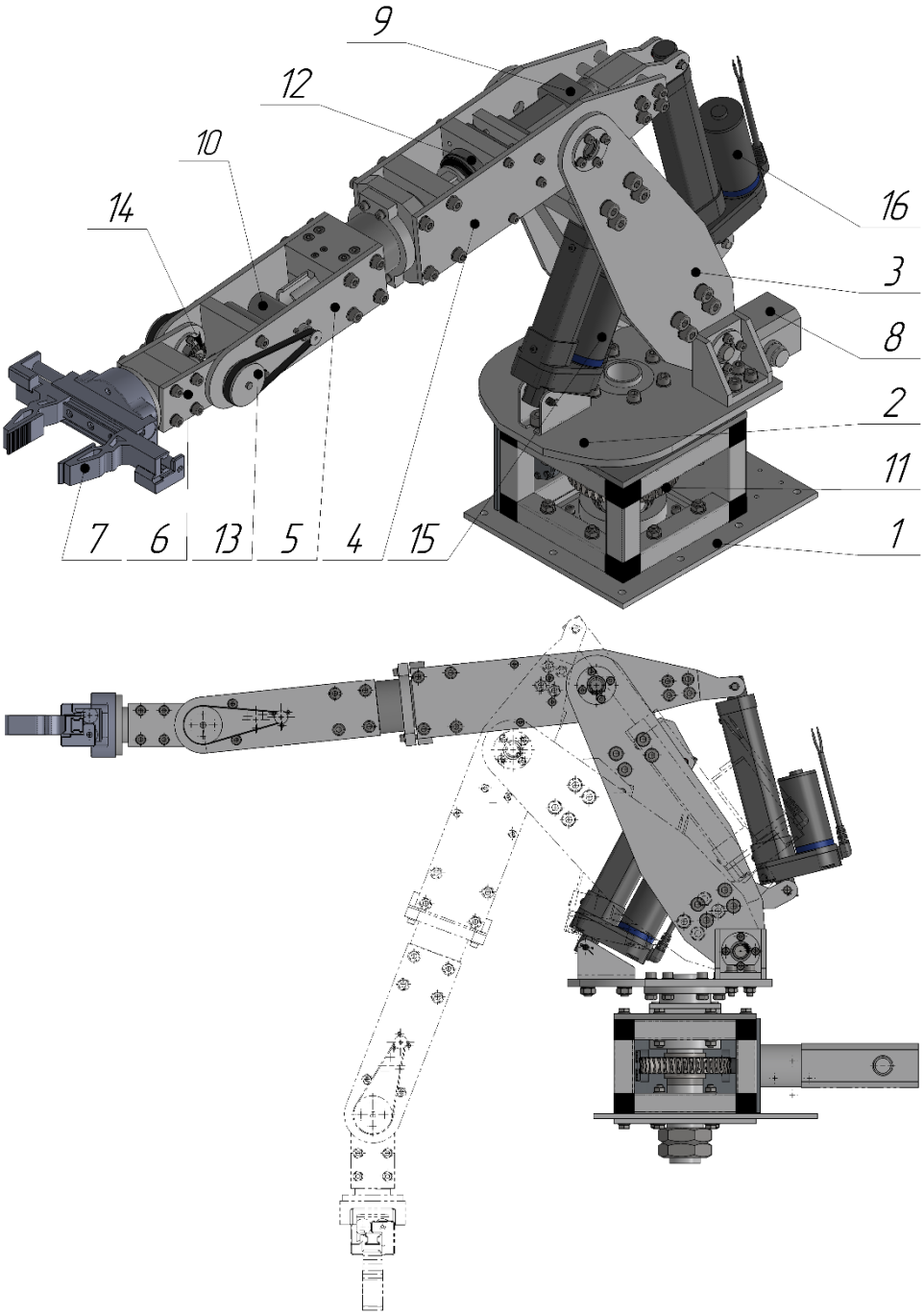


Рис. 1. Загальний вигляд розробленого робота-маніпулятора:
1 – основа маніпулятора; 2 – привід горизонтального повороту; 3 – плечова ланка;
4 – ліктьова ланка; 5 – ланка передпліччя; 6 – ланка кисті; 7 – схоплювач;
8, 9, 10 – електродвигуни; 11 – черв'ячна передача; 12 – поворотний механізм;
13 – зубчасто-пасова передача; 14 – підшипникові вузли; 15, 16 – лінійні актуатори

Основні операційні рухи маніпулятора, що забезпечують ефективне керування брандспойтом, включають обертання всієї конструкції навколо

вертикальної осі основи, рух (нахил) плечового суглобу для підйому або опускання руки, рух (нахил) ліктьового суглобу для висування або втягування руки, осьове обертання передпліччя та поворот (обертання) кисті для точного орієнтування сопла брандспойта. Ці рухи координуються системою керування, яка отримує вхідні команди (від оператора або автономної системи моніторингу) і перетворює їх на точні сигнали керування для спрацювання відповідних електродвигунів та актуаторів суглобів. Загальний принцип роботи полягає в тому, що система керування спрямовує ланки маніпулятора за запрограмованою послідовністю рухів для точного націлювання брандспойта на визначену ціль, утримання націлювання та коригування траєкторії вогнегасної речовини.

Загальну структуру і принцип роботи системи керування лінійними актуаторами відповідних шарнірів робота-маніпулятора проілюстровано на розробленому лабораторному макеті, поданому на рис. 2.

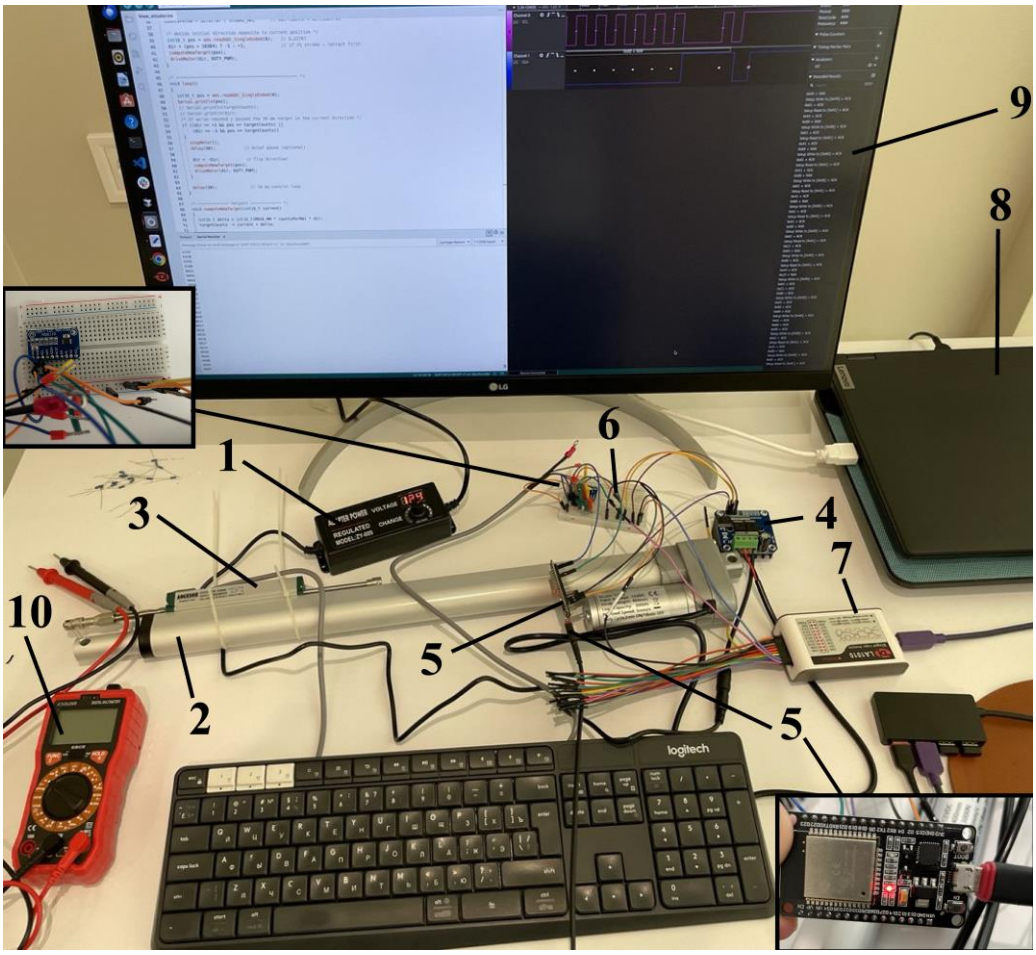


Рис. 2. Лабораторне обладнання, яке використовувалося для побудови системи керування лінійним актуаратором: 1 – блок живлення; 2 – лінійний актуатор; 3 – потенціометричний давач переміщення; 4 – драйвер електродвигуна актуатора; 5 – мікроконтролер; 6 – плата контролера з аналогово-числовим перетворювачем; 7 – логічний аналізатор; 8 – ноутбук; 9 – монітор; 10 – мультиметр

Структура цієї системи включає кілька ключових елементів, що взаємодіють для забезпечення точного позиціонування. Центральним виконавчим механізмом є лінійний актуатор 2, який отримує живлення від блоку

живлення 1. Зворотний зв'язок про поточне положення актуатора забезпечується потенціометричним давачем переміщення 3. «Мозком» системи виступає мікроконтролер 5, що з'єднується із на платою контролера 6, на якій монтується аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) для перетворення аналогового сигналу з потенціометричного давача у цифровий формат, що сприймається мікроконтролером. Для керування потужністю, що подається на електродвигун актуатора, використовується спеціальний драйвер електродвигуна 4.

Принцип функціонування цієї системи керування, на даний момент, реалізує замкнений контур. Робота починається із задання бажаного положення для лінійного актуатора, яке програмується або встановлюється через ноутбук 8, підключений до системи. Мікроконтролер 5 постійно зчитує поточне положення штока актуатора за допомогою потенціометричного давача 3, сигнал з якого перетворюється АЦП на платі контролера 6. Отримавши цифрове значення поточної позиції, мікроконтролер порівнює його із заданим бажаним положенням. На основі цієї різниці (помилки) вбудований у мікроконтролер алгоритм керування розраховує необхідний керуючий вплив. Цей керуючий сигнал (наприклад, ШІМ-сигнал) подається на драйвер електродвигуна 4, який, у свою чергу, подає відповідну напругу та струм на електродвигун лінійного актуатора 2, змушуючи його рухатися для мінімізації помилки позиціонування. Цей цикл вимірювання, порівняння та коригування повторюється безперервно, забезпечуючи точне досягнення та утримання заданого положення.

Для розробки, налагодження та моніторингу системи використовуються допоміжні інструменти. Ноутбук 8 разом із монітором 9 слугують для написання та завантаження програмного коду в мікроконтролер, візуалізації даних про роботу системи та для інтерактивного керування. Логічний аналізатор 7 дозволяє розробникам відстежувати та аналізувати цифрові сигнали між компонентами, наприклад, між мікроконтролером та драйвером, що є важливим для налагодження протоколів зв'язку. Мультиметр 10 використовується для перевірки різних електричних параметрів системи, таких як напруга чи цілісність з'єднань, під час збирання та тестування.

Література:

1. Korendiy V. et al. Analysis of kinematic characteristics of a mobile caterpillar robot with a SCARA-type manipulator // Transport Technologies. – 2023. – Vol. 4, No. 2. – P. 56–67.

2. Корендій В. М., Качур О. Ю., Пилип М. В., Карпин Р. Б. Кінематичний аналіз та конструювання робота-маніпулятора для керування брандспойтами // Молода наука - роботизація і нано-технології сучасного машинобудування: збірник наукових праць Міжнародної науково-технічної конференції, 16–18 квітня 2025 р. – 2025. – С. 183–190.

3. Korendiy V., Kachur O., Pylyp M., Karpyn R., Augousti A., Lanets O. Design and kinematic analysis of a robotic manipulator for controlling fire monitors // Ukrainian Journal of Mechanical Engineering and Materials Science. – 2025. – Vol. 11, No. 2. – P. 1–17.

4. Korendiy V. et al. Optimizing the structural parameters of the robotic system to ensure the efficiency and reliability of work in the production environment // CEUR Workshop Proceedings. – 2024. – Vol. 3699. – P. 180–197. https://ceur-ws.org/Vol-3699/paper13.pdf

5. Корендій В. М., Качур О. Ю., Пилип М. В., Карпин Р. Б. Розроблення та дослідження зовнішніх і внутрішніх схоплювачів для міжопераційного переміщення кільцеподібних деталей // Прогресивні технології в машинобудуванні: збірник наукових праць XIII Міжнародної науково-практичної конференції, Львів–Звенів, 18–21 лютого 2025 р. – С. 70–73.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРЯМОЛІНІЙНИХ ТРАЄКТОРІЙ КОЛИВАНЬ ОДНОМАСОВОЇ ВІБРАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ З ВІБРОЗБУДНИКОМ ПЛАНЕТАРНОГО ТИПУ

Корендій В.М., Паращин О.Я., Янів О.М., Киричук В.В., Вільчинський Т.Р.
(Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна)

Забезпечення керованих вібраційних процесів із заданими траєкторіями руху робочих органів є актуальною задачею для багатьох галузей сучасної техніки, включаючи вібраційні машини для транспортування, сортування, ущільнення та інших технологічних операцій. Віброзбудники планетарного типу зарекомендували себе як ефективні пристрої для генерації різноманітних, у тому числі складних, траєкторій коливань, що відкриває широкі можливості для оптимізації вібраційних технологій. Розуміння їхньої динамічної поведінки, зокрема асиметричних саморегульованих конструкцій [1], та здатності генерувати різноманітні траєкторії руху для одномасових вібраційних систем [2] були першочерговими завданнями. Подальші дослідження були зосереджені на детальному кінематичному аналізі та обґрунтуванні геометричних параметрів таких механізмів [3], а також на силовому аналізі вдосконалених конструкцій віброзбудників [4]. Важливим аспектом також було обґрунтування структурних схем механізмів інших типів для збурення коливань вібраційного технологічного обладнання [5] та аналіз можливостей використання плоских важільних і зубчастих механізмів у приводах вібраційних технологічних машин [6].

Серед широкого різноманіття можливих траєкторій руху робочих органів вібромашин, особливий практичний інтерес становлять прямолінійні (лінійні) коливання, які забезпечують спрямовану (напрямлену) дію робочого органу на оброблюване середовище. Моделювання траєкторій руху та кінематичних характеристик коливальних систем з віброзбудниками планетарного типу надає важливу теоретичну основу для їх проектування та аналізу [7]. Однак, для підтвердження теоретичних розробок, дослідження умов формування стабільних лінійних коливань та впливу на них конструктивних і кінематичних параметрів віброзбудника, необхідні цілеспрямовані експериментальні дослідження.

Метою даного дослідження є експериментальне дослідження процесу формування лінійних траєкторій коливань одномасової вібраційної системи, що приводиться в рух віброзбудником планетарного типу, та визначення ключових параметрів, які впливають на характеристики цих траєкторій.

Експериментальний стенд (рис. 1) призначений для дослідження динаміки одномасової коливальної системи, що приводиться в рух віброзбуджувачем планетарного типу. Основою конструкції слугує масивна рама установки (1), яка забезпечує стабільність та жорсткість всієї системи під час проведення експериментів. На цій рамі змонтована коливна маса (4), яка є основним досліджуваним об’єктом. Ця маса утримується за допомогою системи пружних елементів, що забезпечують їй можливість здійснювати коливання у двох взаємно перпендикулярних напрямках. Вертикальна пружна підвіска (2),

реалізована за допомогою комплекту вертикально розташованих витих циліндричних пружин, дозволяє масі коливатися вздовж вертикальної осі. У той же час пружна система горизонтального руху (3), що також складається з аналогічних пружних елементів, забезпечує можливість коливань маси в горизонтальній площині та створює відповідну відновлювальну силу.

Збудження коливань маси (4) здійснюється за допомогою віброзбудника (6) планетарного типу, який встановлений безпосередньо на коливній масі. Привід віброзбудника реалізований від привідного електродвигуна (5), який також розміщений на коливній масі та з'єднаний з віброзбудником зубчасто-пасовою передачею. Керування роботою електродвигуна, зокрема швидкістю обертання привідного вала, що визначає частоту та інтенсивність вібрації, здійснюється з блоку керування (7). Для реєстрації параметрів руху коливної маси (4) використовуються потенціометричні давачі горизонтального (8) і вертикального (9) переміщення. Ці давачі перетворюють механічні переміщення маси у відповідні електричні сигнали. Отримані сигнали від давачів подаються на осцилограф (10), який дозволяє візуалізувати часові залежності переміщень коливної маси в реальному часі, а також здійснювати запис та подальший аналіз експериментальних даних. Таким чином, експериментальний стенд дозволяє комплексно досліджувати динамічну поведінку одномасової системи під дією керованого вібраційного навантаження від планетарного збудника.

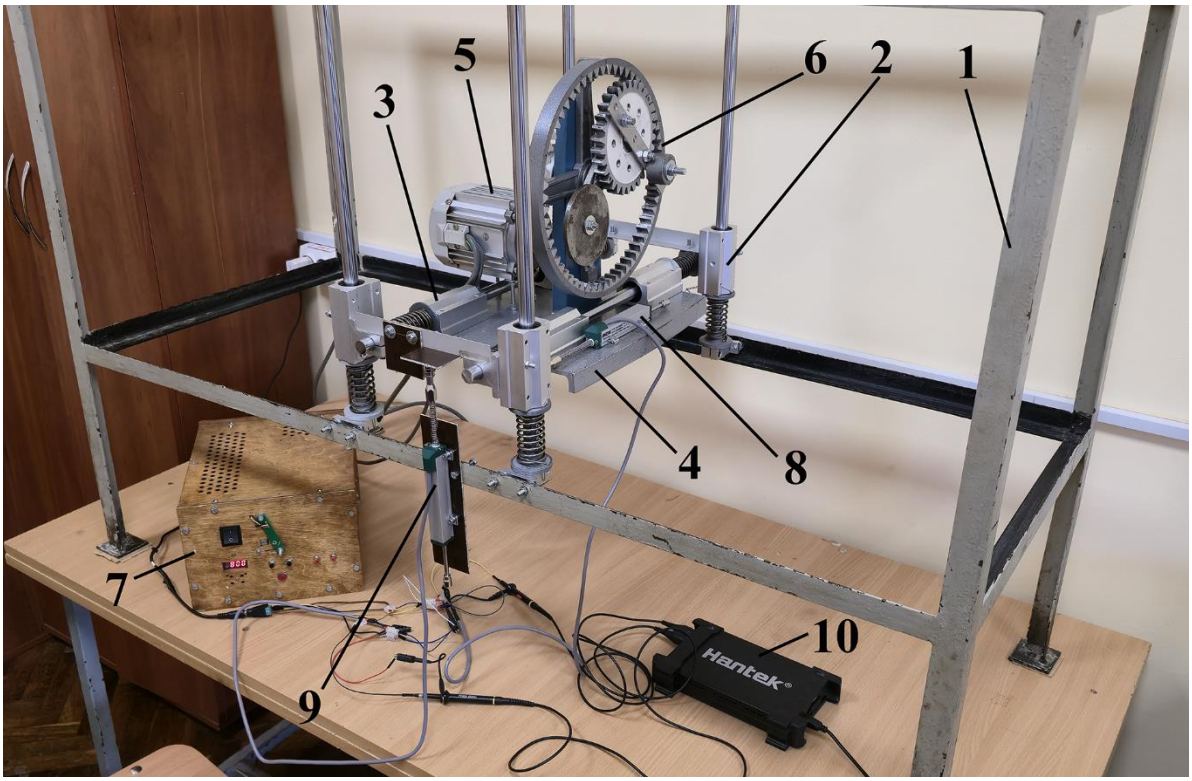


Рис. 1. Експериментальний стенд для дослідження динаміки одномасової коливальної системи з віброзбудником планетарного типу: 1 – рама установки; 2 – вертикальна пружна підвіска; 3 – пружна система горизонтального руху; 4 – коливна маса; 5 – привідний електродвигун; 6 – віброзбудник планетарного типу; 7 – блок керування; 8, 9 – потенціометричні давачі горизонтального і вертикального переміщення коливної маси; 10 – осцилограф

Рис. 2 візуалізує дані експериментального дослідження коливань одномасової системи, яка збуджується планетарним віброзбудником за його різних геометричних параметрів. Рисунок містить два ряди графіків. Верхній ряд (рис. 2, *а*, *б*, *в*) відображає часові залежності горизонтального $x(t)$ (позначеного синьою кривою) та вертикального $z(t)$ (позначеного червоною кривою) переміщень коливної маси, де відповідні переміщення вимірюються в міліметрах (мм), а час – у секундах (с). Нижній ряд (*г*, *д*, *е*) представляє відповідні траєкторії руху цієї маси у вертикальній площині (xOz), де осі також проградуйовані в міліметрах. Кожен графік траєкторії (рис. 2, *г*, *д*, *е*) безпосередньо відповідає часовим залежностям, показаним на графіку над ним (рис. 2, *а*, *б*, *в* відповідно).

У першому випадку, проілюстрованому графіками (рис. 2, *а*) та (рис. 2, *г*), горизонтальне $x(t)$ та вертикальне $z(t)$ переміщення є коливальними процесами, близькими до синусоїдальних, причому амплітуда горизонтальних коливань (по координаті x) є суттєво меншою, ніж амплітуда вертикальних коливань (по координаті z). Як наслідок, траєкторія руху (рис. 2, *г*) має форму вузького еліпса, що наближається до практично вертикальної прямої лінії, положення якої визначається співвідношенням амплітуд та синфазністю компонент коливань.

Другий випадок (графіки рис. 2, *б*, *д*) демонструє ситуацію, коли амплітуда горизонтальних коливань $x(t)$ значно переважає амплітуду вертикальних коливань $z(t)$, яка є порівняно мінімальною. Це призводить до формування траєкторії (рис. 2, *д*) у вигляді вузького прямокутника, сильно витягнутого вздовж горизонтальної осі x, тобто практично горизонтальної прямої лінії, що вказує на переважно горизонтальний характер руху коливної маси.

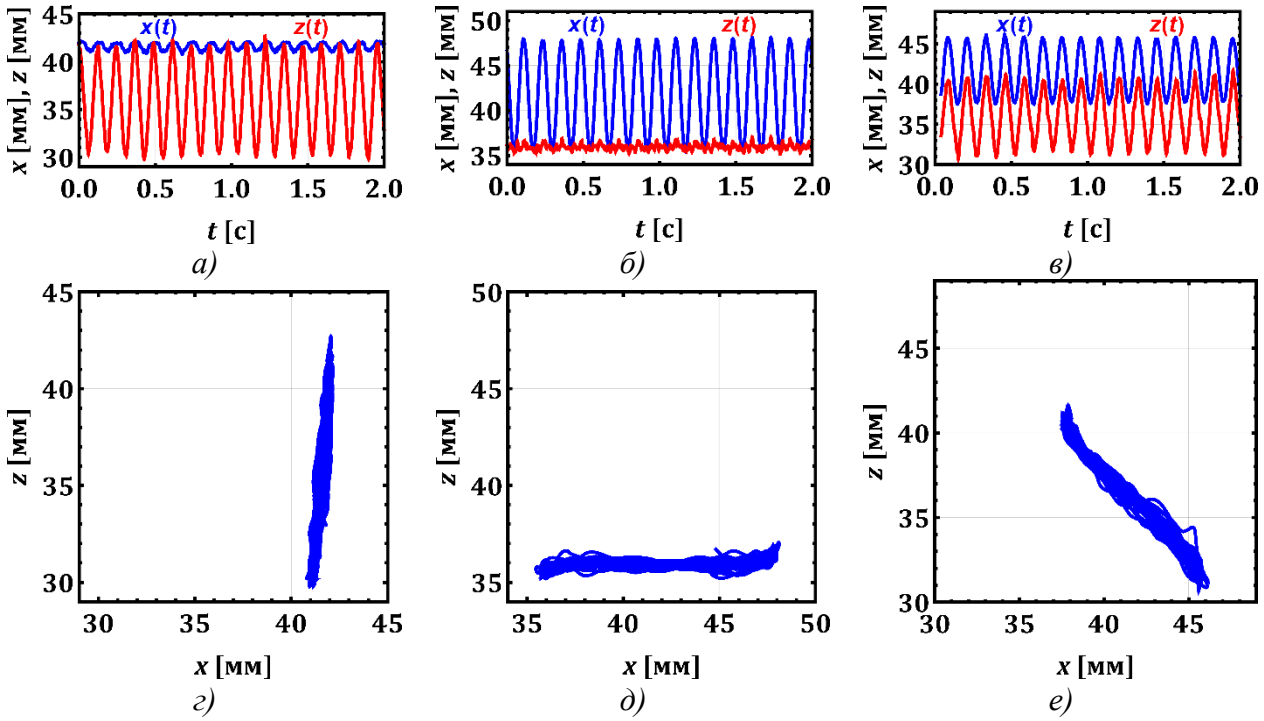


Рис. 2. Часові залежності горизонтального $x(t)$ та вертикального $z(t)$ переміщень коливної маси (*а*, *б*, *в*) та траєкторії її руху (*г*, *д*, *е*) за різних параметрів планетарного віброзбудника

Третій випадок (графіки рис. 2, *в*, *е*) показує, що обидві складові переміщень, $x(t)$ та $z(t)$, мають порівняно значні та приблизно однакові амплітуди. Ключовою особливістю часових залежностей на графіку (рис. 2, *в*) є відсутність явного зсуву фаз між $x(t)$ та $z(t)$. В результаті, траєкторія руху (рис. 2, *е*) є схожою на нахилений вузький еліпс, що наближається до прямої лінії. При цьому, форма та орієнтація еліпса (прямої) безпосередньо визначаються співвідношенням амплітуд та фазовим зсувом між складовими коливань.

Загалом, рис. 2 ефективно ілюструє гнучкість планетарного віброзбудника у формуванні різноманітних траєкторій руху коливної системи через зміну його геометричних параметрів. За результатами проведених досліджень, експериментально продемонстровано можливість отримання квазілінійних траєкторій одномасової коливальної системи з різною орієнтацією у вертикальній площині. Незначна негладкість експериментальних траєкторій може свідчити про вплив високочастотних компонент та потребує подальшого дослідження. Отримані результати мають істотне значення для розробки та оптимізації вібраційного обладнання, де потрібне точне формування траєкторій коливань відповідних робочих органів для ефективного виконання технологічних операцій (транспортування, сепарування, трамбування тощо).

Література:

1. Korendiy V. et al. On the dynamic behavior of an asymmetric self-regulated planetary-type vibration exciter // Vibroengineering Procedia. – 2022. – Vol. 42. – P. 7–13. https://doi.org/10.21595/vp.2022.22580

2. Korendiy V. et al. Generating various motion paths of single-mass vibratory system equipped with symmetric planetary-type vibration exciter // Vibroengineering Procedia. – 2022. – Vol. 43. – P. 7–13. https://doi.org/10.21595/vp.2022.22703

3. Korendiy V. et al. Kinematic analysis and geometrical parameters justification of a planetary-type mechanism for actuating an inertial vibration exciter // Vibroengineering Procedia. – 2023. – Vol. 52. – P. 35–41. https://doi.org/10.21595/vp.2023.23728

4. Korendiy V. et al. Force analysis of the planetary-type mechanisms of the enhanced vibration exciters // Vibroengineering Procedia. 2024. Vol. 54. P. 28–34. https://doi.org/10.21595/vp.2024.24029

5. Корендій В. М., Паращин О. Я., Вільчинський Т. Р., Киричук В. В., Янів О. М. Обґрунтування структурних схем механізмів для збурення коливань вібраційного технологічного обладнання // Прогресивні технології в машинобудуванні: збірник наукових праць XIII Міжнародної науково-практичної конференції, Львів–Звенів, 18 лютого – 21 лютого 2025 року. – 2025. – С. 73–76.

6. Корендій В. М., Паращин О. Я., Янів О. М., Киричук В. В., Вільчинський Т. Р. Аналіз можливостей використання плоских важільних і зубчастих механізмів у приводах вібраційних технологічних машин // Молода наука - роботизація і нано-технології сучасного машинобудування : збірник наукових праць Міжнародної молодіжної науково-технічної конференції, 16–18 квітня 2025 р. – 2025. – С. 191–198.

7. Korendiy V. et al. Simulation of motion trajectories and kinematic characteristics of an oscillatory system with a planetary-type vibration exciter // Vibroengineering Procedia. – 2025. – Vol. 58. – P. 31–38. https://doi.org/10.21595/vp.2025.24973

ДОСЛІДЖЕННЯ УТВОРЕННЯ ДЕФЕКТУ УТЯЖИНА ПРИ ПРОЦЕСІ ЗВОРОТНОМУ ВИДАВЛЮВАННІ

Косарєв В.С., Чучин О.В, Бочковий Д.О.
(ДДМА, м. Краматорськ - Тернопіль, Україна)

Видавлювання порожнистих деталей у холодному об'ємному штампуванні є важливою технологією в сучасній виробничій промисловості. Цей процес дозволяє отримати складні вироби зі зниженою вагою та збереженням високої міцності [1-3].

Метою дослідження є виявлення умов, за яких може виникати дефект типу утяжина (локальне зменшення товщини стінки). Визначення закономірностей формування утяжини дозволяє не лише покращити точність геометричних параметрів кінцевої деталі, але й забезпечити більш надійний контроль за якістю у процесі об'ємного штампування. Отримані результати є основою для подальшої оптимізації параметрів процесу деформування.

Дослідження було проведене у програмі DEFORM 2D/3D.

Для моделювання процесу зворотного видавлювання у програмі DEFORM 2D/3D було використано заготовку з матеріалу AL 1100 Cold – це технічно чистий алюміній, який належить до групи деформованих алюмінієвих сплавів з високою пластичністю.

Заготовка мала циліндричну форму, з радіусом R = 18 мм.

На рис. 1 представлено викривлення ділильної сітки та зони утворення утяжини в області дна деталі під час процесу видавлювання. Як видно з рисунка, зміна відносної товщини стінки $\bar{s} = \frac{s}{R}$ суттєво впливає на відносну товщину дна $\bar{t} = \frac{t}{R}$, на якій локалізується дефект. При $\bar{s}$ = 0,2 зона утворення утяжини розташовується на відносній товщині дна $\bar{t}$ = 0,07 і формується на внутрішній поверхні дна, ближче до області контакту з матрицею.

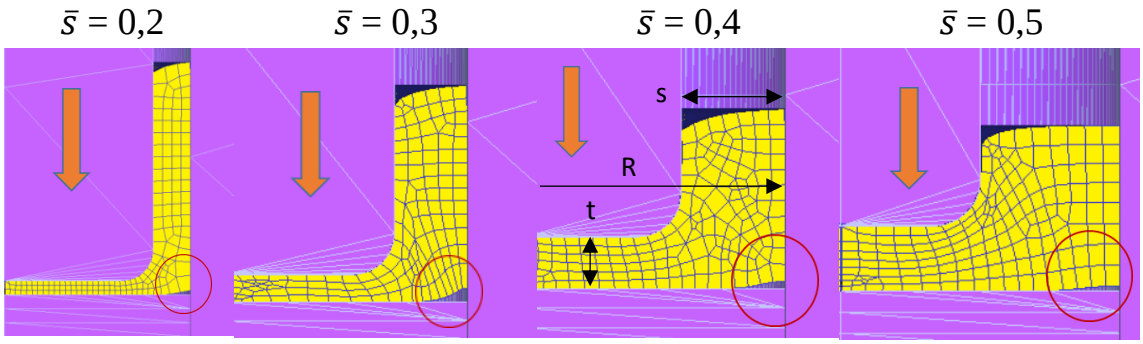


Рис. 1. Викривлення ділильної сітки та зони утворення утяжини

З метою кількісного аналізу впливу геометричного параметра $\bar{s}$ було досліджено залежність відносної товщини дна $\bar{t}$ на якій виникає утяжина, від відносної товщини стінки $\bar{s}$ яка змінювалась від 0,2 до 0,5 та побудовано графік

(рис. 2). Отримані графічні дані демонструють виразну тенденцію: зі збільшенням відносній товщини стінки $\bar{s}$ підвищується і відносна товщина дна $\bar{t}$, на якій формується утяжина.

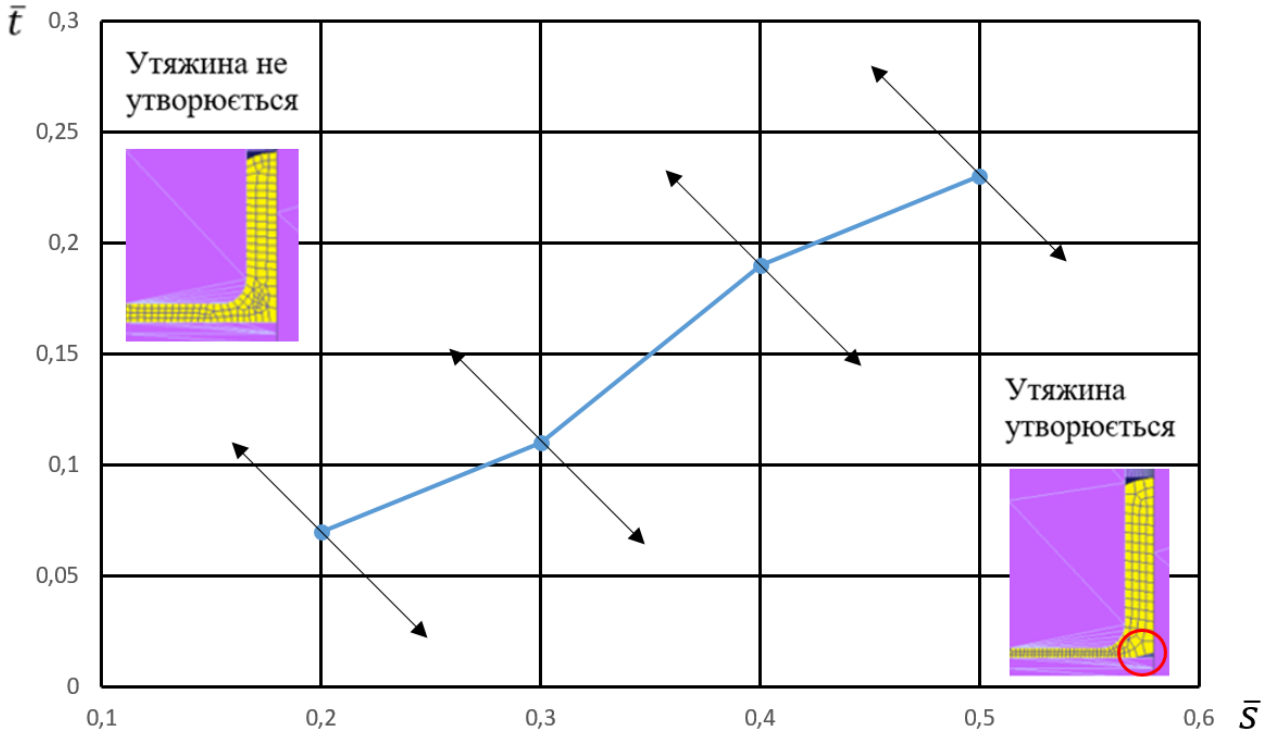


Рис. 2. Графік залежності відносної товщини дна $\bar{t}$ від відносної товщини стінки $\bar{s}$

Підсумком роботи є те, що зі збільшенням відносної товщини стінки $\bar{s}$, деталь має вищу жорсткість та здатність чинити опір локальному стоншенню в зоні дна. У результаті область формування утяжини зміщується ближче до вільної поверхні, де напружено-деформований стан є менш концентрованим. Таким чином, параметр $\bar{s}$ є одним із ключових чинників, що визначає умови виникнення утяжини, і має бути обов'язково врахований під час оптимізації геометрії деталі.

Література:

1. Алієв І.С., Грудкіна Н.С., Малій Х.В., Таган Л.В. Моделювання та розробка процесів точного об'ємного штампування видавлюванням: монографія. Краматорськ: ДДМА. 2021. 208 с. ISBN 978-617-7889-08-2.

2. Калюжний В.Л. Математичне моделювання процесу холодного видавлювання з протитиском стаканів методом скінченних елементів. Наукові вісті НТУ України «КПІ». 2001. №4. С. 88–93.

3. Алієва Л.І., Малий Х.В., Таган Л.В. Удосконалення процесів холодного видавлювання порожнистих деталей: монографія. Краматорськ: ТОВ «Тираж–51». 2020. 255 с. ISBN 978-966-379-960-5.

МОДЕЛЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПНЕВМАТИЧНОГО АВТОМОБІЛЬНОГО ДВИГУНА

Крамський О.В., Зінько Р.В.
(Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна)

В даний час в промислово розвинених країнах активно розробляються енергетичні і транспортні установки з використанням пневматичних двигунів різної конструкції. Побудова адекватної математичної моделі робочого циклу поршневих пневматичних двигунів з детальним розглядом термо- і газодинамічних процесів залишається актуальним науково-технічним завданням.

Раніше були розроблені математичні моделі і чисельні розрахунки основних термодинамічних і експлуатаційних характеристик пневматичних двигунів на базі наявних в промисловості двосторонніх пневматичних циліндрів [1-3], а також пневматичного двигуна з кривошипно-шатунним механізмом на базі двигуна внутрішнього згоряння К-750 [4]. Для підвищення ефективності робочого циклу поршневих пневматичних двигунів необхідно проектувати оригінальні конструкції на основі оптимізованих параметрів, отриманих методами комп'ютерного моделювання.

Метою роботи є створення математичної моделі для чисельного моделювання та розрахунків робочого циклу, а також основних технічних та експлуатаційних характеристик поршневого пневматичного двигуна.

Була розроблена математична модель і прогама для чисельного моделювання робочого циклу і визначення основних технічних та експлуатаційних характеристик поршневого пневматичного двигуна.

У процесі комп’ютерного моделювання роботи пневматичного двигуна з кривошипно-шатунним механізмом варіювалися наступні параметри: тиск у впускній магістралі, кут початку відкриття впускного та випускного клапанів, діаметр поршня, кількість циліндрів, діаметри впускного та випускного клапанів, а також температура повітря на вході до магістралі [5]. Розрахунки виконувалися в сталому режимі роботи двигуна при частоті обертів 750 об/хв.

На рис. 1, рис. 2 представлено залежності тиску і крутного моменту від кута повороту колінчастого вала пневмодвигуна.

Нерівномірність крутного моменту при роботі пневмодвигуна вимагає застосування або маховикових систем, або кількох циліндрів залежно від застосування.

Підсумком роботи є розроблена математична модель дає змогу виконувати чисельні розрахунки та оптимізувати основні енергетичні й експлуатаційні характеристики поршневих пневматичних двигунів із кривошипно-шатунним механізмом і заданим механізмом газорозподілу. Методика та аналіз результатів моделювання характеристик пневматичного автомобільного двигуна мають наукове та практичне значення як необхідний етап створення автомобіля з пневматичною трансмісією. Отримані графічні залежності дають наочну

інформацію про крутний момент, тиск стисненого повітря двигуна при обертах колінчастого вала.

Рис. 1. Залежність тиску від кута повороту кулачкового вала

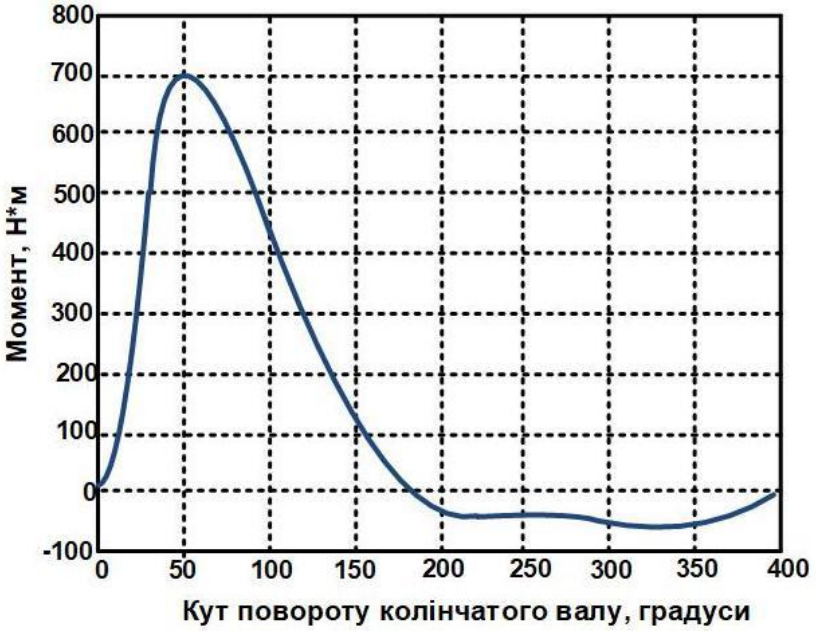


Рис. 2. Залежність крутного моменту від кута повороту кулачкового вала

Література: 1. Y. Fang, Y. Lu, X. Yu, A.P. Roskilly, Experimental study of a pneumatic engine with heat supply to improve the overall performance, Appl. Therm. Eng. 134 (2018) 78–85. **2.** L. Liu, X.-L. Yu, Optimal design of ideal cycle in air powered engine, Zhejiang Daxue Xuebao (Gongxue Ban)/J. Zhejiang Univ. (Eng. Sci.) 40 (2006) 1815–1818. **3.** Trond Inge Eide. Modelling and control of a pneumatic starting system for medium-speed gas engines. Norwegian University of Science and Technology, 2011. 121 p. **4.** Крамской А. В. Математическая модель пневматического двигателя с кривошипно-шатунным механизмом / А. В. Крамской, И. Н. Кудрявцев // Автомоб. трансп. – 2008. – Вып. 23. – С. 70–76. **5.** Зінько Р.В. Дослідження експлуатаційних характеристик пневматичного автомобільного двигуна / Р.В. Зінько, О.В. Крамський, Б.Ю. Мокряк, А.П. Поляков // Вісник машинобудування та транспорту Vol. 10, No. 2, 2024. С.48-53. DOI: https://doi.org/10.63341/vjmet/2.2024.48

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ХРОМУВАННЯ ГЛИБОКИХ ОТВОРІВ З ПРОТОЧНИМ ЕЛЕКТОЛІТОМ

Крупа В.В., Штогрин С.П.
(ТНТУ імені І. Пулюя, м. Тернопіль, Україна)

Проаналізовано технологічні процеси хромування внутрішніх та зовнішніх циліндричних поверхонь з проточним електролітом [1]. Безпосередньо процес хромування крім початкових операцій, що полягають у виготовленні заготовки, її термічній обробці, складається з наступних технологічних операцій [1, 2]: очищення, дефектоскопія, гідроструменева обробка, знежирювання, промивання в холодній воді, встановлення деталі в електрохімічній комірці установки для хромування в проточному електроліті, прогрівання, анодне декапірування, електрохімічне хромування деталі в проточному електроліті, промивання в холодній воді, промивання в гарячій воді, пасивування, сушіння [1], [2].

Запропоновано технологічний процес, що включає операції: 1.Промивка водою; 2. Обезжирювання розчином каустичної соди; 3. Промивка водою; 4. Травлення розчином соляної кислоти; 5. Промивка водою; 6. Промивка демінералізованою водою; 7. Хромування – прокачування електроліту (декапірка – прокачування електроліту з подачею зворотного струму щільністю 40-45 А/Дм^2; поштовх - – прокачування електроліту з подачею струму щільністю 70-75 А/Дм^2; хромування – прокачування електроліту з подачею струму щільністю 40-45 А/Дм2); 8. Промивка водою. Використовується електроліт для хромування такого складу: хромовий ангідрид CrO_3 – 150 г/л; сірчана кислота H_2SO_4 – 1.5 г/л; основа – вода. Всі операції виконуються шляхом прокачування рідин через внутрішню циліндричну поверхню заготовки з анодом. Катодом виступає заготовка.

Особливістю даного технологічного процесу є те, що всі вище перелічені операції виконуються за один установ на пристосуванні. Всі рідини (вода, електроліти тощо) розміщені в окремих ємностях (ваннах) і з’єднані з спеціальним гідровузлом, що керує та переключає їх почергову подачу.

Це дозволяє: зменшити час підготовчих робіт, оскільки розчини прокачуються під тиском; виключити людський фактор браку у підготовчих операціях; виключити з процесу міжопераційну логістику; дає можливість використання гальванічних ванн меншого габариту, оскільки не потрібно поміщати деталі безпосередньо у ванни, і т. д.

Література:

1. Остапович В. В. Вплив технології зміцнення на показники якості та експлуатаційні властивості змінних деталей поршневих насосів двосторонньої дії / В. В. Остапович // Наукові нотатки. - 2015. - Вип. 52. - С. 126-134.

2. Слюсар М. А. Сучасні електроліти та методи хромування / М. А. Слюсар, О. А. Крюкова // Технології та дизайн. - 2019. - № 3 (32). - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/td_2019_3_12.

СУЧАСНІ МЕТОДИ ШЛІФУВАННЯ ГАЗОВИХ ПІДШИПНИКІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ ЇХНІХ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ

Кудратов М. М.
(ВНТУ, м. Вінниця, Україна)

Газові підшипники займають важливе місце в конструкціях високошвидкісних і точних механізмів, таких як турбомашини, мікросистеми, прецизійні станки та обчислювальні пристрої. Вони забезпечують стабільне функціонування механізмів без використання мастильних матеріалів, що є особливо важливим у таких галузях, як харчова, текстильна та фармацевтична промисловість. Одним з ключових викликів у цій сфері є досягнення високої точності та довговічності підшипників при збереженні низького коефіцієнта тертя та мінімізації зносу. Сучасні підходи до шліфування поверхонь газових підшипників, такі як ультразвукове, абразивно-струменеве та комбіноване шліфування, відіграють критичну роль у досягненні цих цілей. Однак, ефективність цих методів залежить від точності контролю процесів обробки та вибору оптимальних конструктивних матеріалів, що потребує подальших досліджень і вдосконалення технологій..

Метою даної роботи є аналіз сучасних методів шліфування газових підшипників для забезпечення високої точності та якості їх робочих поверхонь, а також визначення ключових напрямків удосконалення цих методів для подовження терміну служби та підвищення надійності таких підшипників.

Розглянуто актуальні підходи до вдосконалення методів шліфування, які використовуються для обробки поверхонь газових підшипників – важливих компонентів високошвидкісних і високоточних механізмів, таких як мікросистеми, великі турбомашини, а також обладнання в харчовій, текстильній та фармацевтичній промисловості [1, 2]. Основна увага приділяється критичним технічним параметрам, включаючи мінімізацію коефіцієнта тертя, стійкість до зношування та забезпечення тривалого терміну служби підшипників [3].

Проаналізовано різноманітні методи шліфування, такі як прецизійне шліфування, електроерозійне алмазне шліфування, іонне азотування, суперфінішування та комбіновані підходи, кожен з яких має свої переваги та обмеження [4]. Окрему увагу приділено використанню алмазних та керамічних шліфувальних кругів, що дозволяють суттєво знизити шорсткість поверхні та забезпечити високу точність геометрії підшипників [5].

Зазначено, що впровадження адаптивних технологій, таких як ультразвукове та абразивно-струменеве шліфування, а також використання

сенсорних систем для контролю процесу в реальному часі, відкриває нові можливості для підвищення точності та однорідності обробки [2]. Ці технології також сприяють зниженню залишкових напружень та мінімізації мікротріщин на робочих поверхнях підшипників [6].

У роботі акцентується увага на необхідності розробки нових комбінованих методів шліфування, що поєднують переваги кількох технологій для підвищення продуктивності та точності обробки поверхонь газових підшипників, що є критичними для їх ефективної роботи у складних умовах експлуатації [7].

Запропоновано удосконалений підхід до шліфування газових підшипників, що передбачає інтеграцію високоточних методів обробки (наприклад, ультразвукового та абразивно-струменевого шліфування) з сучасними сенсорними системами для моніторингу стану поверхонь у реальному часі. Новизна підходу полягає у використанні комбінованих технологій, що дозволяють суттєво знизити залишкові напруження, уникнути мікротріщин і досягти високої точності геометрії поверхонь навіть при значних механічних навантаженнях. Це забезпечує підвищення ефективності та довговічності газових підшипників, що є критично важливим для їх застосування у високошвидкісних і високоточних механізмах.

Література:

1. Shang, Youyun & Cheng, Kai & Ding, Hui & Chen, Shijin. Design of a Hydrostatic Spindle and Its Simulation Analysis with the Application to a High Precision Internal Grinding Machine. *Machines.* 2022, 10, 127. https://doi.org/10.3390/machines10020127

2. Mulik, Rahul & Pandey, Pulak. Mechanism of Surface Finishing in Ultrasonic-Assisted Magnetic Abrasive Finishing Process. *Materials and Manufacturing Processes,* 2010, 25, 1418-1427. https://doi.org/10.1080/10426914.2010.499580

3. Wang, Tingzhang & Cheng, Jian & Liu, Henan & Chen, Mingjun & Wu, Chunya & Su, Dingning. Ultra-precision grinding machine design and application in grinding the thin-walled complex component with small ball-end diamond wheel. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology,* 2019, 101. https://doi.org/10.1007/s00170-018-3102-7.

4. Jia, Qian & Hu, Lai. Design and Development of a High-Speed Precision Internal Grinding Machine and the Associated Grinding Processes. *Processes,* 2022, 11, 64. https://doi.org/10.3390/pr11010064.

5. I. Inasaki. Grinding of Hard and Brittle Materials, *CIRP Annals*, 1987, 36, 2, 463-471. ISSN 0007-8506. https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)60748-3.

6. Mishchenko, Andrii & Wu, Leonardo & Da Silva, Vanessa & Scotti, Americo. Analysis of residual stresses resulting from the surface preparation for X-ray diffraction measurement. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering,* 2018, 40. https://doi.org/10.1007/s40430-018-1036-5.

7. Lu, F. & Wu, Y.-H & Zhang, K. Technological investigation on taper grinding for hybrid bearing ceramic ball. 2004, 25, 82-85.

ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ПРОДУКТОВИХ ЛІНІЙОК ДЛЯ УКРАЇНСЬКОГО МАШИНОБУДУВАННЯ У ПЕРІОД ДО 2030 РОКУ

[1]Лісовий С.В., [2]Шашко В.О.
([1] АТ «ХАРКІВСЬКИЙ МАШИНОБУДІВНИЙ ЗАВОД «КОРУМ СВІТЛО ШАХТАРЯ», м. Харків, Україна, [2]ДДМА, м. Краматорськ - Тернопіль, Україна)

Сценарії щодо майбутнього українського машинобудування значно відрізняються в залежності від можливих варіантів післявоєнних подій, але вже зараз можливе прогнозування тих напрямків розвитку продуктових лінійок обладнання та запчастин, які будуть затребувані на загальнодержавному рівні у найближчі п’ять років.

Методологія визначення загальноекономічних сценаріїв щодо ринків та продуктів полягає у проведенні комплексного аналізу [1, 2]: стану та потреб галузей-споживачів, як існуючих, так і перспективних; технологічного потенціалу внутрішньодержавних виробників; трендів та технологічних інновацій в обраних цільових сегментах ринку; обсягів кожного з сегментів за галузевою та продуктовою спеціалізацією; рівня конкуренції з урахуванням провідних зовнішніх виробників; доступності інвестицій для споживачів та джерел фінансування; можливостей кооперації та співробітництва з лідерами ринку; державних пріоритетів і політики підтримки внутрішніх виробників.

Висновки статті ґрунтуються на аналізі поточного стану машинобудівних підприємств України, світових технологічних трендів, наявних статистичних звітів [3] та експертної думки фокус-груп щодо пріоритетів у післявоєнному відновленні держави. Зважаючи на невизначеність ситуації, при проведенні аналітичної роботи виключені напрямки, які стосуються продуктових лінійок ВПК. За результатами роботи оптимальними напрямками розвитку продуктових лінійок, які будуть віднесені до державних пріоритетних зон відновлення, визначені:

1) Обладнання та запчастини для галузей видобування – бурове, прохідницьке, конвеєрне, дробильне, сортувальне та агрегатно-компресорне.
2) Металургійне обладнання для модульних заводів – плавильні печі, МНЛЗ, вакууматори, прокатні стани, підйомно-транспортне обладнання.
3) Обладнання та запчастини для альтернативної енергетики – гідро- та вітрогенератори, турбінне, підстанційне, металоконструкції електромережі та автоматика.
4) Запчастини для атомної енергетики – насоси, запорна арматура, трубопроводи, елементи турбін.
5) Будівельне обладнання, у тому числі для шляхобудування – грейдерне, рециклерне, бетонозмішувальне, будівельно-підіймальне.
6) Обладнання для гуманітарного розмінування – БМР, автоматизовані системи трасування, апаратура дистанційного керування.

7) Обладнання та запчастини для сільського господарства – тракторне, комбайнове, навісне, елеваторне, машини для первинної переробки.

8) Обладнання для механізації та автоматизації процесів – гідроапаратура, електронні блоки керування, роботизовані системи.

9) Металоконструкції та елементи укриттів.

Зазначені продуктово-галузеві напрямки мають стати основою для формування цільових програм імпортозаміщення та регіональних кластерів у сфері машинобудування. Зокрема, актуальним є створення регіональних центрів компетенцій, що спеціалізуватимуться на розробці та виробництві обладнання певного типу. Це дозволить забезпечити глибоку спеціалізацію, зменшити логістичні витрати та налагодити ефективну взаємодію з кінцевими споживачами в конкретних галузях. Окрему увагу варто приділити інтеграції інноваційних технологій у виробничі процеси, таких як адитивне виробництво (3D-друк металів), цифрові двійники, системи прогнозного обслуговування, а також впровадження індустрії 4.0 у нові виробничі майданчики. Це не лише підвищить конкурентоспроможність продукції на внутрішньому ринку, але й створить передумови для виходу на ринки країн Східної Європи, Близького Сходу та Азії, що також будуть зацікавлені у післявоєнному відновленні інфраструктури.

У цьому контексті важливо забезпечити державну підтримку у формі довгострокових замовлень, гарантій закупівель, програм лізингу, компенсацій відсоткових ставок за кредитами на оновлення обладнання, а також уніфікації технічних стандартів. Роль держави також має проявлятися у розвитку інжинірингових центрів та підтримці досліджень і дослідно-конструкторських розробок (НДДКР). Крім того, варто зазначити необхідність підготовки інженерних кадрів нового покоління, здатних працювати з сучасними цифровими системами проєктування, автоматизованими лініями та робототехнікою. Для цього потрібна реформа вищої технічної освіти та розвиток системи дуальної освіти за участю підприємств машинобудівної галузі. Таким чином, наявні тенденції та прогнозовані потреби формують передумови для системного оновлення українського машинобудування з орієнтацією на національні пріоритети та глобальні технологічні виклики.

Література:

1. Котлер Ф., Келлер К. Л. (2020). Маркетинг-менеджмент (15-е вид.). Pearson. Розділ 2: Розробка маркетингових стратегій і планів; Розділ 13: Стратегія продукту; Розділ 15: Виведення нових товарів на ринок. URL: https://www.pearson.com/store/p/marketing-management/P100002545643

2. Купер Р. Г. (2011). Успіх нових продуктів: створення цінності через інновації (4-е вид.). Basic Books. Розділ 2: Стадії розробки нових продуктів; Розділ 5: Скринінг ідей; Розділ 9: Управління продуктовим портфелем. URL: https://www.amazon.com/Winning-New-Products-Creating-Innovation/dp/0465025787

3. McKinsey & Company. Звіти про розвиток продуктів та інновації. Аналітика щодо управління продуктовими лінійками та стратегічного зростання. URL: https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/how-we-help-clients/product-development

АДАПТИВНЕ ПРИСТОСУВАННЯ ДЛЯ ТОКАРНОЇ ОБРОБКИ ТОНКОСТІННИХ ДЕТАЛЕЙ

[1]Луців І.В., [3]Волошин В.Н., [2]Лещук Р.Я., [2]Буховець В.М.
([1]ДУ «Житомирська політехніка», м. Житомир, Україна,
[2]ТНТУ імені І. Пулюя, м. Тернопіль, Україна,
[3]ВСП «Тернопільський фаховий коледж ТНТУ імені І.Пулюя», Україна)

Тонкостінні деталі типу тіл обертання широко використовуються в аерокосмічній промисловості, прецизійному машинобудуванні, автомобільній промисловості, медичному обладнанні та інших галузях. Вони характеризуються невеликою товщиною стінки, низькою жорсткістю, а також дуже схильні до пружної деформації під час процесу механічної обробки [1-3]. При видаленні великої кількості матеріалу порушується початкова рівновага напружень всередині заготовки, а перерозподіл залишкових напружень може призвести до серйозних деформацій при розтисканні [1-3]. Як свідчать результати багатьох досліджень одним з ключових факторів, що впливає на точність обробки тонкостінних деталей типу тіл обертання є спосіб їх затискання [1-3]. Тому розроблення адаптивних пристосувань для точної токарної обробки тонкостінних деталей типу тіл обертання є актуальною науковою задачею.

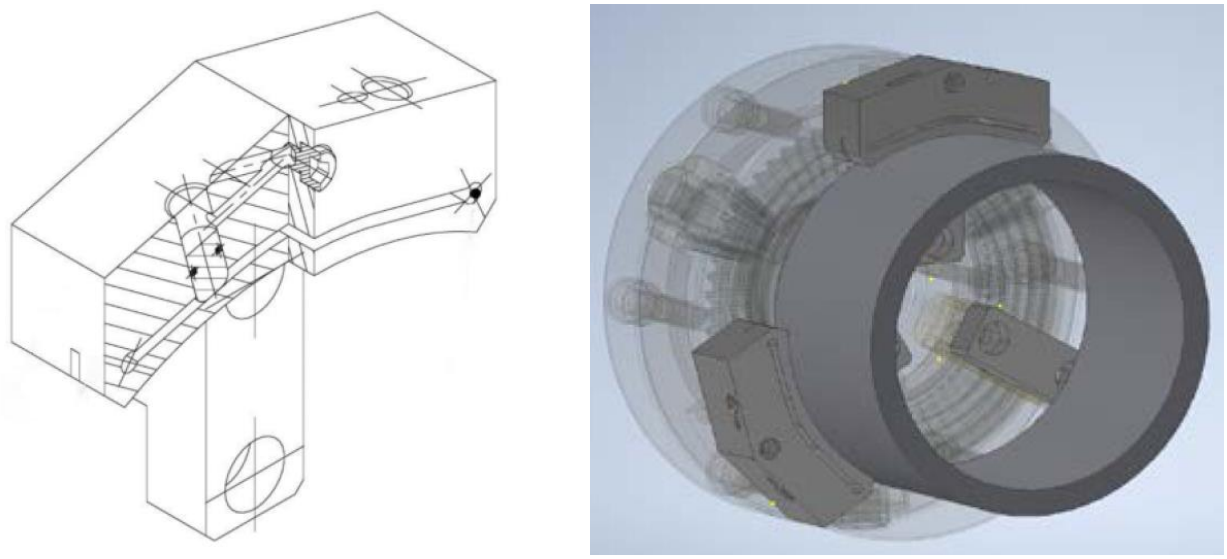
Метою роботи є виявлення причин статичних деформацій під час затиску тонкостінних деталей типу тіл обертання та розроблення адаптивного пристосування для мінімізації деформацій при затиску та точного центрування завдяки використанню пружно-керованих затискних секцій.

Застосування адаптивних систем у металорізальних верстатах дозволяє компенсувати квазістатичні деформації їх елементів та вузлів, забезпечувати компенсацію зношування інструменту, активне демпфування коливань, підвищувати жорсткість та ін. [4]. В результаті проведеного аналізу наукових досліджень та розробок перспективним напрямком застосування адаптивних структур у системах затиску заготовок є використання активних затискних елементів для забезпечення відповідного рівня сил затиску, точного центрування оброблюваної деталі та корекції її положення після затиску.

З використанням принципу навмисного введення в конструкцію затискних елементів зон деформації синтезована конструкція активного затискного кулачка пристосування для затиску деталей з циліндричними базовими поверхнями для токарної обробки (рис.1), який містить переміщувану пружну затискну секцію та керовані гідравлічним середовищем плунжери, що з нею взаємодіють [5].

У роботі проведені дослідження взаємодії активного затискного кулачка та затиснутої тонкостінної деталі з використанням CAD/CAE-системи при різних силових навантаженнях та товщині стінки затискної секції. На їх основі визначено переміщення та еквівалентні напруження, значення яких розраховувалися по гіпотезі енергії зміни форми Ріхарда Фон Мізеса. За результатами дослідження встановлено, що для активного затискного кулачка місця концентрації максимальних еквівалентних напружень знаходяться в зоні

твердотільних шарнірів, а затискна секція при силових навантаженнях від плунжерів в діапазоні 100…1000 Н працює в зоні пружних деформацій. Отримані величини максимальних зміщень затискної секції при тих самих силових навантаженнях від плунжерів та товщинах її стінки *t* від 4 до 2 мм становлять 0,022…0,235 мм, що дозволяють забезпечити потрібну точність центрування заготовок з циліндричними базовими поверхнями.



а) б)

Рис. 1. Конструкція активного затискного кулачка (а) та пристосування для токарної обробки тонкостінних деталей, оснащене активними затискними кулачками (б)

Запропоновано також спосіб суміщення осі деталі та шпинделя, який полягає у визначенні положення осі шпинделя і положення попередньо затиснутої в активних кулачках адаптивного пристосування деталі, після чого переміщенням затискних секцій активних кулачків забезпечується суміщення осі деталі з віссю шпинделя. Виведено залежності для визначення модуля вектора відстані від центру шпинделя до центру тонкостінної деталі та його кутового положення, а також величин підналагоджувальних переміщень затискних секцій кожного активного кулачка в радіальному напрямку.

Література:

1. Технологічне оснащення для високоефективної обробки деталей на токарних верстатах: Монографія/ Кузнєцов Ю.М., [та ін.].– К.: – Тернопіль: Терно-граф, 2011. – 692 с.

2. Liu H. Fixturing technology and system for thin-walled parts machining: A review/ C.Wang, T.Li, Q.Bo, K.Liu, Y.Wang// Frontiers of Mechanical Engineering – 2022. – Vol.17, Issue 4 – pp. 1-32.

3. Зажимные механизмы для высокопроизводительной и высокоточной обработки резанием: Монография/ Кузнєцов Ю.М., [та ін.]. – Габрово: Университетское издательство «Васил Априлов», 2010. 724 с.

4. Brecher C. Machine Tools Production Systems 3. Mechatronic Systems, Control and Automation/ C. Brecher, M. Weck. – Springer Fachmedien Wiesbaden, 2022. – 697p.

5. Затискний кулачок з адаптивними властивостями для затиску тонкостінних циліндричних деталей: пат. 155505 Україна: B23B31/10 / В.Н. Волошин, І.Г. Лось – № u 2023 03561; заявл. 24.07.2023; опубл. 06.03.2024, Бюл. №10. – 4 с.

ЗАСТОСУВАННЯ КОМПЛЕКСНОЇ МАГНІТНО-АБРАЗИВНОЇ ОБРОБКИ ТА ІОННО-ПЛАЗМОВОГО ТЕРМОЦИКЛІЧНОГО АЗОТУВАННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ СПЛАВУ ЕП 962

[1]Майборода В.С., [2]Налімов Ю.С., [1]Слободянюк І.В.
([1]НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ, [2] ІПМіц. ім. Г.С.Писаренка НАН України, м. Київ Україна)

Підвищення довговічності виробів, що експлуатуються в умовах знакозмінних навантажень, безсумнівно, є актуальною проблемою. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є формування специфічних властивостей поверхневого шару деталей, тому що саме в поверхневих шарах деталей при їх експлуатації, як правило, має місце зародження тріщин утоми. Негативними факторами, що негативно впливають на опір утоми є мікроконцентратори напружень у вигляді підвищеної шорсткості поверхні, наявності мікроподряпин, позитивні внутрішні напруження як першого, так і другого роду, які пов’язані з технологічною спадковістю виготовлення виробів, мікротріщини і т.ін. Виходячи з зазначеного при виготовленні відповідальних деталей особливу увагу приділяють методам фінішного оброблення з метою формування особливих властивостей поверхневих шарів виробів. Саме методи фінішної поверхневої обробки дозволяють у більшості випадків забезпечити формування властивостей поверхневих шарів виробів, які позитивно впливають на гальмування процесів, пов'язаних із зародженням тріщин утоми та їх розвиненням. Традиційно до таких методів можна віднести методи поверхневого пластичного деформування з одночасним додатковим поліруванням і дифузійним насиченням поверхневого шару.

Одним із перспективних підходів , що використовуються є комплексна обробка, яка складається із комбінування процесів субструктурного зміцнення поверхневого шару в процесі магнітно-абразивної обробки (МАО) порошками різного розміру і форми і іонно-плазмовим термоциклічним азотуванням (ІПТА) [1] . Ефективність тієї чи іншої обробки оцінювали за результатами випробувань зразків на втому. Випробування проводили при симетричному циклі

навантаження зразків на електродинамічному вібраторі при рівні навантажень в робочій частині зразків σ_a - 400 і 500 МПа. Число циклів до руйнування зразка – ***N*** було критерієм ефективності відповідного режиму обробки. Додатково для оцінки стану поверхні визначали параметр шорсткості ***Ra*** робочої частини і поверхневу твердість ***HV*** поверхневого шару зразків .

Експериментальні дослідження виконували на корсетних зразках з сплаву ЕП 962 з круглим поперечним перерізом, які мають діаметр робочої частини 6 мм та довжину 140 мм. (Рис.1).

МАО для зниження шорсткості робочих поверхонь виконували оскольчатими порошками Феромап з розміром частинок 200/100 і 315/200 мкм, а з метою пластичного деформування поверхневого шару порошком з округлою формою частинок – дріб чавунна (ДЧ) з розміом частинок 1400/1000 мкм.

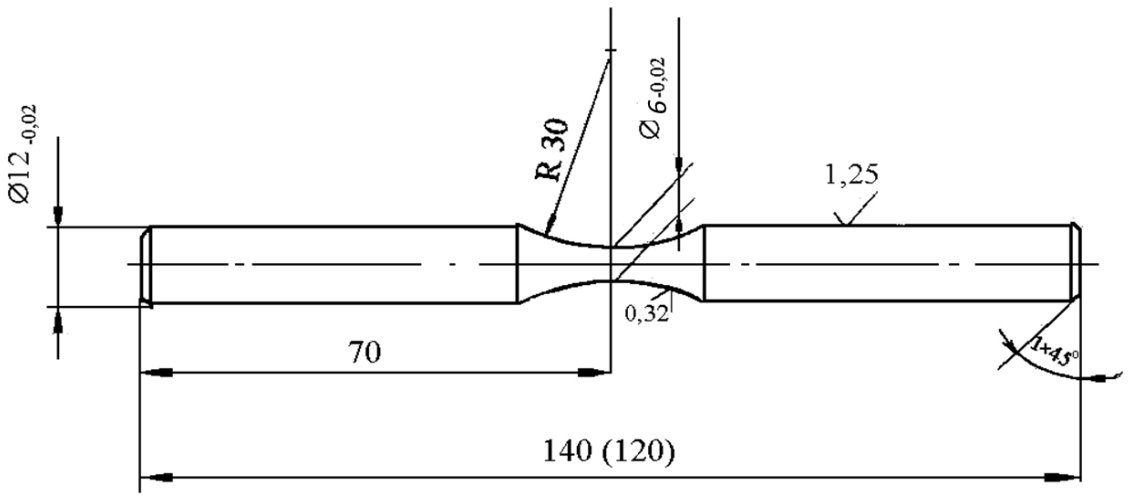


Рис.1 Ескіз зразка для випробувань на втому.

Процес оброблення виконували на установці типу кільцева ванна [1] при швидкості МАО навколо осі кільцевої ванни 3 м/с і частоті обертання зразків навколо власної осі – 700-800 об./хв., магнітній індукції в робочій зоні 0,2 Тл і часі оброблення 3-4 хв. і куті нахилу зразків по відношенню до осі кільцевої ванни – р=40°.

Експериментальні результати зведено в таблицю 1.

Таблиця 1

Послідовність етапів оброблення	σ_a, МПа	***N***, млн.циклів	***HV***, ГПа	***Ra***, мкм
Вихідний	400	10	5,8	0,32
Феромап (200/100)+ІПТА +Феромап(315/200)	500	1,9		0,18
Феромап (315/200)+ІПТА +Феромап(315/200)	500	4,57		
Феромап (315/200)+ІПТА	500	1,8	12	0,15
ДЧ(1400/1000)+Феромап(315/200)	500	0,72		
ДЧ(1400/1000)	500	11,3	7,7	0,29
ДЧ(1400/1000)	500	9,2	8,1	0,4
ДЧ(1400/1000)	500	10,5	7,6	0,3
ДЧ(1400/1000)	500	10,15	7,6	0,29
ДЧ(1400/1000)+ІПТА	500	2,7	12,7	0,3
ДЧ(1400/1000)+ІПТА	500	2,85	12,7	0,3
ДЧ(1400/1000)+ІПТА	500	4	9	
Феромап (315/200)+ДЧ(1400/1000) +ІПТА+ Феромап (315/200)	500	2,7	12,7	0,3
Феромап (315/200)+ДЧ(1400/1000)	500	10	7,6	0,27

Результати пошукових випробувань показали, що раціональною комбінацією етапів оброблення є подвійна МАО - Феромап (315/200)+ДЧ(1400/1000). Треба відзначити, що існує безпосередній зв'язок між поверхневою твердістю зразків після комплексної обробки і межою витривалості. Показано, при поверхневій твердості, яка знаходиться в межах 7,6 – 8 ГПа отримано найкращі результати по довговічності зразків. Перевищення зазначених меж поверхневої твердості призводить до суттєвого зменшення числа циклів до руйнування, що свідчить про формування в поверхневих шарах зразків несприятливого напруженого стану.

Література:

1. Б.А. Ляшенко, А.В. Рутковский, В.І. Мироненко, О.В. Радько. Спосіб поверхневого зміцнення сталевих деталей іонно-плазмовим азотуванням у пульсуючому і тліючому розряді, Пат. 10014 Україна, Чинний від 15.12.2006, Бюл.№12.

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО НАПЛАВЛЕННЯ У ВАЖКОМУ МАШИНОБУДУВАННІ

Макаренко Н.О., Кущій Г.М., Бєзгін О.А., Борисенко Ю.Ю.
(ДДМА, м. Краматорськ - Тернопіль, Україна)

У галузі важкого машинобудування наплавлення є одним із провідних методів відновлення та зміцнення великогабаритних деталей, що працюють в умовах інтенсивного зношування. Різноманіття технологій наплавлення дозволяє отримати зносостійкі покриття з точно визначеними експлуатаційними властивостями, адаптованими до конкретних умов експлуатації [1].

Сучасні технології наплавлення пропонують різноманітні методи для відновлення поверхонь, зокрема: ручне дугове наплавлення покритими електродами, наплавлення під шаром флюсу, наплавлення в середовищі захисних газів плавкими та неплавкими електродами, дугове наплавлення порошковими дротами, стрічками та плющенкою, плазмове наплавлення з аксіальною подачею порошкового дроту, електрошлакове наплавлення тощо.

Одним із перспективних напрямів є метод наплавлення із застосуванням екзотермічних сумішей. Екзотермічні компоненти забезпечують додаткове тепловиділення, покращуючи стабільність дуги, зменшуючи розбризкування та підвищуючи якість і механічні властивості шва. Додавання таких сумішей у флюси або покриття електродів дозволяє знизити енергетичні витрати, підвищити коефіцієнт корисної дії та сприяє рівномірному плавленню металу. Застосування екзотермічних сумішей у механізованих та автоматизованих способах наплавлення є особливо перспективним, оскільки сприяє підвищенню продуктивності та якості процесу відновлення [2].

Ефективне використання екзотермічних сумішей у зварюванні та наплавленні потребує ретельної оптимізації складу флюсів. Дослідження показують, що правильне співвідношення екзотермічних компонентів може суттєво впливати на стабільність процесу, якість шва та загальні енергетичні витрати [3, 4]. Оптимізація складу екзотермічних сумішей має стати одним із пріоритетних напрямів подальших досліджень, оскільки це відкриває додаткові можливості для підвищення ефективності процесів наплавлення. Також необхідно дослідити довготривалий вплив на мікроструктуру металу шва, вплив нових композицій флюсів на властивості зварних з'єднань та розробити методи, що дозволяють забезпечити максимально ефективне використання екзотермічного нагрівання у промислових умовах.

Ще одним із найперспективніших напрямів є метод наплавлення із застосуванням керованих магнітних полів, що відкриває нові можливості для оптимізації процесу. Його застосування сприяє покращенню якості зварного з’єднання, підвищенню його довговічності, зменшенню кількості дефектів (пор, тріщин), удосконаленню мікроструктури наплавленого металу, а також зниженню потреби в додатковій механічній обробці [5]. Використання

магнітного поля дозволяє керувати формою дуги та характером перенесення крапель рідкого металу, що в підсумку забезпечує стабільність процесу наплавлення та зниження виробничих витрат.

Залежно від напрямку введення магнітного поля, розрізняють наплавлення із додаванням поздовжніх (ПДМП) та поперечних (ПОМП) магнітних полів. ПДМП змінює форму дуги з дзвіноподібної на конусоподібну, що підвищує ефективність наплавлення, зменшує розмір зони проплавлення основного металу та сприяє контролю форми шва [5]. ПОМП, у взаємодії з електричним струмом, формує умови для появи Лоренцевих сил, що впливають на розподіл тепла та рух металу у ванні, зменшуючи пористість і підвищуючи однорідність структури [6].

Попри численні переваги цього методу, його широке впровадження стримується через відсутність достатньої кількості розрахункових методик для точного визначення частоти та індукції поздовжніх і поперечних магнітних полів. Також є потреба у поглибленому вивченні гідродинамічних процесів та впливу Лоренцевих сил. Подальші дослідження мають зосередитись на оптимізації параметрів магнітного поля, особливо для феромагнітних матеріалів, що дозволить підвищити довговічність, точність і економічну ефективність технології.

Проведений аналіз показав, що інноваційні підходи до наплавлення, зокрема застосування екзотермічних сумішей та керованих магнітних полів, мають значний потенціал для підвищення якості, надійності та енергоефективності процесів відновлення великогабаритних деталей. Їх подальший розвиток потребує точних методик розрахунку та поглибленого дослідження фізичних і гідродинамічних процесів, що відбуваються у зварювальній ванні.

Література:

1. Новомлинець О. О. Проєктування технологічних процесів зварювального виробництва : навчальний посібник / О.О.Новомлинець, С.В.Олексієнко, С.М.Ющенко. - Чернігів: НУ «Чернігівська політехніка», 2023. – 130 с. - ISBN 978-617-7932-50-4.

2. Власов А. Ф., Макаренко Н. А. Екзотермічні суміші в зварювальному виробництві. Вісник Донбаської державної машинобудівної академії, №1 (32), 2014., с 173-179.

3. Власов А.Ф., Макаренко Н. О., Кущій Г.М. Нагрів і плавлення електродів з екзотермічною сумішшю в покритті. Автоматичне зварювання, №6-7 (733), 2014., с. 151 – 154.

4. Власов А. Ф., Пресняков В. А., Кущій Г. М. Високопродуктивні електроди на новому зв'язуючому для наплавлення вуглецевих легованих сталей // Вісник ДДМА. – 2011. – № 1 (22).

5. Размишляєв О.Д, Агєєва М.В. Характеристики стовпа дуги при TIG-зварюванні з дією поздовжнього магнітного поля // Журнал «Автоматичне зварювання», № 11, 2021, с. 3-7. https://doi.org/10.37434/as2021.11.01

6. Размишляєв О.Д., Агєєва М. В. Вплив поперечного магнітного поля на геометрію валиків при відновленні виробів// УДК 621.791.927.5 ISSN 1993-8322. ВІСНИК Донбаської державної машинобудівної академії. № 2 (44), 2018. с. 77-79

МОДЕЛЮВАННЯ СТРУЖКОУТВОРЕННЯ ПІД ЧАС ЧИСТОВОГО ТОЧІННЯ ЗАГАРТОВАНОЇ СТАЛІ

Манохін А.С., Клименко С.А., Клименко С.Ан., Копєйкіна М.Ю., Чумак А.О.
(ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України, м. Київ, Україна)

При моделюванні стружкоутворення під час чистового точіння загартованої сталі було використано критерій руйнування за Брозо, який встановлює залежність руйнування матеріалу від найбільшого головного напруження і гідростатичного напруження [1]:

$$D = \int_0^{\overline{\varepsilon_f}} \frac{2\sigma_1}{3(\sigma_1 - \sigma_m)} d\overline{\varepsilon},$$

де $\overline{\varepsilon}$ – величина еквівалентної пластичної деформації; σ_1 – найбільше головне напруження; σ_m – гідростатичне напруження. При моделюванні з використання цього підходу : – руйнування елемента починається при значенні *D*, рівному прийнятому критерію, і даний елемент видаляється з подальшого розрахунку; – при величині *D* = 0,5 має місто зміна типу стружки зі зливної на сегментну [2]. При вказаному підході використовується змішана модель тертя із врахуванням внутрішнього тертя у вторинній зоні деформацій, яке підвищує стабільність стружкоутворення.

В табл. 1 наведено результати дослідження впливу величини критерію *D* на характеристики процесу обробки під час точіння стали ШХ15 (62–64 HRC), різцем, оснащеним PcBN Борсиніт. Порівнюючи форму стружки, а також величини параметрів контактної взаємодії інструмента з оброблюваним матеріалом із експериментально встановленими значеннями, можна зробити висновок, що найкраще наближення за сукупністю показників вдається отримати за значення критерію руйнування *D* = 0,15. Збільшення величини *D* приводить до зростання сили різання, але і довжина контакту стружки з передньою поверхнею, максимальне та мінімальне значення товщини стружки також зростають і при співпадінні з результатами експерименту за параметром сили різання, останні значно перевищують величини, виміряні емпірично.

Таблиця 1. Отримані результати досліджень

D	P_z, Н (max)	P_y, Н (max)	*L*, мкм (max)	*a*, мкм (max/min)
0,1	85	36	70	95/40
0,15	112	45	110	102/38
0,2	127	59	120	150/40
0,3	132	67	136	160/55
0,5				
Експеримент	125	42	112	80/40

Література: 1. Brozzo, P. A new method for the.prediction of formability limits of metal sheets / P. Brozzo, B. Deluca, R. Rendina // Proc. of the 7th biennial cong. in Inter. Deep Draw. Res. Group. – 1972. – P. 3.1/3.5; **2.** Криворучко, Д.В. Основи 3D-моделювання процесів механічної обробки методом скінченних елементів: навчальний посібник / Д.В. Криворучко, В.О. Залога, В.Г. Корбач. – Суми : Вид-во СумДУ, 2010. – 208 с.

ПІДХОДИ ДО АНАЛІЗУ МІЦНОСТІ СУДНОВИХ ГРЕБНИХ ГВИНТІВ, ВИГОТОВЛЕНИХ ЗА ДОПОМОГОЮ WAAM-ТЕХНОЛОГІЇ З ІНТЕГРОВАНИМИ КОМІРЧАСТИМИ СТРУКТУРАМИ

Манько В.В.
(Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна)

Постановка задачі.

Суднобудування активно впроваджує інноваційні технології, серед яких дротово-дугове адитивне виробництво (Wire Arc Additive Manufacturing, WAAM) вирізняється здатністю створювати великогабаритні деталі складної геометрії. Застосування WAAM у виготовленні суднових гребних гвинтів відкриває нові можливості для зменшення маси конструкцій і матеріаломісткості завдяки впровадженню порожнистих комірчастих структур. Однак відсутність уніфікованих підходів до оцінки міцності та надійності таких виробів обмежує широке впровадження технології.

Метою цієї роботи є дослідження доцільності використання WAAM для створення гребних гвинтів із внутрішніми комірчастими структурами та розробка рекомендацій щодо забезпечення їхньої механічної надійності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

У світовій науково-технічній літературі накопичено значний досвід дослідження властивостей металевих виробів, виготовлених методом WAAM. Проте більшість робіт стосується зразків із суцільною геометрією та умовами статичного навантаження. Питання впливу анізотропії структури та залишкових напружень розглядаються фрагментарно.

У контексті суднобудування досі залишаються актуальними питання стійкості та ресурсу гребних гвинтів, особливо при роботі в умовах нерівномірного потоку за корпусом. Деякі роботи торкаються питань гідродинаміки, проте системний підхід до одночасного аналізу матеріалу, геометрії та навантаження з урахуванням WAAM-технології є поодиноким.

Серед ключових наукових проблем, що потребують додаткового дослідження, виділяються:

- обмежена кількість даних щодо втомної міцності WAAM-компонентів, особливо з комірчастими структурами;
- недостатня інформація про механічні властивості та анізотропію WAAM-матеріалів залежно від параметрів наплавлення;

- відсутність уніфікованої методики міцнісного аналізу суднових гвинтів із внутрішніми пустотілими елементами, створених адитивно.

Мета роботи.

Метою дослідження є оцінка міцності лопатей литого гребного гвинта та вивчення механічних характеристик нікель-алюмінієвої бронзи (NAB), надрукованої за допомогою WAAM, з наступним удосконаленням підходів до визначення міцності. Це забезпечує кращу відповідність методики особливостям конструкцій з WAAM-комірками. Розглянуто підхід до розрахунку втомної міцності з урахуванням особливостей WAAM-процесу та вимог класифікаційних товариств.

Методи.

Об'єкт дослідження – гребний гвинт буксира з NAB діаметром 4,3 м. Проведено CFD-аналіз у SolidWorks Flow Simulation у відкритій воді та за корпусом судна. FEM-розрахунки проведено у SolidWorks Simulation з урахуванням геометричної нелінійності. Досліджено характеристики WAAM-NAB: межу текучості, міцність на розрив, втомну витривалість і стійкість до корозії.

Результати та обговорення.

WAAM-бронза продемонструвала на 30–50% вищу межу текучості та на 17–20% більшу міцність на розрив порівняно з литим аналогом. Зафіксовано наявність анізотропії, характерної для адитивних матеріалів. Напруження та коефіцієнти запасу проаналізовано для різних режимів роботи конструкції. З'ясовано, що в зоні кореня лопаті (0,2–0,3 R) інтеграція порожнистих структур недоцільна, тоді як область 0,4–0,9 R придатна для впровадження градієнтних елементів, що дозволяє зменшити масу конструкції. Уточнено коефіцієнти запасу для гвинтів з WAAM-структурою, з урахуванням підвищених вимог до втомної міцності.

Висновки.

Технологія WAAM у поєднанні з комірчастими структурами створює передумови для виготовлення оптимізованих, легких та міцних гребних гвинтів. CFD–FEM-аналіз дозволяє точно визначити зони найбільших навантажень і зони для зменшення маси шляхом застосування порожнистих структур. Запропонована методика враховує не лише фізико-механічні властивості WAAM-матеріалу, але й специфіку виробництва. Доведено потребу в збільшених коефіцієнтах запасу для WAAM-компонентів. Подальші

дослідження мають бути спрямовані на поведінку таких елементів за аварійних навантажень і експериментальну валідацію.

Практична значимість.

Розроблена методика має прикладне значення для проєктування сучасних гребних гвинтів з урахуванням реальних умов експлуатації – пульсацій, вібрацій, режимів навантаження. Інтеграція порожнистих структур сприяє економії матеріалів, прискоренню виробництва та зниженню експлуатаційних витрат. Використання WAAM-гвинтів також полегшує технічне обслуговування за рахунок можливості локального ремонту методом повторного наплавлення.

Література:

1. Zhang, Z., Yan, J., Lu, X., Zhang, T., & Wang, H. (n.d.). *Optimization of porosity and surface roughness of CMT-P wire arc additive manufacturing of AA2024 using response surface methodology and NSGA-II*. Civil Aviation University of China; Tianjin University of Technology and Education.

2. Orzolek, S. M., Semple, J. K., & Fisher, C. R. (2021). *Nickel-Aluminum Bronze (NAB) review: Additive manufacturing and weldability* (pp. 29–30).

3. Kim, J., Kim, J., & Pyo, C. (2020). *Comparison of mechanical properties of Ni-Al-Bronze alloy fabricated through WAAM with cast alloy*.

4. Roshan, M., Mahtabi, M. B., Ranjbar Eslamloo, S., Behvar, A., & Haghshenas, M. (2024). *Review on fatigue characteristics of NAB: Conventional and additive methods*. University of Toledo, USA.

5. Bureau Veritas. (2025, January). *Rules on materials and welding for classification of marine units* (NR216).

6. Bercelli, L., Moyne, S., Dhondt, M., Doudard, C., Calloch, S., & Beaudet, J. (2021). Probabilistic approach for HCF of WAAM parts considering process-induced pores. *Additive Manufacturing, 42*, 101989.

7. Shakil, S. I., Shakerin, S., Rahmdel, K., et al. (2024). Fatigue response of WAAM NAB in post-annealed condition. *International Journal of Fatigue*, 108472.

8. Dharmendra, C., Amirkhiz, B. S., Lloyd, A., Ram, G. D. J., & Mohammadi, M. (2020). WAAM NAB with enhanced mechanical properties via heat treatments. *Additive Manufacturing, 36*, 101510.

9. Helle, H. P. E. (1981). *An investigation of ship propeller fatigue*.

10. Bertoglio, C., & Rizzo, C. M. (2016). Survey on fatigue strength of cast bronzes for marine propellers. *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures, 39*(7), 793–816.

11. Bertoglio, C., Gaggero, S., Rizzo, C. M., Viviani, M., & Vaccaro, C. (2015). Improvements in fatigue strength assessment of marine propellers. In *Analysis and design of marine structures*. Taylor & Francis.

13. Shen, C., Mu, G., Hua, X., Li, F., Luo, D., Ji, X., & Zhang, C. (2019). *Influences of heat treatments on anisotropy of WAAM-fabricated NAB.*

УДК 621.735.3

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ШТАМПУВАННЯ КРУПНОКАЛІБЕРНИХ АРТСНАРЯДІВ У ТОМУ ЧИСЛІ ЗАХІДНИХ КАЛІБРІВ

[1]Марков О.Є., [1]Клименко Г. П., [2]Калюжний В.Л., [3]Загірняк Д.М.
(ДДМА, м. Краматорськ-Тернопіль, Україна, [2]НТУУ «КПІ ім.Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна, [3]Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, м. Кременчук, Україна)

Однією з галузей, що встановлює національну безпеку країни, є спеціальне машинобудування з виробництва озброєнь. Зі скороченням поставок артилерійських снарядів калібром 155 мм від США виникла проблема налагодження власного виробництва снарядів натівського калібру. Крім цього радянські артилерійські стволи вже вичерпали свій ресурс, а на заміну їм в Україні запущено власне виробництво артилерійських стволів під калібр 155 мм (САУ «Богдана»).

Все це вимагало термінового виробництва снарядів 155 мм по типу М107 та М795. Встановлення формозмінення та термо-напружено-деформованого стану (ТНДС) заготовки під час штампування снарядів є актуальним завданням. Тому розробка наукового підґрунтя для проектування технологічних процесів штампування артилерійських снарядів є своєчасною та актуальною проблемою. Розв’язання цієї проблеми дозволить посилити власне крупносерійне виробництво артилерійських снарядів.

Снаряди калібром 155 мм мають довгу конусну частину та технологія її виготовлення відрізняється від радянських технологій і потребує розробки спеціальних способів обтискання носика снаряду. Для розв’язання цієї проблеми було проведено ряд комплексних наукових досліджень для встановлення закономірностей течії металу під час штампування та встановлення механізмів керування формозміненням заготовки за триопераційного штампування.

Мета роботи полягає у підвищенні ефективності та розширенні технологічних можливостей виготовлення артилерійських снарядів у тому числі калібром 155 мм, що забезпечує підвищення продуктивності процесу та зменшення витрат металу й енергії.

Дослідження штампування снарядів проводилося з використанням методу скінчених елементів. Новим методологічним підходом дослідження багатоперехідних операцій є розробка скінчено-елементної (СЕ) 3D моделі, що враховує зміцнення та релаксацію внутрішніх напружень під час гарячого штампування. На основі розробленої СЕ моделі визначено ТНДС заготовки на всіх етапах штампування, що не було зроблено раніше навіть зарубіжними дослідниками. Досліджено вплив геометрії деформувального інструменту на формозмінення та силові показники на всіх операціях штампування.

Аналіз експериментальних результатів дозволив підтвердити встановлені режими деформування і впровадити розроблений новий технологічний процес у виробництво.

Наукова новизна роботи полягає в отриманні нових знань для створення ресурсозберігаючих технологій, конструкцій штампового оснащення та обладнання для виробництва корпусів крупнокаліберних снарядів у тому числі калібром 155 мм.

На відміну від американських технологій штампування снарядів калібром 155 мм, у розробленій технології були суміщенні дві заготівельні операції в одну. До того ж, протягування гільз перед обтискуванням конуса проводиться не крізь три–чотири матриці, як у відомих техпроцесах, а через одну матрицю. Окрім цього, розроблено новий спосіб протягування заготовок снарядів через матрицю з криволінійною робочою поверхнею. Це надало можливість зменшити силу протягування та збільшити стійкість матриці. Вищезазначені підходи не використовуються зарубіжними виробниками снарядів.

Зменшення кількості штампувальних переходів з 8 до 4 надає перевагу у продуктивності процесу штампування порівняно із зарубіжними аналогами у тому числі калібром 155 мм, що вкрай важливо в теперішніх умовах для України. Оптимізація форми та розмірів технологічних переходів штампування на всіх операціях дозволила зменшити кількість пресів автоматизованої лінії з 4 до 3 і для штампування корпусу снаряду використовувати менш потужні (у 2…2,5 раза) гідравлічні преси, ніж у базових техпроцесах. Це надало можливість зменшити витрати електроенергії у 1,5…2,0 раза.

На відміну від зарубіжних технологій штампування снарядів калібром 155 мм з газовим нагріванням заготовок, запропонована технологія передбачає індукційне нагрівання, яке в 2,3 рази відбувається швидше, що дозволило знизити угар до 0,25…0,35 %.

Важливою відмітною особливістю розроблених технологій, що вигідно відрізняє їх від відомих зарубіжних аналогів, є вилучення окремої енергоємної термічної обробки, а натомість для забезпечення заданих механічних властивостей використовувалася термомеханічна обробка. Це дозволило уникнути тривалого процесу термообробки, не витрачати природний газ для нагрівання, зменшити витрати металу на угар та уникнути окислення внутрішньої поверхні камори снаряду. Це надало можливість підвищити продуктивність виготовлення снарядів, зменшити витрати металу, природного газу та знизити собівартість їх виготовлення.

Розроблені нормативи механічної обробки снарядної сталі дозволили підвищити продуктивність на 8…12% і зменшити витрати дефіцитних інструментальних матеріалів. За допомогою цих нормативів розроблено технологічні процеси, призначено верстати та інструмент для механічної обробки корпусів снарядів.

Література: 1. Kaliuzhnyi V., Markov O., Aliieva L., Levchenko V., Kaliuzhnyi A. Investigation of hot combined extrusion of steel hollow conical parts. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*. 2024. 46(8), №454. https://doi.org/10.1007/s40430-024-05032-4. **2.** Markov O., Zinskyi V., Shevtsov S., Hrudkina N. Designing optimal geometry of the radius die for broaching cases. (2024) *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6/1 (132), pp. 76-83 https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.317060

СИСТЕМА КЕРУВАННЯ УСТАНОВКИ ОБ'ЄМНОГО НАПЛАВЛЕННЯ ПОРОШКОВИМ ЕЛЕКТРОДОМ

Медвідь Ю.В., Дерев'янко Д.О., Панчук В.Г.
(Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна)

Лабораторна установка для наплавлення порошковим електродом конструктивно являє собою універсальний трьохкоординатний стіл (рис. 1). Для подачі стрічкового порошкового електроду використовується модифікований механізм подачі зварювального дроту від зварювального напівавтомату.

Постановка задачі. Необхідно здійснити наплавлення порошкового матеріалу на плоску поверхню стальної заготовки. Для цього числова система керування установки повинна забезпечити переміщення робочого органу за заданою траєкторією із встановленою швидкістю і подачу плавкого електроду синхронізовано з переміщенням із підтримкою заданих параметрів наплавлення.

Рис. 1. Лабораторна установка для наплавлення порошковим електродом на базі універсального 3-х координатного стола

Основна частина. Для вирішення проблеми і уточнення параметрів експериментальної установки в межах пошукового експерименту створюється розімкнута система керування розділена на дві частини. Перша частина буде керувати переміщенням робочого органу за трьома координатами з використанням крокових двигунів. В якості системи керування використаємо одну із відомих систем ЧПК. На етапі виготовлення лабораторного зразка може бути використана найпростіша система ЧПК MACH3, яка являє собою програмно-апаратний комплекс на базі персонального комп'ютера. Друга частина системи керування забезпечує мікропроцесорне керування джерелом зварювального струму.

Структурна схема зображена на рис. 2. Персональний комп'ютер через інтерфейсну плату MACH3 і драйвери двигунів керує трьома кроковими двигунами типу NEMA 23.

Подача електроду здійснюється мотор-редуктором постійного струму. Для керування швидкістю подачі використовується система керування подачею зварювального дроту від зварювального напівавтомату моделі SSVA-500.

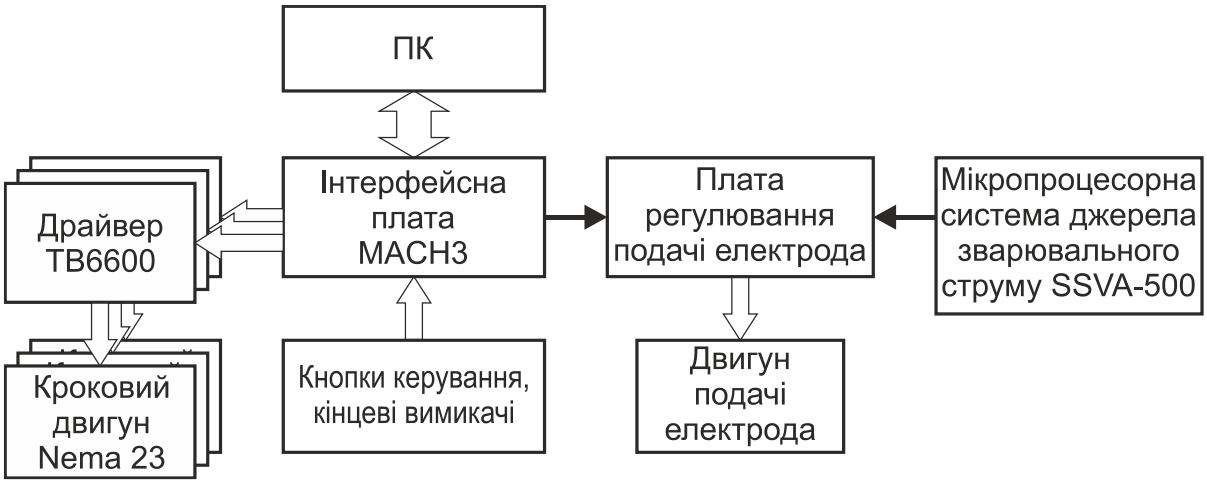


Рис. 2. Структурна схема системи керування установки об'ємного наплавлення стрічковим порошковим електродом

Запропонована структурна схема реалізована на базі комп’ютера HP t510 Flexible Thin Clien. Загальний вигляд зображено на рис. 3. Інтерфейсний модуль містить плату MACH3, драйвери крокових двигунів, модуль регулювання подачі електроду і з’єднаний з комп’ютером через паралельний LPT-порт.

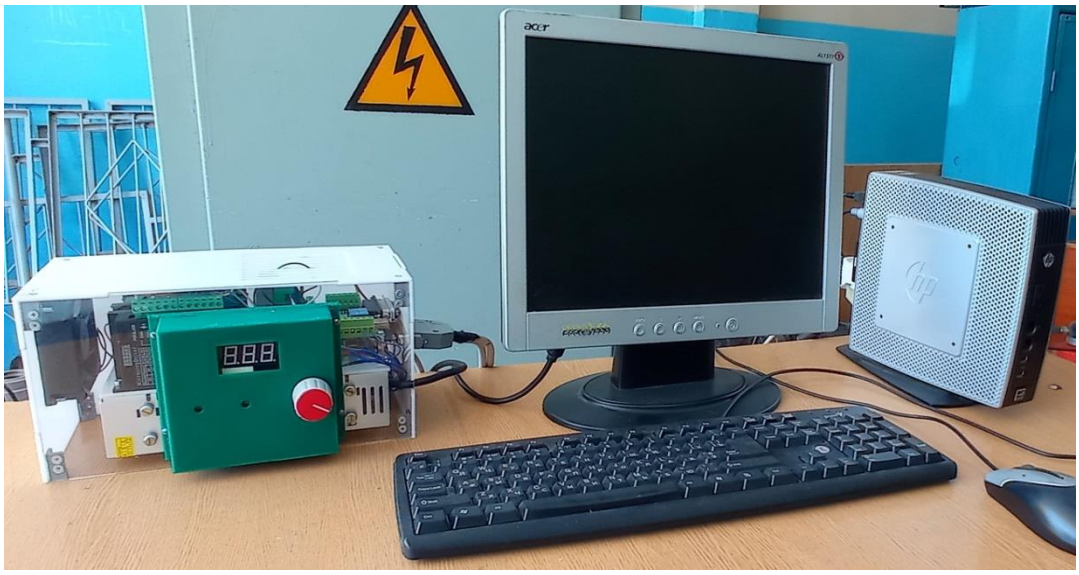


Рис. 3. Загальний вигляд апаратної частини системи керування (без джерела зварювального струму)

Висновок: В межах виконання дисертаційного дослідження за третім рівнем вищої освіти розроблена система керування установки наплавлення стрічковим порошковим електродом.

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ ПОВЕРХОНЬ ГАЗОВИХ ПІДШИПНИКІВ МЕТОДАМИ АЗОТУВАННЯ ТА ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОГО АЛМАЗНОГО ШЛІФУВАННЯ

Мельченко А. С.
(ВНТУ, м. Вінниця, Україна)

Підвищення твердості, зносостійкості та довговічності деталей машин і механізмів є одним із ключових завдань сучасного машинобудування. Газові підшипники, що працюють у високошвидкісних і високотемпературних умовах, особливо потребують вдосконалення поверхонь для забезпечення їх довготривалої та стабільної роботи. Для зміцнення поверхневих шарів таких підшипників широко використовуються методи азотування, включаючи комбіновані технології, такі як нітрогартування, що поєднує дифузійне насичення азотом з подальшим термічним зміцненням [1, 2]. Такі підходи дозволяють суттєво підвищити твердість, зносостійкість та термостабільність матеріалу, забезпечуючи надійність підшипникових вузлів у складних умовах експлуатації.

Метою роботи є розроблення ефективних технологій підвищення зносостійкості та довговічності газових підшипників шляхом оптимізації методів азотування та електроерозійного алмазного шліфування, а також дослідити вплив цих методів на формування зміцнюючих шарів.

Запропоновано комплексний підхід до зміцнення поверхонь газових підшипників, який включає поєднання внутрішнього азотування з подальшим електроерозійним алмазним шліфуванням. Встановлено, що такий підхід сприяє формуванню стабільних нітридних структур у матеріалі, що забезпечує високу твердість і зносостійкість навіть у високотемпературних і динамічних умовах. Досліджено вплив енергетичних параметрів процесу шліфування на мікроструктурні зміни поверхневих шарів [3].

Проаналізовано методи дослідження такі як:

1. Експериментальні дослідження – механічні випробування зразків підшипникових матеріалів після азотування та електроерозійного алмазного шліфування для визначення їхньої твердості, зносостійкості та термостабільності [4]; аналіз мікроструктури зміцнених шарів з використанням електронної мікроскопії (SEM) та рентгенівської дифракції (XRD) для визначення фазового складу та розподілу нітридних включень [5].

2. Комп'ютерне моделювання – розробка чисельних моделей для оцінки розподілу температури, механічних напружень та фазових перетворень у поверхневих шарах підшипників під час електроерозійного алмазного шліфування [6]; використання методу скінченних елементів (FEM) для моделювання впливу енергетичних параметрів на формування зміцнюючих шарів [3].

Виявлено, що поєднання азотування з електроерозійним алмазним шліфуванням дозволяє суттєво підвищити зносостійкість газових підшипників за рахунок формування дисперсних нітридних частинок у поверхневому шарі Оптимізація технологічних режимів азотування дозволяє керувати фазовим складом та розподілом азоту, що позитивно впливає на довговічність підшипників.

Запропонований підхід до моделювання процесу зміцнення дозволяє враховувати термодинамічні аспекти формування зміцнюючих шарів, що сприяє покращенню надійності підшипників в умовах інтенсивного навантаження.

Література:

1. Cheng, Y., Wang, Y., Lin, J., Xu, S., & Zhang, P. Research status of the influence of machining processes and surface modification technology on the surface integrity of bearing steel materials. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2023, *125*(7), 2897-2923.

2. Svyazhin, Alexandr & Kaputkina, Liudmila & Smarygina, Inga & Kaputkin, D.. Nitrogen Steels and High-Nitrogen Steels: Industrial Technologies and Properties. *Steel research international*, 2022, 93. https://doi.org/10.1002/srin.202200160.

3. Medvedovski, Eugene. Advanced ceramics and coatings for erosion-related applications in mineral and oil and gas production: A technical review. *International Journal of Applied Ceramic Technology*, 2022, 20. https://doi.org/10.1111/ijac.14240.

4. Tang, Xiaojie & Junning, Li. Tribological Characteristics of Nano-Lubricated High-Speed Rolling Bearings Considering Interaction between Nanoparticles and Rough Surface. *Lubricants*, 2022, 10, 117. https://doi.org/10.3390/lubricants10060117.

5. Ma, J., Yu, G., Wang, X., Li, J., Wu, J., & Wang, X. Tribological Behavior of 3D-Printed Nanometer SiC and SiO_2 Particle-Reinforced Polyamide 12 Composites by Selective Laser Sintering under Seawater Lubrication Condition. *Polymers*, 2022, 14(19), 4137. https://doi.org/10.3390/polym14194137.

6. Chen, Hao & Zeng, T. & Shi, Quanqiang & Wang, Naiming & Zhang, Shuzhan & Yang, Ke & Yan, Wei & Wang, Wei. Microstructure Evolution and Mechanical Properties during Long-term Tempering of a Low Carbon Martensitic Stainless Bearing Steel. *Journal of Materials Research and Technology*, 2023, 25. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.05.239.

АНТИКРИЗОВЕ УПРАВЛІННЯ ПІДПРИЄМСТВОМ: ПРАВОВІ ЗАСАДИ ТА ВИКЛИКИ

Мельченко В.І., Бондаренко А.О.
(ДДМА, м. Краматорськ - Тернопіль, Україна)

У сучасних економічних умовах підприємства стикаються з численними викликами, серед яких фінансові нестабільності, ринкові коливання, зовнішні і внутрішні загрози. Антикризове управління стає ключовим елементом забезпечення життєздатності та конкурентоспроможності підприємств. Однак ефективність цих процесів значною мірою залежить від наявності чіткої і дієвої правової бази, яка регулює дії учасників господарської діяльності в кризових ситуаціях. У зв'язку з цим, вивчення правових засад антикризового управління, а також виявлення існуючих викликів і проблем є надзвичайно актуальним для розвитку теорії і практики сучасного менеджменту.

Антикризове управління є невід'ємною складовою сучасного менеджменту, що спрямована на своєчасне виявлення, аналіз і подолання кризових ситуацій, які можуть загрожувати стабільності та розвитку підприємства. Важливою умовою ефективності антикризового управління є надійна правова основа, яка регулює взаємовідносини між учасниками господарської діяльності, визначає порядок дій у кризових ситуаціях та забезпечує захист прав і законних інтересів усіх сторін.

Антикризове управління – це комплекс заходів і процедур, спрямованих на запобігання та мінімізацію негативних наслідків кризових явищ на підприємстві. Цей процес базується на правових нормах, які визначають рамки і порядок його здійснення. До таких нормативних актів належать Господарський кодекс, Цивільний кодекс, Закони про банкрутство, податкове законодавство та інші галузеві нормативи.

Правове регулювання антикризового управління охоплює такі ключові напрямки:

Регулювання господарської діяльності**,** що визначає права та обов'язки підприємства, порядок укладання договорів, ведення фінансової звітності і податкових платежів.

Процедури банкрутства та реструктуризації**,** які дозволяють законно врегулювати фінансові труднощі підприємства, захистити інтереси кредиторів і зберегти робочі місця.

Правові норми щодо трудових відносин**,** що регламентують взаємовідносини з працівниками в умовах кризи, забезпечують соціальний захист та правову підтримку.

У разі настання кризової ситуації підприємство зобов'язане діяти відповідно до вимог законодавства. Це включає своєчасне інформування відповідних органів, дотримання процедур реструктуризації або банкрутства, виконання зобов'язань перед кредиторами та працівниками. Невиконання цих вимог може призвести до юридичної відповідальності керівництва та підприємства в цілому.

Законодавство передбачає кілька форм врегулювання фінансових проблем підприємств: санацію, реструктуризацію боргів, мирову угоду та ліквідацію. Кожна з них має свої юридичні особливості та процедурні вимоги. Важливою складовою успішного антикризового управління є грамотне застосування цих процедур з урахуванням інтересів усіх сторін.

Правильно складені і своєчасно оновлені договори є основою для мінімізації ризиків у кризовий період. Вони регламентують взаємні права і обов'язки сторін, умови виконання зобов'язань, а також передбачають механізми врегулювання спорів.

Керівники підприємств несуть відповідальність за своєчасне виявлення кризових симптомів і вжиття необхідних заходів. Законодавство передбачає різні форми відповідальності – від цивільно-правової до кримінальної – у разі неналежного виконання службових обов'язків, що призвело до збитків або банкрутства.

Кваліфікована правова підтримка допомагає підприємству уникнути помилок, забезпечити дотримання процедур та захистити інтереси в судових і позасудових процесах. Юридичний супровід є невід'ємною частиною стратегії антикризового управління.

Урахування практики застосування законодавства і змін економічного середовища вимагає постійного оновлення і вдосконалення нормативно-правових актів, що регулюють антикризове управління. Це сприяє підвищенню ефективності заходів з подолання криз і захисту економічної стабільності підприємств. Антикризове управління на підприємстві є складним і багатогранним процесом, який неможливо ефективно реалізувати без чіткої та надійної правової основи. Законодавство, що регулює господарську діяльність, процедури банкрутства, трудові відносини та інші ключові сфери, створює рамки для захисту інтересів усіх учасників ринку і сприяє стабілізації підприємства в кризових умовах. Своєчасне і правильне застосування правових інструментів, таких як реструктуризація боргів, санація або мирові угоди, допомагає не лише мінімізувати фінансові втрати, але й зберегти робочі місця та довіру партнерів. Водночас, відповідальність керівництва за прийняття рішень у кризових ситуаціях підкреслює важливість професійності та компетентності менеджменту. Юридичний супровід антикризового управління виступає ключовим чинником, що дозволяє уникнути правових помилок і забезпечити прозорість процесів. Окрім того, постійне вдосконалення правової бази відповідно до змін у економічному середовищі є необхідною умовою підвищення ефективності заходів антикризового характеру.

Отже, правові засади антикризового управління – це фундамент, який забезпечує законність, порядок і стабільність у складних умовах господарської діяльності. Лише гармонійне поєднання правових механізмів з професійним менеджментом дає змогу підприємствам успішно долати кризи і забезпечувати довгостроковий розвиток.

ПРОФІЛЮВАННЯ ЧЕРВ'ЯЧНИХ ФРЕЗ З ПРОТУБЕРАНЦЕМ ДЛЯ ОБРОБКИ АСИМЕТРИЧНИХ ВЕЛИКОМОДУЛЬНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

Мироненко О.Є.
(ДДМА, м. Краматорськ - Тернопіль, Україна)

Для поліпшення умов чистового оброблення асиметричних великомодульних зубчастих коліс припуск має бути нерівномірним: більшим біля вершин и, меншим біля ніжки зуба. Тому для обробки коліс із припуском під чистове оброблення потрібні спеціальні фрези. Вони відрізняються не тільки виконавчими розмірами, а й конструктивними елементами. Для забезпечення рівномірного розподілу припуску пропонується застосувати зуборізні черв'ячні фрези з протуберанцем [1,4].

Протуберанець забезпечує невеликий підріз ніжки зуба, щоб зменшити припуск під чистове оброблення в западині та знос шліфувального круга. Формоутворення ніжки зуба в цьому випадку набагато складніше, ніж у звичайних модульних фрез. Звичайна модульна фреза описує перехідну криву, яка плавно сполучається з евольвентним профілем деталі, унаслідок чого вершина ріжучого інструменту, що виконує чистове оброблення, перебуває в несприятливих умовах. Наявність підрізу істотно покращує умови різання, розвантажуючи вершинні кромки інструменту. Викружка утворюється потовщеною головкою фрези - протуберанцем (рис. 1). Головка фрези розширена введенням додаткового кута профілю, утвореного перехідною прямою між вершиною фрези і прямою основного профілю.

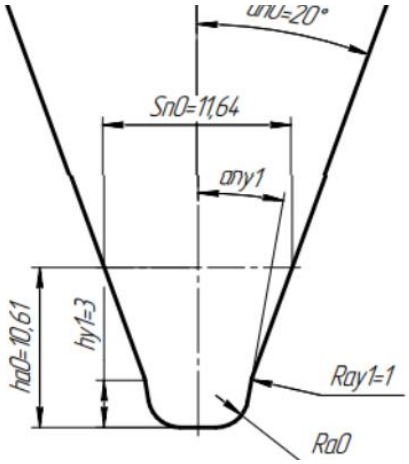


Рис. 1. Профіль зуба черв'ячної фрези з протуберанцем:
Sn0 - товщина зуба рейки на ділильному колі; ha0 - висота головки зуба; αn0 = 20°- кут профілю рейки; hy1- висота протуберанця; αn1 - радіус округлення бокової частини рейки

Під час розрахунку профілю зуба необхідно виконувати такі основні умови:

- кут профілю α_{W0} має бути більшим за αn0 за умовами різання;

- перехідна крива не повинна перетинати евольвенту вище точки A з полярними координатами;
-радіус протуберанця $\alpha n1_т$ має бути обраний таким чином, щоб не відбулося загострення вершини зуба;
- величина підрізу має перебувати в заданих межах.

Виконання другої умови для фрез із протуберанцем вимагає зменшення радіуса обкатки і, відповідно, кута профілю, що сприяє зменшенню шорсткості поверхні викружки. Забезпечення необхідної величини підрізу за певних значень заданим радіусом протуберанця призведе автоматично до виконання четвертої умови. Для цього одержувана на деталі викружка повинна мати достатню величину е підрізу. Величина підрізу залежить від конструкції та специфіки виробництва зубчастих деталей. Фреза з протуберанцем є спеціальним інструментом, призначеним для обробки певного зубчастого колеса з асиметричним профілем [2,3].

Пропонується методика профілювання зуба черв'ячних фрез та нарізання асиметричних великомодульних зубчастих коліс:

- Профілювання зуба фрези с кутом α =20 по правому робочому профілю.
- Профілювання зуба фрези с кутом α =24 по лівому не робочому профілю.
- Профілювання зуба фрези с протуберанцем для асиметричного профілю.
- Обробка зубчастого колеса с припуском по боковому профілю с протуберанцем і формуємо евольвентний профіль зуба.
- Обробка зубчастого колеса асиметричного профілю чистовою фрезою без обробки впадини зуба.

Цей метод профілювання та обробки рекомендується використовувати для асиметричних великомодульних зубчастих коліс, які працюють на високих навантаженнях. Це дозволить підвищити точність зціплення , забезпечити краще полягання зуба, зменшити вірогідність поломки зуба, зменшити шумність під час роботи зубчатої передачі.

Література:

1. Steshkov, A.E. Development of rough hobbing cutter for milling of cog-wheel of large module / A.E. Steshkov, V.E. Parfenov, N.N. Parfenova, A.V. Khandozhko, A.V. Kirichek // Mechanical Engineering and Technosphere of the XXI-st Century: Proceedings of the XXV-th Inter. Scientif.-Tech. Conf.: in 2 Vol. – DonNTU, 2018. – Vol.2. – pp. 363

2. Ковальов В.Д., Васильченко Я.В., Мироненко О.Є., Шаповалов М.В., Гасанов М.І., Клочко О.О. Підхід до вибору параметрів асиметричних передач у важкому машинобудуванні. *Нові та нетрадиційні технології в ресурсо- та енергозбереженні* : Матеріали міжнародної науково-технічної конференції, 24-25 листопада 2022 р., м. Одеса. – Одеса: Національний університет «Одеська політехніка», 2022. – С. 75-77.

3. Клочко О.О., Саприкіна Е.В., Федорьова А.О., Мироненко О.Є., Іванченко В.В. Ланцюгове логарифмічне сполучення зубчастих циліндричних передач // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров’я: тези доповідей XXXI. за ред. проф. Сокола Є.І. — Харків: НТУ «ХПІ».

4. Klochko, O., Okhrimenko, O., & Shapovalov, M. (2021). Initial instrumental surface of modular millings on the basis of one-band hyperboloid for the manufacture of gear wheeled wheels. Mechanics and Advanced Technologies, 5(3), 374–380. https://doi.org/10.20535/2521-1943.2021.5.3.250168

ІННОВАЦІЙНИЙ МАРКЕТИНГ І КРАУДСОРСИНГ: СИНЕРГІЯ ЦИФРОВИХ ПІДХОДІВ

Мироненко Є.В., Баркова С.О.
(ДДМА, м. Краматорськ - Тернопіль, Україна)

У сучасних умовах високої конкуренції та швидкої зміни запитів споживачів підприємства змушені оперативно адаптуватися, впроваджуючи нові підходи до організації маркетингової діяльності. Одним з найбільш перспективних інструментів є краудсорсинг — метод залучення зовнішніх учасників до генерації ідей, вирішення бізнес-завдань та створення інноваційних рішень.

Краудсорсинг дозволяє компаніям отримати доступ до колективного інтелекту широкої аудиторії — від споживачів до експертів у різних галузях. Завдяки використанню цифрових платформ та віртуальних спільнот, цей підхід стає доступним навіть для малого та середнього бізнесу, дозволяючи суттєво скоротити витрати на дослідження та розробки.

На сучасному етапі маркетинг трансформується у бік більшої відкритості, інтерактивності та персоналізації. Краудсорсингові платформи дають змогу не лише залучати нові ідеї, а й отримувати прямий зворотний зв’язок від цільової аудиторії, тестувати концепції продуктів, формувати лояльність до бренду. Все це сприяє підвищенню ефективності маркетингових стратегій [1].

У контексті українського ринку краудсорсинг поступово інтегрується у бізнес-практику. Наприклад, енергетична компанія ДТЕК успішно співпрацює з міжнародною платформою InnoCentive (США) для пошуку інноваційних рішень. Попри те, що в промисловості України краудсорсинг ще залишається новим явищем, спостерігається тенденція до його активного впровадження як ефективного інструменту інноваційного розвитку.

Отже, краудсорсинг є потужним елементом сучасного інноваційного маркетингу, що забезпечує оперативне реагування на виклики ринку, підвищення креативного потенціалу компанії та зміцнення взаємодії зі споживачами. У найближчій перспективі його роль у формуванні конкурентних переваг підприємств лише зростатиме.

Література:

1. Хау Дж. Краудсорсинг. Коллективный разум как инструмент развития бизнеса / Дж. Хау ; пер. з англ. — М. : Альпина Паблишер, 2012. — 288 с.

2. Полторак К. А., Зозульов О. В. Застосування крауд-технологій в маркетинговій діяльності підприємств. URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/11872/1/66.pdf .

СИСТЕМНО-СТРУКТУРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗБІРНИХ БЛОЧНО-МОДУЛЬНИХ РІЗЦІВ ДЛЯ ВАЖКИХ ВЕРСТАТІВ

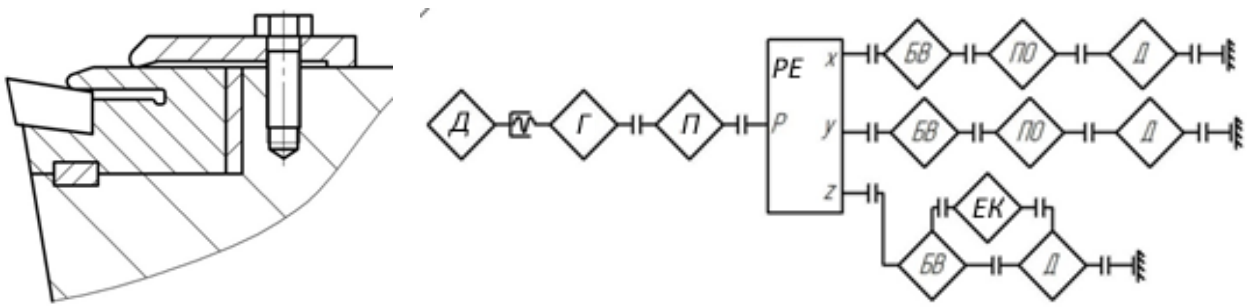
Мироненко Є.В., Міранцов С.Л., Вовченко М.В.
(ДДМА, м. Краматорськ - Тернопіль, Україна)

Надійність збірних багатоелементних конструкцій інструментів для важких верстатів в значній мірі визначається експлуатаційними властивостями (ЕВ) поверхонь їх контактуючих деталей.

В роботі [1] запропоновано методику моделювання ЕВ контактуючих поверхонь елементів збірних конструкцій токарних блочно-модульних різців з використанням теорії графів [2] та математичного апарату відповідностей.

В даній роботі розглядається методика визначення кількості ЕВ, які повинні мати контактуючі поверхні елементів збірної конструкції та визначення домінуючих контактних взаємодій на основі теорії системно-структурного аналізу та теорії графів.

Теорія системно-структурного аналізу дозволяє будувати схеми блочно-модульних конструкцій різців з виявленням типів контактної взаємодії поверхонь і розмістити елементи їх конструкцій відповідно до напрямів дії складових сил різання, а також виділити окремі гілки в їх конструкції – «такий, як та». Приклад блочно-модульного токарного різця та його структурна схема наведені на рисунку 1.



а) б)

а) блочний токарний різець; б) структурна схема блочного різця

Рис. 1. Блочно-модульний токарний різець для важких верстатів

По суті, структурна схема блочно-модульного токарного різця, наведена на рисунку 1, являє собою зважений граф, рисунок 2, ребрам якого присвоюються певні вагові коефіцієнти. Вагові коефіцієнти ребер графа відповідають типу контактної взаємодії поверхонь, а його вершинами – деталі блокових різців.

Розглядаючи кожну область структурної схеми блочного різця, при застосуванні теорії графів її можна описати за допомогою кортежу вершин. Кожна гілка структурної схеми на графі розглядається окремо.

Наприклад, вершина u_1 відповідає різальному елементу, u_2 – блок вставці, u_3 – гвинту, u_5 – пластині опорній і т.д. Значення вагових коефіцієнтів ребер графу наведені і таблиці 1.

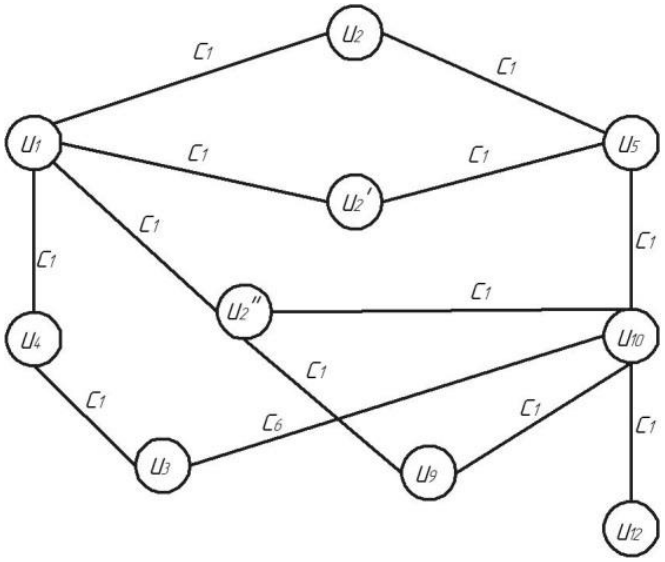


Рис. 2. Зважений граф основних елементів та контактних взаємодій блочно-модульних токарних різців

Таблиця 1 – Вагові коефіцієнти зваженого графа, побудованого за структурною схемою токарних блочно-модульних різців

№ п.п.	Тип взаємодії елементів	Позначення на схемі	Ваговий коеф.
1	Площина-площина		c_1
2	Сфера-сфера		c_2
3	Циліндр-циліндр		c_3
4	Призма-призма		c_4
5	Конус-конус		c_5
6	Гвинтова		c_6
7	Еліпс-Еліпс		c_7
8	Шар-площина		c_8
9	Циліндр-площина		c_9
10	Шар-шар		c_{10}
11	Шар-циліндр		c_{11}
12	Інше	X	c_{12}

Кортежі вершин, які є елементами структурної схеми токарних блочно-модульних різців на зваженому графі, відповідають структурній схемі з виділенням гілок: гілка P (механізм закріплення елементів блочного різця) – $K_P = K_{u1\text{-}u12} = <u_1, u_4, u_3, u_{10}, u_{12}>$; гілка X (елементи різця, що сприймають силу P_x) – $K_X = K_{u1-u12} = <u_1, u_2, u_5, u_{10}, u_{12}>$; гілка Y (елементи різця, що сприймають силу P_y) – $K_Y = K_{u1-u12} = <u_1, u_2^{|}, u_5, u_{10}, u_{12}>$; гілка Z (елементи різця, що сприймають силу P_z) – $K_Z = K_{u1-u12} = <u_1, u_2^{||}, u_9, u_{10}, u_{12}>$.

Індекси, як, наприклад, u_2, $u_2^{|}$, $u_2^{||}$ відрізняються, так як мова йде не тільки про деталі, а й про поверхні.

Для визначення домінуючих контактних взаємодій конструкції блочних різців застосовуються матриці суміжності. Матриці суміжності зваженого графу наведено у таблицях 2 та 3.

Таблиця 2 – Матриця суміжності зваженого не орієнтованого підграфу, відповідного гілки *P*

Вершини	Вершини				
	u_1	u_4	u_3	u_{10}	u_{12}
u_1	c_1	c_1	0	0	0
u_4	c_1	c_1	c_1	0	0
u_3	0	c_1	c_1	c_6	0
u_{10}	0	0	c_6	c_1	c_1
u_{12}	0	0	0	c_1	c_1

Таблиця 3 – Матриця суміжності зваженого не орієнтованого підграфу, відповідного гілки *X* (*Y*) (*Z*)

Вершини	Вершини				
	u_1	u_2 ($u_2^{\mid}$) ($u_2^{\mid\mid}$)	u_5 (u_9)	u_{10}	u_{12}
u_1	c_1	c_1	0	0	0
u_2 ($u_2^{\mid}$) ($u_2^{\mid\mid}$)	c_1	c_1	c_1	0 (c_1)	0
u_5 (u_9)	0	c_1	c_1	c_1	0
u_{10}	0	0 (c_1)	c_1	c_1	c_1
u_{12}	0	0	0	c_1	c_1

Розглядаючи матриці суміжності можна виявити, якими типами контактних взаємодій пов'язані (йдеться про вагові коефіцієнти) один з одним різні деталі блочно-модульних токарних різців. Тому, очевидно, що блочному різцю, який розглядається, домінуючою контактною взаємодією є площина-площина.

Вершина графа, в яку приходить найбільше ребер, являє собою деталь блочного різця, що має найбільший набір поверхонь, а отже, і найбільший набір експлуатаційних властивостей (ЕВ). Причому не набір ЕВ визначиться кількістю поверхонь, а поверхні будуть мати певний обмежений набір ЕВ, що регламентується набором комплексних параметрів, які визначаються методом обробки деталі та визначаються за допомогою методів інженерії деталей.

Застосування аналізованих методів моделювання дозволяє виявити умови контактної взаємодії поверхонь деталей блочно-модульних токарних різців, визначити перелік ЕВ та їх діапазон для поверхонь деталей інструменту, використовуючи комплексні параметри зі стану вибрати метод обробки.

Література: **1.** Мироненко Є.В. Графова модель збірних конструкцій блочно-модульних різців для важких верстатів / Є.В. Мироненко, С.Л. Міранцов // Збірник наукових праць XIII Міжнародної науково-технічної конференції «Прогресивні технології в машинобудуванні». Львів – Звенів (Карпати), 18-21 лютого 2025 року. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2025. – С. 90 – 92. **2.** Р.М. Трохимчук. Теорія графів. – Навчальний посібник для студентів факультету кібернетики. — К : РВЦ «Київський університет», 1998. – С. 24. – ISBN 966-594-043-0.

АНАЛІЗ ДИНАМІЧНИХ МОДЕЛЕЙ ОСЬОВОГО МЕТАЛОРІЖУЧОГО ІНСТРУМЕНТА В ПРОЦЕСІ ЧИСТОВОЇ ОБРОБКИ ОТВОРІВ

Мірошниченко О.В.
(ДВНЗ «ДонНТУ», м. Дрогобич, Україна)

1. Вступ

Сучасні технології лезової обробки дозволяють отримувати отвори високої якості лише на відносно низьких швидкостях різання (до 4 м/хв), що суттєво поступається швидкостям різання при інших видах механічної обробки. Необхідність виконання операцій чистової обробки отворів лезовими інструментами в умовах автоматизованого виробництва є одним із ключових факторів, що обмежують продуктивність верстатів.

На сучасному етапі розвитку машинобудування такі операції стають лімітуючими, що знижує ефективність обладнання. Відповідно, проблема підвищення продуктивності чистової обробки отворів є актуальним науковим і практичним завданням.

2. Динамічні аспекти чистової обробки осьовим інструментом

Одним із визначальних чинників, що впливають на точність чистової обробки отворів, є розвиток динамічних процесів, пов’язаних із коливаннями осьового інструмента при підвищенні швидкості різання [1, 2]. Аналіз характерних особливостей цих процесів можливий лише на основі параметричних динамічних моделей осьового інструмента, які враховують його геометричні характеристики та експлуатаційні умови.

Існуючі динамічні моделі осьового інструмента здебільшого базуються на концепції коливань матеріальної точки з двома ступенями свободи та приведеною масою $\boldsymbol{M}$ у площині, перпендикулярній осі інструмента [3]. Однак ці моделі не враховують його згинну жорсткість, що суттєво впливає на розвиток динамічних процесів при поперечних коливаннях. Внаслідок цього отримані результати не завжди відповідають реальним умовам експлуатації.

3. Обмеження існуючих моделей та необхідність удосконалення

Розвиток адекватних динамічних моделей осьового інструмента ускладнюється тим, що для точного врахування його згинної жорсткості необхідний перехід від одномасової моделі до системи з нескінченною кількістю ступенів свободи. Це значно ускладнює математичний апарат моделювання.

Осьові металорізальні інструменти, такі як розвертки, свердла і зенкери, за своєю конструкцією є стрижневими елементами з розподіленими параметрами,

що потребує застосування методів початкових параметрів, переміщень і сил при динамічному моделюванні.

У роботі [4] досліджено умови застосування таких методів для динамічного аналізу, що дозволяє адаптувати їх до задач обґрунтування параметричних моделей осьового інструмента. Використання таких методів дає змогу оцінити вплив згинної жорсткості на розвиток динамічних процесів та їхню стабільність.

4. Обґрунтування параметричної динамічної моделі

З огляду на викладене, у даній роботі ставиться задача розробки та обґрунтування параметричної динамічної моделі осьового інструмента, яка враховує його згинну жорсткість та дозволяє оцінити вплив коливальних процесів на точність чистової обробки отворів.

Очікується, що запропонована модель забезпечить:

- більш точне прогнозування поведінки інструмента при різних режимах обробки;
- врахування змін у геометрії та конструкційних характеристиках ріжучого елемента;
- можливість оптимізації параметрів різання для зменшення вібраційних навантажень.

Висновки:

Удосконалення параметричних динамічних моделей осьового інструмента є важливим напрямом підвищення точності й продуктивності чистової обробки отворів. Використання методів розподілених параметрів і моделювання згинної жорсткості дозволяє отримати адекватніші результати, що сприяє вдосконаленню технологічних процесів механічної обробки.

Література:

1. - Li H., Liu Y., Wang C. A novel six-state cutting force model for drilling-countersinking // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2016. – Режим доступу: https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-016-9236-6.

2. Chatterjee A. Underreamer Dynamics // OnePetro Conference Proceedings. – 2011. – Режим доступу: https://onepetro.org/SPEDC/proceedings/11DC/11DC/SPE-139893-MS/149361.

3. Sun X., Wang J., Zhang X. Dynamic Force Modelling and Experimental Analysis of Reaming // Engineering Science Publisher. – 2018. – Режим доступу: https://www.espublisher.com/uploads/article_pdf/es8e506.pdf.

4. Татьянченко О.Г., Сергеєчев З.С. Про динамічну сталість осьового інструмента / О.Г. Татьянченко, З.С. Сергеєчев // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. – Донецьк, 2009. – №6. – С. 130–136.

ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ГІДРОСТАТИЧНИХ ПІДШИПНИКІВ ТА МЕТОДІВ ЇХ РОЗРАХУНКІВ

Міхєєв А.О.
(ДДМА, м. Краматорськ - Тернопіль, Україна)

Гідростатичний підшипник (ГСП) – це підшипник тертя з мастильним матеріалом, тиск у робочому шарі мастильного матеріалу якого створюється джерелами подачі, розташованими поза підшипником і працюючими незалежно від нього. Ці підшипники забезпечують високу точність обертання, мають практично необмежену довговічність внаслідок відсутності зношування, володіють великою навантажувальною здатністю у всьому діапазоні частот обертання. Висока демпфувальна здатність ГСП забезпечує високу вібростійкість верстата, дозволяючи одержувати відмінну якість поверхні оброблюваної деталі і високу швидкість різання. Крім того, гідростатичні підшипники застосовують як приводи мікропереміщень, для фіксації шпинделів, як давачі в системах адаптивного керування і для інших цілей. Усе це визначає перспективність їхнього подальшого використання у шпиндельних вузлах верстатів. Конструкції гідростатичних підшипників досить різноманітні. З усіх конструкцій виділяють два основних типи: радіальні (циліндричні) і упорні (підп'ятники). Радіальні підшипники (Рис. 1) виконують з рівномірно розташованими по окружності кишенями, у кожну з яких від джерела подачі через дроселюючий пристрій подається мастило під тиском.

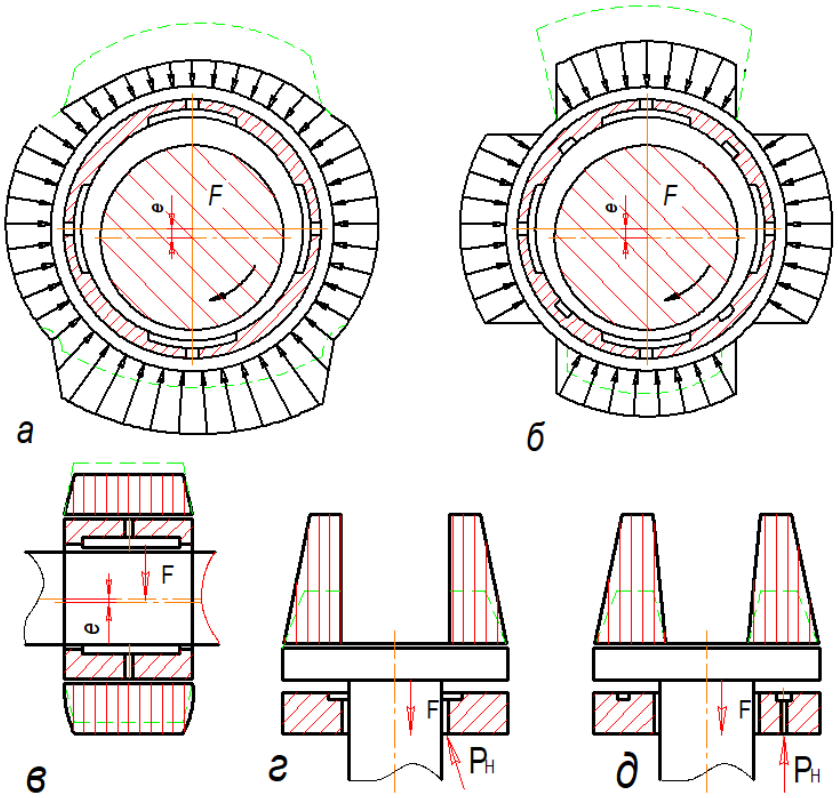


Рис. 1. Розподіл тисків у гідростатичних підшипниках:
а – без дренажних канавок; б – із дренажними канавками; в –у поздовжньому перетині;
г – з центральним підведенням мастила; д – з підведенням мастила в кільцеву кишеню

Під дією зовнішнього навантаження *F* вал займає ексцентричне (*e*-ексцентриситет) положення щодо втулки (рис. 1 а,б). Утвориться різниця робочих зазорів, через які проходить мастильний матеріал із протилежних кишень, а отже, змінюються і гідравлічні опори на виході кишень. Це приводить при наявності гідравлічних опорів дроселів на вході в кишені до зміни тисків у кожній кишені: результуюча тисків сприймає зовнішнє навантаження і повертає вал у центральне вихідне положення. Гарантований шар мастильної рідини має місце не тільки в сталому режимі, що і під час пуску та зупинки, що є істотною перевагою гідростатичного способу мащення. Принцип дії упорних підшипників (рис. 5.1, г,д) аналогічний.

Для гідростатичного розвантаження валів застосовують незамкнуті гідростатичні підшипники, у яких втулка з несучими кишенями охоплює вал тільки з однієї сторони. Сили демпфування, гідродинамічного ефекту, вихрового (планетарного) руху шпинделя, а також нагріванням мастила і його стиснення через наявність у ньому нерозчиненого повітря.

Оскільки в гідростатичній опорі мають місце всі явища, що спостерігаються порізно в інших типах опор ковзання при процесах різної швидкості, то вона являє собою найбільш загальний випадок шпиндельних опор ковзання, а її математична модель – найбільш загальна й універсальна і з неї шляхом трансформації або спрощення можуть бути отримані моделі розрахунку гідростатичної опори.

Радіальні ГСП застосовують двох основних типів. Підшипники першого типу – циліндричні з дроселюючими пристроями на вході в кожну кишеню. Вони можуть бути виконані без дренажних (масловідвідних) канавок між кишенями, або з дренажними канавками. Перевага надається першим, так як вони мають меншу витрату мастила. Підшипники другого типу – з внутрішнім дроселюванням. Дроселі утворяться щілинами між поверхнями валу і втулки, протилежними поверхням, що утворять опору на виході з кишені. Опір внутрішніх дроселів автоматично регулюється завдяки зворотному зв’язку за переміщенням валу і зворотного зв’язку по тиску мастила в кишені. Жорсткість такого підшипника вище, ніж звичайного підшипника з незалежними від навантаження вхідними дроселями.

Упорні ГСП виконують з одною кільцевою камерою або багатокамерними. Підп’ятники з кільцевою камерою бувають з підведенням мастила в кільцеву кишеню або з центральним підведенням мастила. Перші характеризуються великою витратою мастильного матеріалу і трохи більшою навантажувальною здатністю. Другі частіше застосовують у комбінованих підшипниках.

Література:

1. Ковальов, В.Д., Васильченко, Я.В., Міхєєв, А.О., Четвержук, Т.І. (2024). Управління точністю траєкторних переміщень виконавчих органів верстата на гідростатичних підшипниках. Перспективні технології та прилади, 1(25), 64-72. DOI: https://doi.org/10.36910/10.36910/6775-2313-5352-2024-25-10

2. Федориненко Д. Ю. Шпиндельні гідростатичні підшипники: монографія / Д. Ю. Федориненко, С. П. Сапон. – Чернігів : ЧНТУ, 2016. – 403 с.

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ФОРМОУТВОРЕННЯ ПОВЕРХОНЬ ПРИ ШЛІФУВАННІ

Молчанов В.Ф., Латишев Д.В., Козаченко С.Ю.
(ДДТУ, м.Кам'янське, Україна)

Сучасний етап розвитку машинобудування характеризується вдосконаленням процесів механічної обробки. Механічна обробка деталей - складний технологічний процес, що протікає при високих швидкостях, температурах і тиску. Головною метою механічної обробки є отримання деталей із заданою точністю та якістю поверхні. Одним з чинників, що впливають на якість поверхні, є хвилястість і шорсткість. За зовнішнім видом обробленої поверхні, розмірами, формі і характеру розташування шорсткості можна певною мірою розмірковувати про явища, що відбуваються в процесі стружкоутворення, тобто утворення твердих часток.

Метою є аналіз наявних досліджень формоутворення поверхонь при шліфування.

При дослідженні механізму формоутворення поверхні при шліфуванні слід приділяти увагу питанню утворення шорсткості та хвилястості. З погляду геометрії шорсткість утворюється в результаті копіювання на оброблюваній поверхні траєкторії руху різальних абразивних зерен. Пластичні деформації, що відбуваються в процесі різання, сильно змінюють мікрорельєф, що утворюється в результаті дії геометричних параметрів.

Геометрична схема утворення шорсткості при звичайному шліфуванні розглядається в наявних дослідженнях при певних допущеннях. Наприклад, професор Є.Н.Маслов, при виведенні формули для розрахунку перерізів зрізаних стружок, допускав, що різальні абразивні зерна йдуть один за одним, знаходячись на однаковій відстані від осі обертання шліфувального кругу. Професор А.А.Маталін розглядав утворення шорсткості поверхні з урахуванням пластичних деформацій, геометричних параметрів і вібрацій в системі верстат – пристосування – інструмент – деталь. Проведеними дослідженнями доведено, що при шліфуванні металу кожне абразивне зерно, яке приймає участь в різанні, прорізає в металі канавку, що відповідає його розмірам і формі. Висота шорсткості, після кожної обробки абразивами, геометрично безпосередньо пов'язана з розмірною характеристикою зерен.

За моделлю Грановського шліфувальний круг у площині, перпендикулярній до осі його обертання, порівнюється з багатозубою фрезою, у якої кожне абразивне зерно є зубом.

Вивчаючи процес різання в просторі, П.І.Ящеріцин вніс нове поняття в теорію утворення шліфованої поверхні. На його думку, якщо спроєктувати всі зерна на робочій ділянці круга на одну площину, то з деяким наближенням можна вважати, що утворюється різальний контур, нерівності якого повністю копіюються в зоні контакту круга на оброблюваній поверхні. Чим менша нерівність різального контуру, тим він ближче підходить до суцільного різального леза, тим шорсткість обробленої поверхні буде меншою. Звідси випливає, що шорсткість формується різальним контуром, причому однаковий різальний контур може бути створений різними способами.

На ефективність процесу механічної обробки істотний вплив має мастильно-охолоджувальна рідина (МОР). Раціональне використання МОР значно зменшує сили тертя в парі інструмент-деталь, знижує зношування і затуплення різальних лез інструменту, зменшує шорсткість і покращує якість обробленого поверхневого шару, покращує охолодження зони обробки та забезпечує краще видалення відходів із цієї зони. Однак, у процесі експлуатації мастильно-охолоджувальні рідини безперервно та інтенсивно забруднюються твердими частинками – відходами металообробки. Дослідження, проведені Л.В.Худобіним, показали, що тверді частинки забруднень механічного походження чинять негативний вплив на якість оброблюваних поверхонь, точність оброблення, знижують стійкість інструменту і зменшують термін експлуатації мастильно-охолоджувальної рідини.

Моделювання процесів формоутворення поверхонь є визначальним етапом під час розроблення теоретичних основ процесу шліфування. Теоретичні роботи в цій царині, як правило, спрямовані на створення модельних уявлень про шліфувальний круг як об'єкт і одержання на їхній основі аналітичних залежностей, що пов'язують вихідні параметри з характеристиками розташування елементів зерен на його робочій поверхні.

Проведений аналіз наявних досліджень формоутворення поверхонь при шліфуванні показав актуальність задачі поглибленого вивчення процесу утворення твердих частинок при шліфуванні.

Виходячи з проведеного аналізу наявних досліджень процесу формоутворення поверхонь при шліфуванні є необхідність в проведенні теоретичних і експериментальних досліджень процесів, що протікають у зоні контакту зерен інструменту з оброблюваним матеріалом. Дослідження поставленої задачі надасть можливість встановити механізм утворення мікронерівностей шліфованої поверхні з урахуванням впливу твердих часток, а знання механізму формоутворення обробленої поверхні дозволить прогнозувати якість поверхонь при шліфуванні.

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ РОЗСІЮВАННЯ ЕНЕРГІЇ В ТІЛІ ЗБІРНОГО РІЗЦЯ НА АМПЛІТУДУ ЙОГО АВТОКОЛИВАНЬ

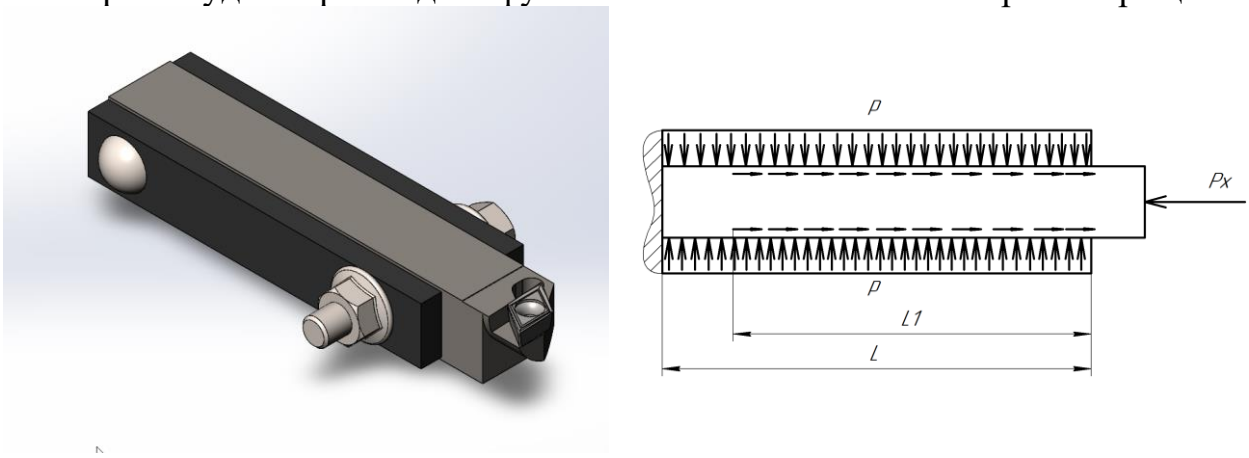
Новіцький Ю.Я., Новіцький М.Я.
(Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна)

Як відомо, автоколивання негативно впливають на якість поверхні деталі, стійкість інструмента та ресурс верстата [1], тому амплітуду цих коливань по можливості необхідно зменшувати. Зменшення амплітуди автоколивань, які здійснюються на резонансній частоті системи ВПІД, можливе або шляхом розсіювання частини енергії коливань [2,3,4] (пасивне демпфування), або генеруванням протифазних коливань різця [6] спеціальними пристроями (активне демпфування).

Метою даної роботи є оцінка можливості ефективного використання конструкційного тертя всередині державки збірного токарного різця для пасивного демпфування енергії автоколивань.

Конструкція збірного різця, в якій може бути реалізовано даний принцип розсіювання енергії коливань, представлена на рис. 1,*а*. Як видно із рисунка, до державки різця з розмірами 80x12x12 приєднано дві металеві пластини розміром 65x11x4 мм, які з'єднано в задній частині державки заклепкою, а в передній – болтом із гайкою. Болт М5 встановлено із зазором в отворі, діаметром 6 мм. Заклепкове з'єднання, яке розташоване в задній частині державки різця не бере участі в процесі демпфування енергії, а лише служить упором. Значення сили тертя, яка виникає між пластинами та державкою, регулюється затяжкою болта.

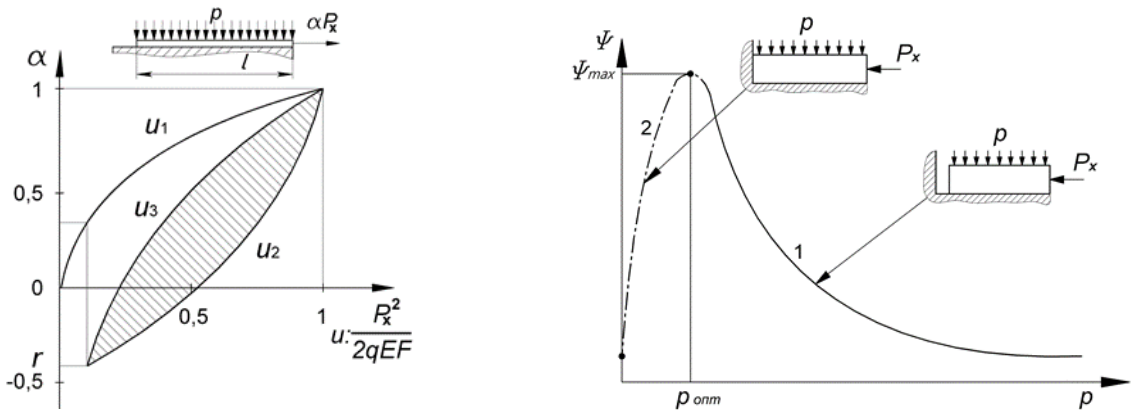
Сила різання, яка прикладається до вершини різця в процесі різання заготовки, призводить до складної деформації державки різця (стиск, згин та кручення) що призводить до можливого складного відносного переміщення поверхонь державки та притиснутих до них болтом пластин. Однак найбільший вплив на геометрію поверхні деталі мають поздовжні коливання різця. Сила тертя між пластинами та державкою направлена проти руху державки, а робота сили тертя і буде енергією демпфування можливих коливань вершини різця.



а *б*

Рис. 1. Спосіб демпфування амплітуди коливань вершини різця (а – конструкційна схема інструмента, б – розрахункова схема демпфера енергії коливань по осі X).

На рис. 2,*а* зображено процес формування петлі гістерезису між пластиною, яка деформується по осі X та основою, до якої вона притиснута контактним тиском *p*. Площа цієї петлі є енергією, що розсіюється протягом циклу коливань. По осі ординат відкладено відносне переміщення торця пластини від 0 до 1.



а *б*

Рис. 2. Розсіювання енергії коливань протягом одного циклу
(*а* – петля гістерезису, *б* – енергія розсіювання)

На рис. 2,*б* представлено графічну залежність енергії розсіювання протягом циклу коливання від контактного тиску. Як видно із рисунка, оптимум тиску лежить на границі повного зсуву пластини відносно основи. У нашому випадку це не можливо, оскільки задні частини пластин з'єднані заклепкою з державкою, що відображено штрих-пунктирною лінією.

Як випливає із аналізу цієї графічної залежності, існує оптимальне значення контактного тиску відносно сили зсуву пластини, відхилення від якого призводить до зменшення розсіювання енергії коливань.

Для розв'язку системи диференціальних рівнянь, якою описується чотирьохмасова система металорізального верстата [5] необхідно визначити значення коефіцієнта згасання коливань різця, як і-того елемента загальної системи рівнянь:

$$k_i = \frac{m_i \delta_i \omega}{\pi}, \tag{1}$$

where δ_i – the logarithmic decrement of the oscillations of the i-th element of the oscillatory scheme, which characterizes the rate of attenuation of the oscillatory process; ω – the angular frequency of oscillations.

$$\psi = \frac{\Psi_n}{\Pi_n} = \frac{A_n^2 - A_{n+1}^2}{A_n^2} \approx \frac{k}{m} T \approx 2\delta, \tag{2}$$

Значення енергії дисипації обчислюємо за формулою:

$$\Psi_n = \frac{P_x^3(1-r)^3}{12qEF}, \quad (3)$$

де E – модуль Юнга; F – площа поперечного перерізу пластини, q =fpb, f – коеф. тертя, b – товщина пластини, $r = {P_{x\,min}}/{P_{x\,max}}$.

Значення потенціальної енергії визначаємо наступним чином:

$$\Pi_n = \frac{2P_x^2}{3qEF}. \quad (4)$$

Параметри демпфування енергії в конструкції різця визначалися за (1 – 4).

Автоколивання в процесі різання досліджувалися розв'язуванням системи диференціальних рівнянь читиримасової коливальної системи [5], яка складається із супорта, різця, оброблюваної деталі та шпинделя, що з'єднані між собою та станиною верстата пружними зв'язками із демпферами, відповідно до схеми класичного токарного верстата. Результати досліджень - амплітуди автоколивань різця, представлені на рис.3.

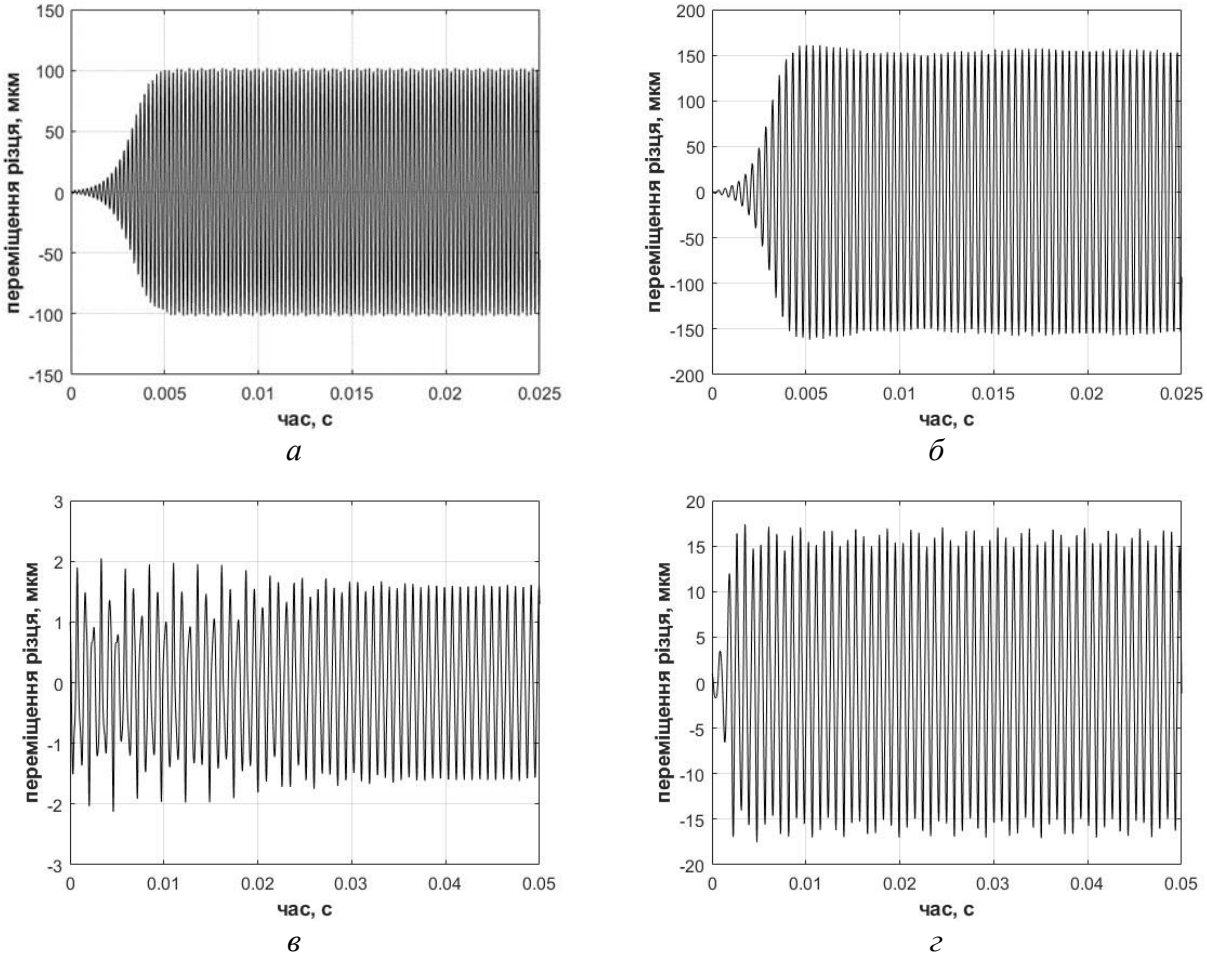


Рис. 3. Амплітуда автоколивань різця (*а* – із державкою без демпфера; *б* – із державкою з демпфером без затяжки; *в* – із державкою з демпфером та силою затяжки 50 Н; *г* – із державкою з демпфером та силою затяжки 500 Н)

На рисунку 3,*а* представлено коливання різця із суцільною державкою без демпфера. Як видно із рисунка, амплітуда його коливань становить близько 100 мкм.

На рисунку 3,*б* представлено коливання різця із просвердленою впоперек державкою та не затягнутим болтом. Як видно із рисунка, зменшення жорсткості різця призводить до зменшення частоти автоколивань системи ВПІД і, як наслідок, до зростання амплітуди коливань приблизно в 1,5 рази.

Однак введення сили дисипації в тіло різця призводить до суттєвого зменшення амплітуди коливань, мінімальне значення якої досягається (рис. 3,*в*) при силі затяжки 50Н і становить приблизно 1,5 мкм.

Подальше збільшення сили затяжки демпфера різця призводить до зростання амплітуди коливань, що повністю корелюється із рисунком 2,*б*. Так збільшення затяжки до 500 Н призводить до пропорційного зростання амплітуди приблизно в 10 разів, що відображено на рис. 3,*г*.

Висновок: Використання збірних інструментів для обробки деталей із матеріалів, які схильні до генерування автоколивань, може давати позитивний ефект не зважаючи на можливе зменшення їх жорсткості. Забезпечуючи оптимальне значення сили тертя в конструкції збірного інструменту, можна запобігати виникненню автоколивань в процесі оброблення таких деталей, або ж значно зменшувати їх амплітуду.

Література:

1. Altintas Y. Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations, and CNC Design. Second edition / Y. Altintas // Cambridge University Press. – 2012

2. Altintas. Y. Identification of dynamic cutting force coefficients and chatter stability with process damping / Y. Altintas, M. Eynian, H. Onozuka - CIRP Annals - Manufacturing Technology 57 (2008) / 371-374

3. Новіцький Ю. Я., Дмитерко П. Р. Оптимізація параметрів демфування автоколивань багаточастотної коливальної системи // Вісник Національного університету “Львівська політехніка”. Серія: Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2017. – № 867. – С. 51–55.

4. Novitskyi Y., Novitskyi M., Lytvyniak Y. Features of vibration dampers application in the design of vibration-resistant metal cutting tools // Ukrainian Journal of Mechanical Engineering and Materials Science. – 2024. – Vol. 10, № 1. – P. 38–44.

5. Novitskyi M., Novitskyi Y., Slipchuk A. The possibility of using structural damping in the design of a prefabricated turning cutter to reduce the amplitude of self-oscillations in the process of metal cutting // Ukrainian Journal of Mechanical Engineering and Materials Science. – 2024. – Vol. 9, № 4 (2023). – P. 44–50.

6. Пановко Я. Г. Внутреннее трение при колебаниях упругих систем / Я. Г. Пановко. – М.: Гос. изд. физ-мат. лит., 1960. – 190 с.

7. Stupnytskyy V., Novitskyi Y., Novitskyi Y., Xianning S. Comprehensive system for simulation of vibration processes during the titanium alloys machining // Archive of Mechanical Engineering. – 2023. – Vol. 70, iss. 1. – P. 85–105.

8. Vnukov Y.M., Djadja S.I., Kuchuhurov M.V., Kondratyuk E.V. The device for self-excited vibrations researching in turning, Ukrainian Patent UA101906. (2015).

9. Vnukov Y.M., Kuchugurov M.V, Djadja S.I. and others: Method and device for researching the regenerative self-excited vibrations when turning / Cutting & Tool in technological system, International Scientific-Technical Collection, Kharkov, 2013. - Vol. 83, p.42-54.

ВПЛИВ ТАНГЕНЦІАЛЬНОГО ВІДХИЛУ УСТАНОВЛЕННЯ РІЗЦЯ НА ТОЧНІСТЬ ПРОФІЛЮ ХОДОВИХ ГВИНТІВ

Онисько О.Р., Веркалець А.А., Фарилюк Р.М.
(Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна)

Профіль ходових гвинтів найчастіше є трапецієвидним. Його профільний кут становить 30° для стандарту ISO, або ж 29° для стандарту ASME (рис.1) [1].

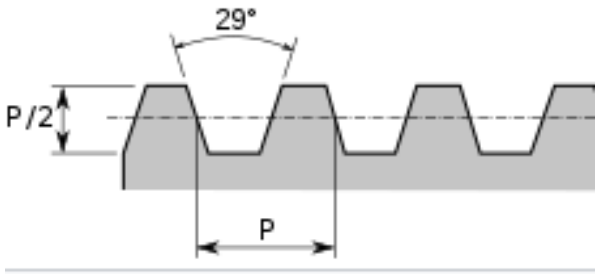
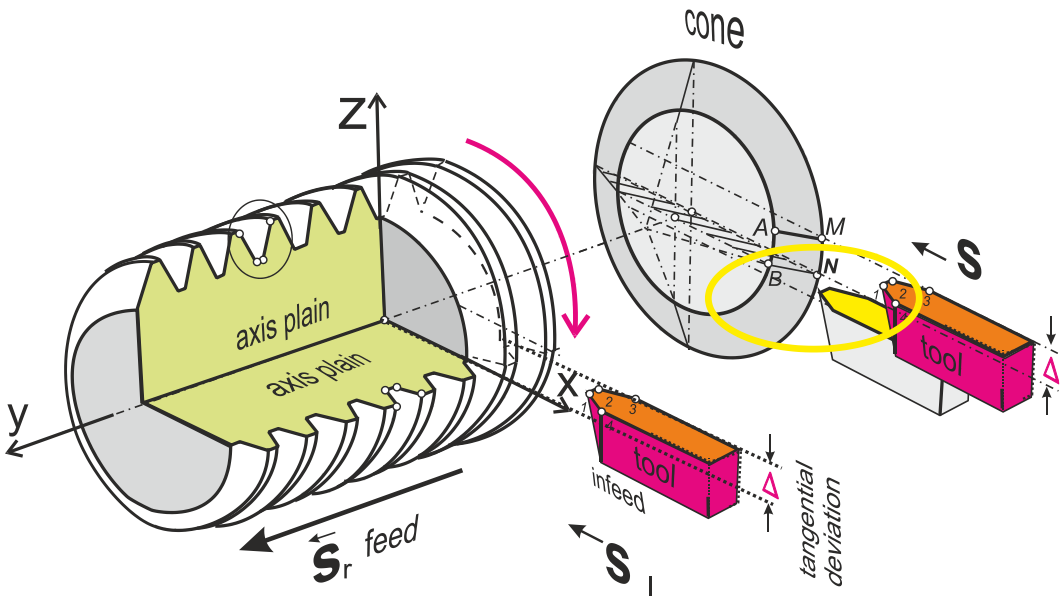


Рис. 1. Профіль трапецеїдальної нарізі за стандартом ASME

Задачею даного дослідження є встановлення функціональної залежності величини пів-профільного кута від точності установлення різця відносно деталі і подальшого створення на його основі алгоритму для прогнозного розрахунку точності профілю ходових гвинтів [2, 3].



а б

Рис. 2. Схема тангенціальної похибки Δ установлення різця для виготовлення трапецеїдальної ходової нарізі

Застосуємо методику, представлену у [4] і визначимо осьовий профіль поверхні, отриманої внаслідок ґвинтового руху прямолінійної різальної крайки уздовж осі *Y* (передній кут і кут нахилу різальної кромки різця мають нульові значення):

$$Y(x) = \left(h \cdot tg\left(\frac{\pi}{2} - \tau\right) - r\right) tg\frac{\alpha}{2} - \frac{P\tau}{2\pi} \quad (1)$$

де $\tau = \arcsin\frac{h}{x}$;

h – вертикальне (тангенціальне) зміщення вершин різьового різця.

r – внутрішній радіус ґвинтової нарізі;

P – крок ґвинтової нарізі;

α – кут профілю ґвинтової нарізі.

Отже формула (1), що описує осьовий переріз конволютної гвинтової поверхні має трансцендентний характер, в той час як осьовий переріз закритого косого гелікоїда тобто того, що є заданий стандартами описується алгебраїчним рівнянням першого порядку.

$$Y_1(x) = (x - r)tg\frac{\alpha}{2} - \frac{P\tau}{2\pi} \quad (2)$$

Потреба повного аналітичного дослідження точності отриманого профілю точеної ходової нарізі продиктована необхідністю застосування звичних різьбових різців із розміщенням на різцетримачі токарного верстату, яке вочевидь передбачає певні межі тангенціального відхилу їхньої установки. Тангенціальний відхил різальної крайки різця формується також і за рахунок кріплення карбідної вставки (різальної пластини) на робочій частині різця. Здебільшого він регламентується компаніями-виробниками інструментів і становить як правило ± 0,1 мм. Додатково тангенціальне зміщення крайки утворюється за рахунок похибки установки деталі, а також за рахунок тангенціальної складової вібрації, яка супроводжує процес нарізеточіння.

Література:

1. Oleh Onysko, Volodymyr Kopei, Vitalii Panchuk, Ivan Ivaniv, Anatolii Verkalets. Problems of Lead Screw Accuracy made by turning. Automatics and control of processes, equipment, and plants, FEMA , 2024. *21-th international conference on Thermal Science and Engineering of Serbia. SimTerm Procedings 2024.* Niš, Serbia Oct. 22-2 2024. pp. 270-274. doi: 10.5937/SimTerm24270O, ISBN 978-86-6055-192-6

2. Онисько О. Р., Фарилюк Р. М. Проблеми точності профілю велико-крокової нарізі, точеної з допомогою двониткового різця. *Сучасні технології у промисловому виробництві матеріали та програма X Всеукраїнської науково-технічної конференції* (м. Суми, 18–21 квітня 2023 р.). С. 63-64. https://conf.teset.sumdu.edu.ua/

3. Онисько О. Р., Веркалець А. А. Кінематичні аспекти точності виготовлення ходових валів. «*Прогресивні технології в машинобудуванні». Збірник наукових праць XI Міжнаронародної науково-технічної конференції. 18-21лютого 2025,* Львів-Звенів. 2025. С.99-100.

4. Oleh Onysko. The strength and accuracy of lead screws - as a function of the geometry of the cutting tool or out-of-standard views on the formation of helical surfaces. Keynote Speech Topic. International Conference on Materials and Technologies in Engineering (MTE-2023), May 16-18, 2023, Lutsk, Ukraine, – P.21.

ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ МАШИНОБУДУВАННЯ

[1]Онищук С.Г., [2]Тулупов В.І.
([1]ДДМА, м. Краматорськ - Тернопіль, Україна; [2]Краматорський фаховий коледж технологій та дизайну, м. Краматорськ – Черкаси, Україна)

Одним з головних завдань машинобудівної галузі є забезпечення випуску продукції відповідної якості в задані терміни. Механічне оброблення є важливою складовою виробничого процесу. Ефективне управління виробничими процесами виготовлення виробів машинобудування є важливим завданням.

Метою роботи є технологічне забезпечення показників якості виробів машинобудування з використанням сучасних методів керування.

На етапі механічного оброблення виробів якість значною мірою залежить від використання передових систем управління, що включають верстати з числовим програмним управлінням (ЧПУ) [1], програмне забезпечення для автоматизованої підготовки виробництва (CAM) та інтелектуальні функції управління.

Сучасні верстати з ЧПУ оснащені розширеними функціями керування, такими як адаптивні системи керування, що оптимізують параметри обробки (швидкість різання, подача) в режимі реального часу на основі даних датчиків, моніторинг у режимі реального часу різних параметрів, таких як знос інструменту, властивості матеріалу та умови навколишнього середовища, та можливості самооптимізації з використанням штучного інтелекту (ШІ) та машинного навчання (МН) для безперервного вдосконалення процесів обробки [2].

Впровадження концепцій цифрового виробництва, таких як цифрові двійники, моделювання та моніторинг у реальному часі, стає все більш поширеним у механообробці. Цифрові двійники використовуються для моделювання операцій механообробки, дозволяючи виробникам віртуально відтворювати процеси до їхнього початку, виявляти потенційні проблеми, такі як вузькі місця, неефективність або помилки, та оптимізувати параметри процесів, такі як швидкість різання, траєкторії руху роботів та час циклу [3].

Переваги цифрових двійників полягають у зменшенні кількості помилок шляхом вдосконалення проектів та усунення потенційних проблем до початку фізичної обробки, підвищенні ефективності за рахунок оцінки альтернативних виробничих графіків та дослідження способів усунення обмежень потужностей, а також прискоренні розробки продукції шляхом полегшення прототипування за допомогою віртуальних випробувань та оцінок.

Прикладами CAM-програмного забезпечення, що реалізують можливість створення цифрових двійників, є MasterCAM (обробка з ЧПУ), Autodesk Fusion (хмарна платформа, інтегрована CAM/CAD/PLM), Siemens NX CAM (розширена багатоосьова обробка), hyperMILL (5-осьова обробка), SolidCAM (інтегрований в SOLIDWORKS) [4].

Враховуючи вимоги Індустрії 4.0 [5], сучасні системи ЧПУ дозволяють підключати їх до мережі й зв'язувати їх з іншими верстатами, системами та інструментами управління більш високого рівня. Це дозволяє забезпечити безперебійний та ефективний моніторинг виробничих процесів.

Інтеграція штучного інтелекту (ШІ) та машинного навчання (ML) дозволяє перетворити системи керування ЧПУ на активних учасників процесу обробки, що приймають рішення. Традиційні системи ЧПУ дотримуються програмних кодів. При використанні штучного інтелекту та машинного навчання системи ЧПУ мають можливість вчитися та вносити корективи в програмні коди. Підключення до мережі дозволяє забезпечити обмін інформацією між системами ЧПУ, під'єднаних до мережі.

Індустріальні системи управління (ICS) [6] відіграють ширшу роль в управлінні загальними промисловими операціями, включаючи механообробку, завдяки поєднанню апаратного та програмного забезпечення. В основі ICS є різноманіття пристроїв, систем, мереж і контролерів, які використовуються для автоматизації та моніторингу промислових процесів.

Сучасні системи управління повинні забезпечити використання можливостей обслуговування верстатів з ЧПУ на основі штучного інтелекту (ШІ), які будуть прогнозувати знос інструменту, потенційні поломки верстата та потребу в технічному обслуговуванні, що дозволить планувати та мінімізувати незапланований час простою.

Такий підхід дозволить забезпечити зменшення виробничого циклу виготовлення виробів, включаючи технічну підготовку та механічне оброблення в визначені терміни з відповідною якістю.

Висновок: використання сучасних систем управління сприяє зменшенню виробничого циклу, забезпеченню показників точності, взаємного розташування та якості поверхонь, особливо складнопрофільних.

Література:

1. Інноваційне обладнання автоматизованого виробництва. Конструктивні особливості та основи програмування верстатів з числовим програмним керуванням: навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» спеціалізації «Технології комп'ютерного конструювання верстатів, роботів та машин» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Ковальов В.А., Гаврушкевич А.Ю., Гаврушкевич Н.В. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 158 с.

2. Current State of Control Systems in Precision Machining - Lambda Function, https://www.lambdafunction.ai/post/current-state-of-control-systems-in-precision-manufacturing-cnc-machining

3. The Future of CNC Machining 2025 and Beyond - 3ERP, https://www.3erp.com/blog/future-of-cnc-machining/

4. What are the top 10 CAM softwares? - Toolpath, https://toolpath.com/top-questions/what-are-the-top-10-cam-softwares

5. Ноджак, Л., Паращич, М. Розвиток 4.0 індустрії в Україні: проблеми, перспективи. // Економіка та суспільство. – 2022. – вип. 45. https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-45-29

6. Моделювання виробничої функції промислового підприємства / О.О.Кравцов // Проблеми системного підходу в економіці . - 2019. - Вип. 4(1). - С. 208-213.

ІНТЕГРАЦІЯ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ОСВІТУ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ ВАЖКОГО МАШИНОБУДУВАННЯ

Останкова Л.А.
(Донецький обласний інститут післядипломної педагогічної освіти, м. Краматорськ - Київ, Україна)

Машинобудування є основою важкої промисловості, що впливає на конкурентоспроможність країни у світовій економіці. Розвиток цього сектору сприяє створенню нових робочих місць, залученню інвестицій та збільшенню експорту. Інженери машинобудування відіграють ключову роль у розробці нових технологій, автоматизації виробництва та впровадженні цифрових рішень. Високий рівень технічної освіти дозволяє країні бути лідером у галузі інженерії та виробництва. Власне розвинене машинобудування дозволяє зменшити залежність від імпорту критично важливих технологій та обладнання. Розвиток оборонної та транспортної промисловості прямо залежить від компетентності інженерів у сфері машинобудування. Високий рівень підготовки інженерів стимулює розвиток освітніх програм та дослідницьких центрів, що забезпечують стійкий науковий прогрес. Інженерія залучає молодь до технічних спеціальностей, формуючи кадровий резерв для майбутніх технологічних проривів. . Тенденції цифрової економіки [1] відіграють важливу роль у формуванні сучасної освітньої системи, отже в «Концепції цифрової освіти» [2] розглядається новий вимір виховання дітей і молоді в умовах цифрового простору, а в монографії «Інтеграція цифрових технологій в освітній процес: виклики та перспективи» [3] проаналізовано сучасні виклики дистанційної освіти, шляхи їх подолання та інновації, яких потребує процес вдосконалення викладання. Тому метою інформатичної освітньої галузі є розвиток особистості учня, здатного застосовувати цифрові інструменти та технології для розв’язання проблем, творчого самовираження, забезпечення власного й суспільного добробуту, розвитку критичного мислення, безпечно та відповідально діяти в інформаційному суспільстві. Інформатика стає не просто навчальною дисципліною, а ключовою складовою формування компетентностей, необхідних для сучасного суспільства, в тому числі для розбудови важкого машинобудування.

Отже, в ДонОблІППО для підвищення кваліфікації учителів підготовлено низку фахових курсів, які застосовують STEM-технології та цифрові технології для засвоєння інженерних концепцій.

Література:1. Манн Р.В. ІНФОРМАЦІЙНА ЕКОНОМІКА: АСПЕКТИ РОЗВИТКУ ТА РЕАЛІЗАЦІЇ НАЦІОНАЛЬНИХ ЕКОНОМІЧНИХ ІНТЕРЕСІВ http://business-navigator.ks.ua/journals/2023/73_2023/4.pdf (дата звернення 26.05.2025) **2.** Концепція виховання дітей та молоді в цифровому просторі / Національна академія педагогічних наук України. – 2021. – 52 с. https://ipv.org.ua/wp-content/uploads/2021/08/Kontseptsiia-vykhovannia-ditey-ta-molodi-v-tsyfrovomu-prostori.pdf (дата звернення 26.05.2025). **3.** Інтеграція цифрових технологій в освітінй процес: виклики та перспективи: монографія/Саєнко, Н.С., Голуб, Т.П., Лавриш, Ю.Е., Лук’яненко, В.В., Литовченко, І.М.- Київ: Вид-во «Центр учбової літератури ». - 2022.-220с.

ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У ТЕСТУВАННІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ: МОЖЛИВОСТІ, ПЕРЕВАГИ ТА ВИКЛИКИ

Павлова М.О., Фоміченко В.В.
(ДФК ДДМА, м. Дружківка - Дніпро, Україна)

У сучасних умовах цифрової трансформації дедалі зростає роль інформаційних технологій у забезпеченні ефективного функціонування соціальних, економічних та управлінських процесів. Це зумовлює постійну потребу у створенні надійного, функціонального та безпечного програмного забезпечення. Відтак, питання вдосконалення процесів його розробки та тестування залишаються надзвичайно актуальними як для України, так і для міжнародного співтовариства.

Розвиток технологій штучного інтелекту (ШІ) відкриває нові можливості для автоматизації, оптимізації та підвищення ефективності тестування програмного забезпечення. ШІ дозволяє не лише зменшити обсяг рутинної роботи тестувальника, а й забезпечити глибший аналіз продукту, адаптацію до змін у коді та точніше виявлення критичних помилок.

В умовах стрімкого розвитку інформаційних систем і зростання вимог до якості цифрових продуктів, інтеграція інструментів ШІ у процеси тестування стає необхідною. Саме тому дослідження можливостей застосування штучного інтелекту в тестуванні програмного забезпечення є науково й практично обґрунтованим та становить актуальний напрям сучасних інформаційних технологій.

Під штучним інтелектом (ШІ) ми розуміємо інформаційні системи, що імітують процеси людського мислення, зокрема сприйняття, навчання, аналізу та прийняття рішень. Його основою є:

– машинне навчання – алгоритми, які навчаються на даних і з часом покращують свою точність;
– нейронні мережі – штучні системи, натхненні роботою людського мозку;
– глибинне навчання — підвид машинного навчання, який дозволяє вирішувати складні завдання на рівні людського інтелекту або вище.
– ШІ значно підвищує ефективність і глибину тестування, адже здатен:
– автоматично аналізувати вимоги до ПЗ;
– створювати тест-кейси, чек-листи, сценарії;
– генерувати тестові дані, враховуючи численні варіанти вводу;
– виконувати тестування, аналізуючи результати і відстежуючи помилки;
– визначати критичність дефектів та їх пріоритетність;
– адаптувати тести під зміни в коді (актуальність тестових наборів).

На сьогоднішній день технології штучного інтелекту активно проникають у сферу тестування програмного забезпечення, значно розширюючи можливості тестувальників і підвищуючи ефективність їхньої роботи. ШІ здатен виконувати низку функцій, які раніше вимагали багато часу та зусиль.

По-перше, штучний інтелект може використовуватись для аналізу вимог до програмного забезпечення та автоматичної підготовки чек-листів, що дозволяє структурувати процес тестування ще на початкових етапах розробки.

По-друге, за допомогою ШІ можлива генерація тест-кейсів і повноцінних тестових сценаріїв на основі наданих вимог або користувацької поведінки. Це особливо корисно для великих проєктів з динамічно змінюваними умовами.

Третім напрямом є автоматичне створення документації – планів тестування, стратегій, звітів про результати тощо. Це значно скорочує час на підготовку супровідної документації та знижує ймовірність людської помилки. Крім того, системи на базі ШІ можуть здійснювати моніторинг змін у коді й динамічно адаптувати тести до нових умов, що є надзвичайно важливим у середовищах безперервної інтеграції та доставки (CI/CD).

Ще одним важливим застосуванням є аналіз великих обсягів тестових та користувацьких даних. ШІ допомагає виявити закономірності, класифікувати дефекти, визначати їх пріоритетність та прогнозувати можливі проблемні місця в системі.

Впровадження ШІ в процес тестування відкриває нові можливості для підвищення якості та ефективності контролю якості ПЗ. Однією з ключових переваг є збільшення покриття тестами. Завдяки ШІ можна автоматично генерувати більше тестових сценаріїв, охоплюючи різноманітні варіанти використання системи. Це дозволяє виявити приховані дефекти, які могли б залишитися непоміченими при ручному тестуванні.

Незважаючи на численні переваги, впровадження ШІ стикається з певними викликами. По-перше, існує дефіцит кваліфікованих кадрів, які володіють сучасними інструментами та методами ШІ. Це ускладнює швидке та ефективне впровадження технологій.

По-друге, багато організацій використовують застарілі системи, які несумісні із сучасними рішеннями на базі ШІ. Це потребує додаткових витрат на модернізацію або повну заміну інфраструктури.

Ще однією проблемою є якість даних. Неякісні або неповні дані можуть спотворити результати тестування, що призведе до неправильних висновків.

Підсумовуючи, можна сказати, що ШІ – це не просто модний тренд, а потужний інструмент, який допомагає робити тестування ефективнішим, глибшим і точнішим. Завдяки автоматизації рутинних задач та покращенню аналізу даних, ми можемо швидше випускати якісне програмне забезпечення.

Однак важливо пам’ятати: впровадження ШІ має бути економічно обґрунтованим, з урахуванням можливих ризиків і викликів. Тестувальникам вже зараз потрібно розвивати нові навички, а освітнім установам – оновлювати свої програми навчання.

ДОСЛІДЖЕННЯ ФОРМОЗМІНИ МЕТАЛУ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ ІНСТРУМЕНТУ «ПЕРЕТИСКАЧ»

Палієнко В.О., Чухліб В.Л.
(Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна)

У процесі виготовлення поковок колінчастих валів особливої уваги потребує формування щоки валу, оскільки саме в цій зоні часто виникають внутрішні дефекти через нерівномірний перерозподіл металу [1]. Для покращення керування деформаційним процесом доцільно використовувати додаткові технологічні інструменти. Одним із таких рішень є інструмент типу «перетискач», який забезпечує локальний вплив на метал у початковій стадії кування.

У межах дослідження проведено моделювання формозміни заготовки за допомогою інструменту «перетискач» у сучасному програмному середовищі QForm3D для чисельного аналізу процесів обробки тиском [2]. Геометрія інструменту була розроблена таким чином, щоб забезпечити максимальну ефективність у створенні зони локального ослаблення заготовки, що в подальшому сприяє спрямованому потоку металу при куванні. На кожному з етапів оцінювався напружено-деформований стан, траєкторії переміщення металу та можливість виникнення локальних дефектів.

Результати моделювання показали, що застосування інструменту «перетискач» сприяє формуванню локальних зон пластичної деформації, що в подальшому забезпечує кращий перерозподіл металу. Це дозволяє покращити геометрію заготовки, зменшити ризик утворення внутрішніх дефектів і підвищити якість поковки в цілому.

Отримані результати можуть бути використані при проектуванні нових технологічних схем вільного кування, орієнтованих на виготовлення колінчастих валів великогабаритних розмірів. Запропонований підхід дозволяє не лише зменшити втрати металу, але й забезпечити стабільність механічних характеристик готової деталі, що є важливим фактором при її експлуатації в умовах динамічного навантаження.

Література:

1. Forging Technology and improvement of passenger car crankshaft: веб-сайт. URL: https://www.linkedin.com/pulse/forging-technology-improvement-passenger-car-crankshaft (дата звернення: 20.02.2024).

2. Біба М.В. Досвід застосування програми QForm для моделювання процесів ОМТ в промисловості, освіті та дослідженнях/ М. В. Біба // Пластична деформація металів : матеріали наук.-практ. конф. : тез. допов., 22-26 травня 2017 р., м. Дніпро. – Дніпро, 2017. – С. 9.

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ТОЧІННЯ ТИТАНУ TI-6AL-4V ШЛЯХОМ ЛОКАЛЬНОГО ТЕРМІЧНОГО ВПЛИВУ НА ЗАГОТОВКУ

Пастернак С.М.
(Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна)

У сучасному машинобудуванні спостерігається тенденція до збільшення використання матеріалів із підвищеними експлуатаційними характеристиками — високою міцністю, термостійкістю, корозійною стійкістю та зносостійкістю. Разом із цим, такі матеріали, зокрема титанові сплави, характеризуються складністю в обробці через низьку теплопровідність, високу міцність при підвищених температурах і схильність до адгезійного зношення інструменту. Ці чинники призводять до передчасного зношення ріжучого інструменту, погіршення якості обробленої поверхні та зниження ефективності обробки.

Одним з ефективних підходів до підвищення оброблюваності таких матеріалів є застосування технології гарячого точіння, що передбачає попереднє або супутнє нагрівання заготовки. Завдяки термічному впливу зменшується міцність матеріалу в зоні різання, що призводить до зниження сили різання, кращого формування стружки та зменшення зносу інструменту [1,2].

При нагріванні сплавів, зокрема титану, відбуваються зміни на атомному рівні, зумовлені ослабленням міжатомних зв’язків у кристалічній решітці, активізацією дифузійних процесів, розчиненням карбідів та переміщенням дислокацій. Це в комплексі знижує твердість та покращує пластичність матеріалу.

Існує кілька методів реалізації локального нагрівання під час точіння:

- полум’яне нагрівання (киснево-ацетиленове або газове),
- індукційне,
- плазмове,
- лазерне,
- електродугове [3,4,5].

У проведеному експериментальному дослідженні було використано метод полум’яного нагрівання заготовки. Матеріалом для обробки слугував титановий сплав Ti-6Al-4V.

Експериментальна частина

До складу експериментальної установки входили:

1. Токарний верстат (1К62);

2. Система вимірювання сили різання на основі тензодатчиків FlexiForce40X [6];

3. Лазерний пірометр для контролю температури;

4. Паяльна лампа;

5. Профілометр для оцінки шорсткості;

6. Ріжучий інструмент зі змінною пластинкою;

7. Циліндрична заготовка Ti-6Al-4V (Ø 30 мм, довжина 300 мм).

Заготовку нагрівали до температур 300°C, 400°C, 500°C і 600°C, після чого виконували точіння з однаковими параметрами режиму:

- швидкість різання — 100 м/хв;
- подача — 0,1 мм/об;
- глибина різання — 0,5 мм.

На кожному температурному рівні здійснювали два проходи та обчислювали середнє значення сили різання.

Результати

Встановлено, що підвищення температури заготовки суттєво знижує зусилля різання. Зокрема, при нагріванні титанової заготовки до температури 600°C сила різання в напрямку X (основне зусилля різання) зменшилася на 23%, а сила в напрямку Y (радіальне зусилля) — на 31% порівняно з холодною обробкою. Це безпосередньо пов’язано зі зниженням твердості та опору деформації оброблюваного матеріалу, що зумовлює зменшення контактного тиску між інструментом і заготовкою. Таким чином, термічне пом’якшення поверхневого шару дозволяє знизити механічне навантаження на ріжучу частину інструмента.

Крім цього, було зафіксовано значне покращення якості обробленої поверхні. Значення параметра шорсткості Ra зменшилось з 2,1 мкм до 1,7 мкм, що свідчить про зменшення мікронерівностей на поверхні заготовки приблизно на 31,25%. Такий ефект пояснюється більш стабільним формуванням стружки, зменшенням динамічних коливань системи "інструмент-заготовка" та більш рівномірним процесом знімання шару матеріалу. При нагріванні заготовки утворення зон термічного ослаблення в металі також сприяє зменшенню сили зчеплення між стружкою і ріжучою поверхнею, що знижує ймовірність налипання та появи задирок.

Додатково було помічено візуальні зміни у характері утворення стружки: при нагріванні вона стала тоншою, менш ламкою і мала більш однорідну

структуру. Це свідчить про зниження рівня пластичної деформації при знятті шару та покращення умов різання. В сукупності ці фактори підтверджують ефективність попереднього локального нагріву як способу оптимізації процесу обробки титанових сплавів.

Висновки

1. Попередній нагрів заготовки є дієвим способом зменшення сили різання при обробці титанових сплавів.
2. Зменшується інтенсивність зносу інструменту, що продовжує його ресурс.
3. Покращується чистота обробки та зменшується шорсткість поверхні, особливо при нагріванні до 600°C.

Отримані результати підтверджують доцільність застосування локального термічного впливу при точінні титану для підвищення ефективності та стабільності процесу.

Література:

1. H. A. Kishawy, end A. Hosseini, “Machining Difficult-to-Cut Materials”, Cham: Springer International Publishing, 2019.

2. H. Zheng and K. Liu, “Machinability of Engineering Materials”, in: A. Nee (eds), Handbook of Manufacturing Engineering and Technology, Springer, London, 2013.

3. M. F. Ashby and D. R. H. Jones, “Engineering Materials 1: An Introduction to Properties, Applications and Design”, 4th ed. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann, 2012. https://doi.org/10.1016/b978-0-08-096665-6.00001-5

4. Callister W. D., Rethwisch D. G. “Materials Science and Engineering: An Introduction”, 9th ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2014.

5. D. R. Askeland, W. J. Wright, “The Science and Engineering of Materials”, 7th ed. Boston, MA: Cengage Learning, 2015.

6. S. Pasternak, V. Stupnytskyy, «Analysis and development of a cutting force measurement system under pre-heating conditions of the workpiece», Ukrainian Journal of Mechanical Engineering and Materials Science, 2024. vol. 10, no. 4, pp. 70–78, 2025. URL: https://doi.org/10.23939/ujmems2024.04.070

7. P. Haasen, “Physical Metallurgy”, 3rd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.

8. B. Maher, V. Wagner, G. Dessein, J Sallabery, and D. Lallement, “An Experimental Investigation of Hot Machining with Induction to Improve Ti-5553 Machinability”, Applied Mechanics and Materials, vol. 62, pp. 67-76, 2011. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.62.67

ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СЕРІЙНОГО ВИГОТОВЛЕННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОЧИСНИХ КОМБАЙНІВ НОВОГО ПОКОЛІННЯ ДЛЯ МЕХАНІЗОВАНОЇ ПІДЗЕМНОЇ ВИЇМКИ ТОНКИХ ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТІВ З НЕСПОКІЙНОЮ ГІПСОМЕТРІЄЮ

[1] Пермяков О.А.,[2] Дергоусов В.М., [2] Бережной Р.А., [3] Удовіков Ю.В.
([1] НТУ «ХПІ», м. Харків, Україна, [2] АТ «ХАРКІВСЬКИЙ МАШИНОБУДІВНИЙ ЗАВОД «КОРУМ СВІТЛО ШАХТАРЯ», м. Харків, Україна, [3] ВСП «ШУ «Героїв космосу» ПрАТ «ДТЕК ПАВЛОГРАДВУГІЛЛЯ», м. Павлоград, Україна)

Метою роботи є збільшення потенціалу вугільної промисловості України шляхом створення очисних комбайнів нового покоління та освоєння серійного наукомісткого виробництва для виготовлення продукції світового рівня. Для досягнення мети було поставлені в тому числі наступні задачі:

- на основі аналізу технологічних можливостей заводу удосконалити організаційно-технологічну структуру та провести необхідну модернізацію виробництва на базі наукових досягнень сучасної технології машинобудування, впровадити сучасні методи отримання заготівок та механічної обробки, нове ефективне технологічне обладнання, що у сукупності дозволить забезпечити гарантовано стабільну якість в умовах серійного виробництва, високу продуктивність та зниження трудомісткості виготовлення;
- ввести в експлуатацію очисні комбайни нового покоління, забезпечити систему технічного супроводу та обслуговування, проаналізувати показники надійності, ремонтопридатності та безпеки праці з метою подальшого удосконалення конструкції за результатами експлуатації.

Завдання з розробки високоефективних очисних комбайнів нового покоління полягало в проведенні комплексу науково-дослідних, дослідно-конструкторських робіт, організаційно-технологічної підготовки серійного виробництва та виведення на ринок нового продукту - очисного комбайну УКД200-500. Це перший комбайн нового технічного рівня для видобутку вугілля на тонких похилих пластах з гіпсометрією, що змінюється (пласт має різні висоти в різних точках). Комбайн очисний УКД200-500 (рис.1) є машиною різальної дії, оснащеною шнековими виконавчими органами для руйнування та навантаження вугілля на конвеєр.

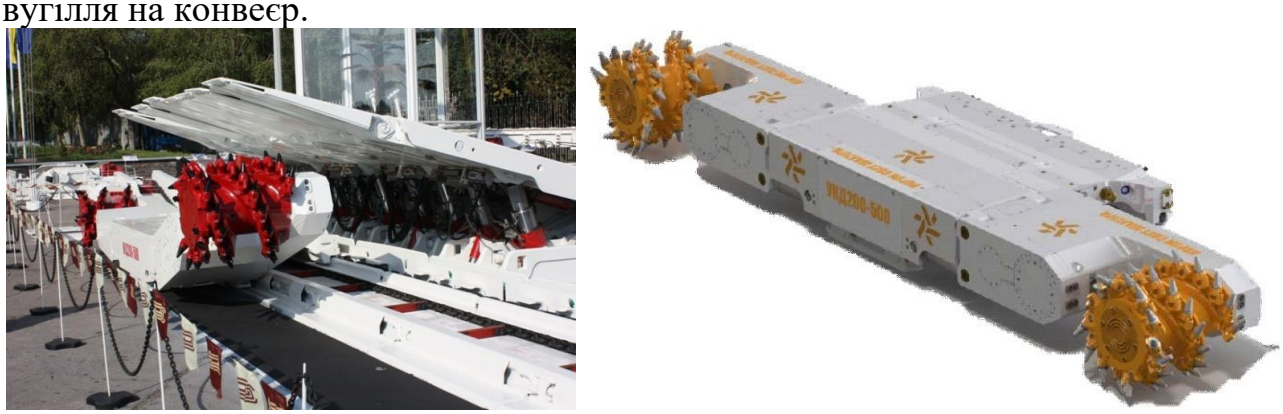


Рис. 1. Комбайн очисний УКД200-500

Очисний комбайн УКД200-500 є універсальною машиною, яка може працювати у складі множини очисних комплексів. На рис.2 показано очисний комплекс 09МДН у складі кріпи 09ДТ, комбайну УКД200-500, конвеєра СП251.

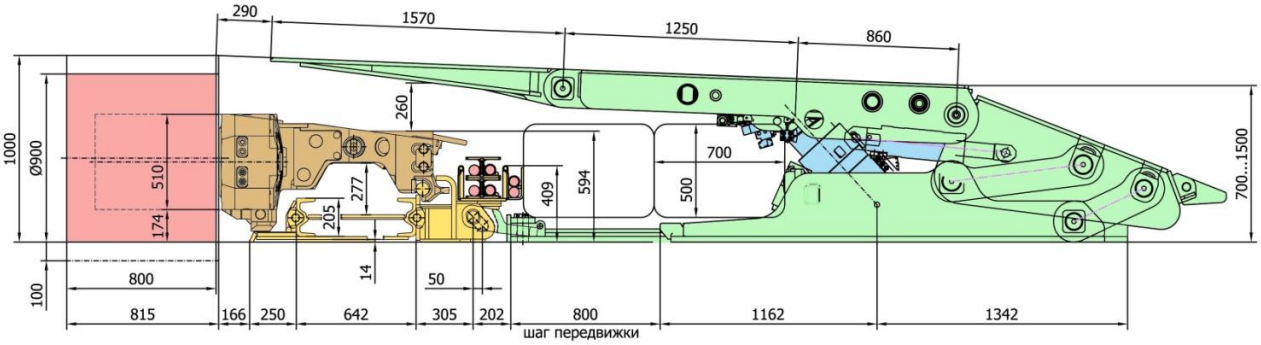


Рис. 2. Ув'язування комбайна УКД200-500 з кріплею та конвеєром

Виробничі потужності, сучасне високопродуктивне обладнання, розвинена випробувальна база дозволяють заводу випускати продукцію високої якості та забезпечувати її надійність та безпеку експлуатації у вугільних, сланцевих шахтах та калійних копальнях. З використанням імітаційного моделювання удосконалено організаційно-технологічну структуру та проведена необхідна модернізація виробництва на основі рекомендацій з впровадження сучасних методів отримання заготівок та механічної обробки, що у сукупності дозволило забезпечити гарантовано стабільну якість в умовах серійного виробництва, високу продуктивність та зниження трудомісткості виготовлення.

В заготівельному виробництві для відливки великогабаритних конструкцій було впроваджено нову ділянку холоднотвердіючих сумішей, в якій міститься формувальна лінія «Омега» з вибивним комплексом GAMMA 9LL (Великобританія) та ділянка регенерації, індукційно-плавильний комплекс INDEMAX (Туреччина). Це дозволило суттєво зменшити металомісткість виробів, забезпечити стабільну якість та створити безвідходну технологію яка виключає відходи допоміжних матеріалів. На рис.3 показано заготовки, яки отримані за новою технологією.

Рис. 3 Заготовки корпусних деталей комбайну

В механоскладальному виробництві при виготовленні вузлів комбайну було проведено модернізацію та переоснащення шляхом впровадження сучасних верстатів з ЧПК TOS Varndorf (Чехія) та DOOSAN DBC160 (Південна Корея). Це дозволило підвисити продуктивність обробки, забезпечити якість, технологічну гнучкість та стабільність отримання результату. На рис.4 показано обробку корпусу різання комбайну на верстаті з ЧПК TOS Varndorf.

Рис. 4 Обробка корпусу різання на верстаті з ЧПК TOS Varndorf

Для виготовлення деталей вузлів комбайну впроваджено інноваційні технології з використанням прогресивного металорізального обладнання та інструменту (рис.5).

Рис. 5 Виготовлення деталей вузлів комбайну

Для забезпечення якості продукції впроваджено метрологічний контроль деталей на 3-х координатній вимірювальній машині GLOBAL12.22.10 італійсько-швейцарського виробництва.

Експлуатація очисних комбайнів УКД200-500 на шахтах АТ «ДТЕК Павлоградвугілля» демонструє високі показники середньодобового видобутку (2000-2500 т). У жовтні 2021р. на шахті «Дніпровська» за допомогою комбайна з однієї лави було видобуто 127 тис.т вугілля (середньодобовий видобуток 4100 т) – це рекордний видобуток з потужності пласта, що виймається, до 1,05 м.

Виробник гарантує надійну роботу очисного комбайну до капітального ремонту з видобутку не менш 1 млн.т вугілля, що вдвічі перевершує показники конкуруючих аналогів.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що на основі системного аналізу науково-технічної інформації про призначення, особливості конструкції та техніко-експлуатаційні параметри очисних комбайнів вітчизняного та закордонного виробництва, специфіки геології вугільних пластів в Україні та технологічних можливостей заводу з освоєння серійного виробництва запропоновано новий підхід до забезпечення високих конкурентоспроможних показників комбайнів нового покоління з метою збільшення потенціалу вугільної промисловості України. Практичне значення отриманих результатів полягає в розробці принципово нових технічних та технологічних рішень щодо забезпечення високої надійності та ресурсу високонавантажених деталей та вузлів очисних комбайнів нового покоління.

АНАЛІЗ РОЗВИТКУ МОДЕЛЮВАННЯ ПРАВКИ ЛИСТІВ РОЛИКОПРАВИЛЬНИМИ МАШИНАМИ

[1]Пожидаєв А.В., [2]Грибков Е.П., [1]Бережна О.В.
(1ДДМА, м. Краматорськ - Тернопіль, Україна,
[2]ТОВ «ТУ «Метінвест Політехніка», м. Запоріжжя, Україна)

Продукція листопрокатних станів має важливе значення у таких галузях як машинобудування, авіабудування, суднобудування, будівництво та ін. На світовому ринку металопрокату постійно зростає попит на листову продукцію з високоміцних марок сталей, так як при подальшому використанні це дозволяє знизити металомісткість готової продукції. Процес виробництва листів включає такі технологічні переділи як прокатка, термообробка, правка, порізка, а у випадках виробництва тонких смуг дресирування, багаторазове змотування-розмотування в рулони. Всі ці операції можуть призводити до дефектів площинності та надмірного рівня залишкових напружень. Основні з них це короблення, хвиля, серповидність, загини, закручування типу «пропелер». Тому проблема якості правки та передових конструкцій листоправильних машин залишається актуальною й до сьогодні. Багато вчених по всьому світу займаються вивченням процесів виправлення листів аналітичними та експериментальними методами. Зі збільшенням продуктивності комп'ютерів метод скінченно-елементного моделювання завдяки високій точності результатів розрахунку став набувати все більшої популярності. У роботах [1,2] досліджено скінченно-елементну модель чотирироликової машини для виправлення натяжінням, яка дозволяє ефективно прогнозувати розподіл напружень та деформацій у листах за різних умов ширини та товщини. Автори довели, що правильно обране натяжіння може суттєво знизити ймовірність короблення листа. У роботі [3] використовували сполучений метод скінченних елементів для моделювання процесу прокатки надтонких смуг, виявивши вплив температурного поля на напружений стан при прокатці і забезпечивши тим самим теоретичну основу для вивчення проблем площинності надтонких листів. Незважаючи на те, що моделювання методом скінченних елементів має значні переваги при дослідженні процесу правки, воно характеризується високою обчислювальною витратністю та обмеженою адаптованістю до складних умов роботи. У зв'язку з цим аналітичний метод привернув увагу дослідників завдяки високій обчислювальній ефективності та простим, зручним у застосуванні моделям. У роботі [4] розглянуто аналітичні залежності для розрахунку зусилля правки, згинального моменту та прямолінійності на основі теорії вигину балок, тим самим забезпечивши теоретичну основу для вдосконалення традиційних емпіричних формул. У роботі [5] запропоновано метод обробки листів у вигляді смуг, заснований на балочній теорії Ейлер-Бернуллі. Цей метод дозволив швидко розраховувати зусилля, що діють на робочі ролики, з використанням залежності між навантаженням та прогином, а також проводити аналіз розподілу навантажень у процесі виправлення. З аналізу існуючих джерел видно, що скінченно-елементна та аналітичні моделі мають свої переваги та недоліки. Якщо необхідна висока

точність, наприклад, при проектуванні нових машин і немає обмежень у часі, то раціональною буде скінченно-елементна модель. Якщо ж є обмеження за часом розрахунку, але висока точність не потрібна, наприклад при автоматизації машин, що вже діють, то аналітична модель впорається з цим завданням. У процесі правки металевих листів утворення та перерозподіл напружень є динамічно розвиненим процесом. Залишкові напруження, що виникли на попередньому етапі, суттєво впливають на перерозподіл напружень на наступних стадіях. Втім, більшість існуючих аналітичних моделей спираються на традиційні теорії, які не повною мірою враховують особливості розвантаження та повторного навантаження напружень у листовому металі при багаторазових циклах змінного згину, а також ефект їх накладання. У роботі [6] використовується метод інтегралу кривизни для розробки аналітичної моделі процесу правки з урахуванням ефекту накладання напружень. Механізм правки на ролико-правильних машинах полягає у згині та пружному відновленні листа. У запропонованій автором аналітичній моделі правки листа основоположним є зв'язок між кривизною та згинальним моментом. У зв'язку з цим для опису процесу згину листа він приймає такі припущення:

Допущення плоских перерізів: у процесі згину поперечний переріз листа залишається плоским і перпендикулярним до осі після деформації; відносне зсування між поздовжніми волокнами відсутнє.

Допущення одноосного напруженого стану: у процесі згину поздовжні волокна листа зазнають лише розтягувальних або стискальних напружень уздовж однієї осі.

Допущення постійної товщини: товщина балки (листа) у процесі згину не змінюється, деформації стиснення по товщині не відбуваються.

Допущення збігу нейтрального шару: у процесі згину нейтральний шар (шар, у якому деформація відсутня) збігається з геометричним центральним шаром листа.

Таким чином, автор доповнив існуючі моделі врахуванням накладання напружень, що виникають на різних етапах виробництва. Однак недоліком цієї моделі є відсутність урахування ефекту Баушингера, про який автор статті не згадав. З огляду на вищезазначене, актуальним на даному етапі є розроблення моделі, яка враховує ефект Баушингера і поєднує в собі елементи скінченно-елементного та кінцево-різницевого методів.

Література:

1. N. Mathieu, M. Potier-Ferry, and H. Zahrouni. Reduction of flatness defects in thin metal sheets by a pure tension leveler. *Int. J. Mech. Sci*. 2017. Vol. 122. P. 267–276.

2. N. L. Bolobanova, K. A. Kotov, and V. S. Yusupov. Study and prediction of plasticization of hot-rolled steel strip during straightening under conditions of alternating deformation. *Metallurgist.* 2023. Vol. 66(9–10). P. 1290–1298.

3. R. Nakhoul, P. Montmitonnet, and N. Legrand. Manifested flatness defect prediction in cold rolling of thin strips. International Journal of Material Forming. 2014. Vol. 8(2). P. 283–292.

4. E. Doege, R. Menz, and S. Huinink. Analysis of the levelling process based upon an analytic forming model. CIRP Ann. 2002. Vol. 51(1). P. 191–194.

5. M. Baumgart, A. Steinboeck, A. Kugi et al. Optimal active deflection compensation of a hot leveler. IFAC Proc. 2012. Vol. 45(23). P. 30–35.

6. Xiaoyu Zhu, Jing Zhang, Zixing Cheng. Algorithm and analytical verification of roller straightening process model considering stress inheritance behavior. AIP Advances. 2025. Vol. 15, 035139.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АДИТИВНОГО ВИГОТОВЛЕННЯ ЗАТИСКНИХ ПРИСТРОЇВ ШЛЯХОМ УНІФІКАЦІЇ ЇХ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Похил А.В., Яковенко І.Е.
(Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна)

Сучасні тенденції розвитку машинобудування та приладобудування дедалі активніше впроваджують технології адитивного виробництва, що забезпечують можливість виготовлення складних деталей без потреби в традиційній обробці або спеціалізованій оснастці. Однією з перспективних сфер застосування 3D-друку є виготовлення затискних пристроїв, які широко використовуються у виробничих процесах для фіксації заготовок, інструментів або елементів конструкцій. Водночас багато таких пристроїв виготовляються індивідуально під конкретні завдання, що значно ускладнює процес проєктування, друку та обслуговування.

Актуальним напрямом підвищення ефективності є уніфікація конструктивних елементів, що дозволяє створювати модульні системи із багаторазовим використанням компонентів, зменшити витрати матеріалів, скоротити час проєктування, спростити логістику зберігання і заміни деталей. Особливо це важливо в умовах одиничного та дрібносерійного виробництва, де гнучкість і швидкість виготовлення мають вирішальне значення.

Адитивне виробництво, більш відоме як 3D-друк, – це сукупність технологій створення об'єктів шляхом послідовного нашарування матеріалу відповідно до цифрової 3D-моделі. На відміну від традиційних субтрактивних методів, які передбачають зняття надлишкового матеріалу (різання, свердління, фрезерування), адитивні процеси базуються на додаванні матеріалу, що дає змогу мінімізувати відходи й підвищити точність виготовлення складних геометрій [1].

Основним принципом адитивного виробництва є пошарове створення об’єкта на основі тривимірної цифрової моделі, яка попередньо сегментується на серію двовимірних шарів за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення. Після цього матеріал (пластик, метал, смола, порошок тощо) подається в робочу зону і формується шар за шаром відповідно до заданої геометрії.

Кожна з технологій має свої особливості, які визначають їх застосування в тій чи іншій галузі промисловості.

Переваги:

1. Висока гнучкість виробництва. Завдяки цифровому прототипуванню можливе швидке виготовлення унікальних або складних деталей без потреби в дорогій оснастці.
2. Зменшення відходів. Матеріал використовується максимально ефективно, що важливо при роботі з дорогими металами.

3. Прискорення НДДКР. Створення прототипів і тестових зразків значно пришвидшує цикл розробки нових продуктів.

4. Оптимізація конструкцій. Завдяки топологічній оптимізації можливо створити легші й міцніші деталі, які неможливо виготовити традиційними методами.

5. Локалізація виробництва. Адитивне виготовлення дає змогу створювати продукцію безпосередньо на місці її використання, скорочуючи логістичні витрати.

Недоліки:

1. Обмеження в розмірах. Більшість 3D-принтерів мають обмежену робочу зону, що ускладнює виготовлення великих деталей.

2. Низька швидкість виготовлення. Пошарове формування вимагає значного часу, особливо при виготовленні масивних об'єктів.

3. Якість поверхні та точність. Не всі технології забезпечують високу якість без додаткової обробки.

4. Вартість обладнання та матеріалів. Високоточні принтери та спеціалізовані матеріали можуть бути дорогими.

5. Обмежена міцність окремих матеріалів. Деякі полімери або композити мають обмежену механічну стійкість і не можуть замінити металеві аналоги.

Для машинобудівного виробництва характерно використання металевих конструкцій в якості елементів затискних пристроїв. Однак, як показав аналіз точності та матеріалів, з якими працюють найбільш розповсюджені адитивні технології, можливо використання цих методів при виробництві установчо-затискних пристроїв як при роботі з полімерами, так і металами (табл.1).

Таблиця 1. Порівняльні характеристики адитивних методів обробки.

Технологія	Точність, мкм	Швидкість,	Матеріал
FDM/FFF	50–300	10-50 мм³/с	ABS, PLA, PETG, нейлон
SLA	25–50	до 10 мм³/с	Фотополімери (рідкі та смоли)
DLP	25–50	до 10 мм³/с	Фотополімери (рідкі та смоли)
SLS	50–120	10-50 мм³/с	Нейлон, PA, композити
MJF	50–80	50-200 мм³/с	Поліаміди, TPU
PolyJet	16–50	10-50 мм³/с	Композити, еластоміри
DLS	50	200-1000 мм³/с	Еластоміри, тверді полімери, поліуретани
SLM / DMLS	20–100	10–30 см³/год	Алюміній, титан, нержавіюча сталь, кобальт-хром, жароміцні сплави
EBM	50–200	30–70 см³/ год	Титан та його сплави, кобальт-хром
DED	100–300	50–150 см³/год	Широкий спектр металів (порошок або дріт)
Binder Jetting	50–200	до 500 см³/год	Нержавіюча сталь, алюміній, мідь, бронза
LMD	100–300	до 500 см³/год	Сталь, алюміній, титан, кобальт-хром
CS	50–200	до 1000 см³/год	Алюміній, мідь, титан, нержавіюча сталь
Metal Extrusion	100–200	10–40 см³/год	Нержавіюча сталь, бронза, мідь

Таким чином, адитивне виробництво поступово перетворюється з інструмента прототипування на повноцінну складову виробничих процесів у машинобудуванні. Його розвиток і впровадження пов'язані з інженерними інноваціями, пошуком нових матеріалів і методів оптимізації конструкцій, що робить цю сферу надзвичайно актуальною як з наукової, так і з практичної точки зору.

У ході дослідження було встановлено, що уніфікація конструктивних елементів затискних пристроїв є ефективним напрямом підвищення результативності адитивного виготовлення. Завдяки впровадженню уніфікованих модулів вдалося значно знизити витрати на проєктування, матеріали й друк, а також скоротити загальний виробничий цикл [3].

Аналіз існуючих конструкцій та створення типових елементів дозволили сформувати базу модулів, які можна багаторазово використовувати в різних комбінаціях без потреби повної переінженеризації, та утрати відповідних параметрів точності окремих елементів та всього пристрою. Це сприяє зменшенню номенклатури деталей, спрощує обслуговування та прискорює процес проєктування та технічну підготовку виробництва.

Використання 3D-друку для виготовлення уніфікованих елементів для таких пристроїв є доцільним у малосерійному та серійному виробництві для скорочення допоміжного часу при виконанні операцій завдяки тому що не потрібно вивірка положення заготовки при використанні універсального пристрою. Це особливо актуально в умовах швидкої змінюваності виробничих завдань, коли потрібна оперативна адаптація обладнання.

Отже, уніфікація як підхід до конструювання затискних пристроїв та створення параметричних 3D моделей в умовах адитивного виробництва є потужним інструментом оптимізації технологічного процесу, що забезпечує високу гнучкість, економічну доцільність і функціональну ефективність виробничих рішень.

Література:

1. Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво : матеріали XIX Міжнародної науково-практичної конференції (м. Суми, 25–26 листопада 2020 року) / редкол.: В. О. Залога, О. В. Івченко. – Суми : Сумський державний університет, 2020. – с. 183.

2. Обладнання для новітніх технологій: навчальний посібник / В.В. Солоха, Л.Й. Івщенко, І.А. Бойко, В.Ю. Коцюба, В.Л. Карнаух. – Запоріжжя: ПАТ «Мотор Січ», 2020. – с.210.

3. Яковенко І. Е., Пермяков О. А., Фесенко А. В. Технологічні основи машинобудування: навчальний посібник для студентів спеціальностей 131 – Прикладна механіка, 133 –Галузеве машинобудування / І. Е. Яковенко, О. А. Пермяков, А.В. Фесенко – Харків: НТУ «ХПІ», 2022. – с.421.

ТЕМПЕРАТУРНА ДЕФОРМАЦІЯ ПРИ ТОЧІННІ ТИТАНУ TI-6AL-4V

Пірогов Д.О., Воронцов Б.С.
(НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна)

Титан та його сплави, зокрема Ti-6Al-4V широко застосовуються в аерокосмічній медичній та енергетичній галузях завдяки поєднанню високої міцності, корозійної стійкості та біосумісності. Однак обробка цих матеріалів супроводжується значними труднощами, пов'язаними з високою температурою в зоні різання. Високі температури призводять до температурної деформації, яка впливає на геометричну точність, якість обробленої поверхні та знос інструменту [1].

Основними механізмами виникнення температурної деформації при точінні є явище локального нагрівання матеріалу заготовки та ріжучого інструмента. У випадку Ti-6Al-4V, низька теплопровідність (близько 6.7 Вт/мК) сприяє накопиченню тепла в зоні різання [1]. Це призводить до ефекту термічного розширення заготовки, що викликає тимчасові або залишкові зміни розмірів, термічного розширення інструменту, що впливає на точність позиціювання та стійкість інструмента, пластичної деформації поверхневого шару, особливо при високих температурах понад 500 °C, що характерно для високошвидкісного точіння. Ці фактори можуть призвести до появи вібрацій, мікротріщин та нестабільності розмірів [2]. Вплив режимів різання має також неабиякий вплив на температурні характеристики. Швидкість різання найбільше впливає на генерацію тепла. При збільшенні швидкості різання температура в зоні контакту зростає експоненційно, що збільшує ризик деформації. Водночас подача та глибина різання мають менший, але також значущий вплив [3]. Згідно досліджень, при швидкості різання 90-150 м/хв. температура в зоні різання може сягати 800-950 °C, що значно перевищує температуру рекристалізації Ti-6Al-4V, приблизно 700 °C, що унеможливлює зміни мікроструктури матеріалу, зокрема α→β перетворення [4]. Дослідження із використання програмного забезпечення ThirdWave AdvantEdge показали, що при збільшенні швидкості з 60 до 180 м/хв. температура в зоні різання підвищується від 450 °C до 990 °C, а сила різання збільшується від 280 Н до 390 Н, що підтверджує значний вплив швидкості різання на термічні та механічні параметри процесу [7].

Зниження механізму температурної деформації відбувається шляхом застосування охолодження, традиційне охолодження рідинами або сучасними методами, як кріообробка, що дозволяють зменшити нагрівання на 30-50% [5]. Використання покритих або термостійких інструментів із покриттям TiAlN або PCBN, які найкраще витримують теплове навантаження [3]. Оптимізація режимів обробки, використання рекомендованих значень подачі та глибини різання, що дозволяє контролювати температуру без зниження продуктивності [4]. Моделювання температурних полів методом скінченних елементів (FEM), дозволяє передбачити температурні деформації та мінімізувати їх ще на етапі планування процесу [6].

Отже, температурна деформація є ключовим викликом при точінні титану Ti-6Al-4V через його низьку теплопровідність і високий коефіцієнт теплового розширення. Зниження цього явища можливе за рахунок застосування охолодження, підбору інструментів, оптимізації режимів обробки та використання планування методами комп'ютерного моделювання. Подальші дослідження повинні зосереджуватись на інтеграції в реальному часі даних про температуру з системами керування верстатами.

Література:

1. Boyer R., Welsch G., Collings E.W. Materials Properties Handbook: Titanium Alloys. ASM International, 1994.

2. Ezugwu, E.O., Wang, Z.M. "Titanium alloys and their machinability – a review." Journal of Materials Processing Technology, 1997, Vol. 68(3), c. 262–274.

3. Bermingham, M.J. "Tool life and wear mechanisms in cryogenic machining of Ti–6Al–4V." Journal of Materials Processing Technology, 2011, 211(6), 1141–1150.

4. Arrazola, P.J. "Machinability of titanium alloys (Ti6Al4V and Ti555.3)." Journal of Materials Processing Technology, 2009, 209(5), c. 2223–2230.

5. Dhananchezian, M., and Pradeep Kumar, M. "Cryogenic turning of Ti–6Al–4V with modified tungsten carbide tool inserts." Materials and Manufacturing Processes, 2011, 26(8), c. 955–960.

6. Umbrello, D. "Finite element simulation of machining Ti6Al4V alloy: The role of constitutive modeling." Materials and Design, 2011, 32(10), c. 3915–3921.

7. Пірогов, Д. О., Воронцов, Б. С. (2024). "Аналіз впливу швидкості різання на температуру й сили різання при точінні заготовок із титанового сплаву TI-6AL-4V." Технічні науки та технології, 2(36), с. 65–73.

УДК 621.735.3

ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБУ КУВАННЯ ВАЖКИХ ПОКОВОК ВІДПОВІДАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Ровенський С.Г., Калітенко К.О., Адаменко Б.І.
(ДДМА, м. Краматорськ - Тернопіль, Україна)

У сучасному важкому машинобудуванні головна увага відводиться якості одержуваних деталей. Головною операцією для виготовлення крупних поковок з подовженною віссю є ковальська протяжка, яка подрібнює литу структуру та сприяє заковуванню осьових дефектів. Тільки операцією протяжкою без осадження неможливо забезпечити високий рівень проробки структури металу у тілі поковки та отримати з заготовки заданих розмірів поковки. Не використовувати операцію осадження задля зниження витрат на кування із збереженням якості поковок та забезпечити можливість отримання заданих розмірів поковки можливо за рахунок застосування нових схем деформування з інтенсивними пластичними деформаціями. Підвищити рівень пластичних деформацій у поковці та рівномірність їх розподілу можливо за рахунок деформування з профілюванням заготовки опуклими клиновими бойками. Протяжка опуклими бойками зменшує подовження, що дозволяє збільшити кількість проходів рахунок незначного зменшення площі поперечного перерізу при протяжці і накопичити високий рівень деформацій в тілі поковки. Кування опуклими клиновими бойками виключає утворення застійних зон під інструментом, що деформує, як у разі застосування плоских бойків. Застосування опуклих бойків сприяє опрацюванню поверхневих та центральних шарів заготівлі. Чим більший кут клина бойка, тим вищий рівень деформацій у центрі і більша площа продеформованої частини заготовки. Після формування чотирипроменевої заготовки опуклими бойками недеформованими зонами залишаються кути, а у разі кування плоскими – зони, що контактують із інструментом. Заготівля з увігнутою бічною поверхнею в поперечному перерізі забезпечує підпір центральної зони при подальшій обкатці чотирипроменевої заготовки, але при цьому може статися утворення поверхневих затискачів. Для вибору ефективної схеми кування провели кількісне порівняння розподілу деформацій по перерізу кування для схем деформування, які не призводять до утворення поверхневих затискачів. В результаті досліджень встановлена ефективна геометрія інструменту та технологічні режими кування, що дозволили накопичити високий рівень пластичних деформацій в поковці, які послужили рекомендаціями для проектування інструменту та розробки нових технологічних процесів кування великих поковок відповідального призначення без осадження.

Література: 1. Markov, O. E., Khvashchynskyi, A. S., Musorin, A. V., Markova, M. A., Shapoval, A. A., & Hrudkina, N. S. (2022). Investigation of new method of large ingots forging based on upsetting of workpieces with ledges. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, https://doi.org/10.1007/s00170-022-09989-1.

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ КОНІЧНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС ВИСОКОЇ ТОЧНОСТІ

[1]Рябченко С.В., [2] Маліков О.І., [2]Довбищук О.М., [2] Планета П.І.
([1]Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН, м. Київ, Україна,
[2]ТОВ «Турбекс інжиніринг Україна», м. Київ, Україна)

Зростаючі вимоги до якості зубчастих коліс – невід'ємних елементів редукторів більшості машин та механізмів, пов'язані з необхідністю підвищення їх точності і надійності, продуктивності та коефіцієнту корисної дії, які значною мірою визначаються їх експлуатаційними властивостями. Рішення всіх цих завдань нерозривно пов'язане з розробкою нових технологій та інструментів для підвищення ефективності обробки високоточних (4–5 ступінь) зубчастих коліс.

Головною проблемою нарізання зубчастих коліс є необхідність системного підходу, як до процесу підготовки виробництва, так і до технологічного процесу обробки при одночасному збереженні параметрів якості й точності їх зубців.

Перспективним напрямком подальшого розвитку методів обробки високоточних зубчастих коліс в значній мірі є застосування інструменту з надтвердими матеріалами, зокрема, кубічного нітриду бору (КНБ).

Метою цієї роботи є підвищення ефективності обробки високоточних конічних зубчастих коліс редукторів та підвищення їх експлуатаційних показників за рахунок використання інструмента з надтвердих матеріалів.

Інститутом надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України спільно з партнером ТОВ «Турбекс інжиніринг Україна» розроблені кресленики конічних зубчастих коліс з круговим зубом та кресленики оснастки для виготовлення і контролю зубчастих коліс.

Для виготовлення зубчастих коліс планувалось використовувати низьколеговану цементовану та загартовану сталь 20Х3МВФА-Ш. Однака, в зв’язку з необхідністю відпрацювання технології обробки, прийнято рішення використовувати заготовки з круглого прокату із сталі 40Х. Вибір цих сталей обумовлений високими фізико-механічними якостями виготовлених прецизійних і еталонних зубчастих коліс, досить великим масивом досліджень, проведених іншими дослідниками при обробці інструментом, в тому числі, із надтвердих матеріалів.

Висока трудомісткість виготовлення загартованих зубчастих коліс обмежує їх застосування через значні припуски, які призначають на операціях зубошліфування для усунення дефектів після термообробки, можливість утворення припіків і мікротріщин, обмеження в розмірах зубчастих коліс (модуля 2 - 5), що обробляються на зубошліфувальних верстатах.

Технологія обробки зубчастих коліс складається з декількох етапів:

– виготовлення заготовки – поковка або круглий прокат (сталь 40Х);
– точіння зубчастого колеса згідно розробленого кресленика;
– термічна обробка заготовки зубчастого колеса;
– шліфування базових поверхонь, отворів та поверхонь зубчастого венця;
– різання внутрішніх зубчастих шліців в отворах зубчастих коліс;

– різання та шліфування зубців на вінці зубчастого колеса.

Точіння заготовки зубчастих коліс виконували на верстаті з ЧПК марки SMEC SL2000BM (Південна Корея) (рис. 1).

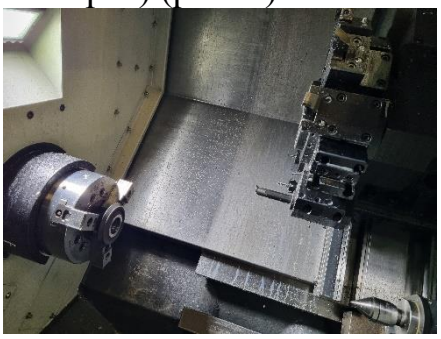


Рис. 1. Обробка зубчастих коліс на верстаті з ЧПК марки SMEC SL2000BM

Режими точіння: швидкість різання v = 250 м/хв; повздовжня подача S = 0,1 мм/об.; глибина різання t = 0,5–1,5 мм. Різальний інструмент – різці прохідні, відрізни та розточені з твердого сплаву та ПКНБ.

Термічна обробка заготовки зубчастого колеса (загартування та відпуск до твердості HRC 35–38) виконувались в термічної печі Термолаб марки «СНОЛ 7,2/1100». Твердість замірялась на твердоміри марки HBRV – 2.

Шліфування базових поверхонь, отворів та поверхонь зубчастого вінця виконували на шліфувальнім верстаті з ЧПК марки RIBON RUR-H800 (Італія). Режими шліфування: швидкість шліфування v = 25 м/с; повздовжня подача S = 0,5 мм/об.; поперечна подача S = 0,05 мм/подв.хід; глибина різання t = 0,5 мм. Шліфувальні інструмент – круги прямого профілю типу Т1 діаметром 250 мм із електрокорунду білого (25А) та кубічного нітриду бору (марки КВ).

Нарізання внутрішніх зубчастих шліців в отворах заготовок зубчастих коліс виконувалось на зубодовбальному верстаті моделі 5122. Вибір режиму різання зубчастих шліців та матеріалу різального інструменту обумовлені високою твердістю деталі. Режим обробки: частота подвійних ходів n = 200 1/хв., подача $s_{кр.}$ = 0,2 мм/подв.хід. Контроль якості нарізаних внутрішніх зубчастих шліців проведене зубчастими калібрами (прохід – не прохід).

Різання зубців на зубчастому колесі виконувалось на 3-х координатному зубофрезерному верстати моделі «HAAS UMC 1000» (рис. 2), інструмент – сферична фреза діаметр 2,0 мм, радіус 1,0 мм, ріжуча частина 7,0 мм, довжина фрези 39,0 мм, хвостовик діаметром 3,0 мм. Швидкість різання n = 9500 об/хв. (v = 60 м/хв.). Після фрезування вінця виконувалась фінішна обробка.

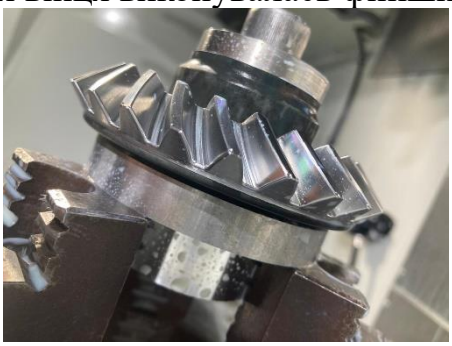


Рис. 2. Обробка вінця зубчастого колеса на верстаті марки «HAAS UMC 1000»

Шліфування конічних зубчастих коліс здійснювалось на спеціальному зубошліфувальному верстаті з ЧПК мод. «Gleason 275» (Німеччина). Шліфувальні круги для здійснення процесу обробки конічних зубчастих коліс являють собою інструмент складної форми. Це чашкові шліфувальні круги, що мають на торці пов'язані конічні поверхні по внутрішньому та зовнішньому діаметрам круга. Були спеціально розроблені абразивні круги з рубін-корунду кільцевого типу діаметром 177,8 мм (7 дюймів) для верстата «Gleason 275» (рис. 3).

Рис. 3. Чашковий шліфувальний круг з рубін-корунду

Проведені нами дослідження показали, що в деяких випадках можна використовувати при шліфуванні конічних зубчастих коліс шліфувальні круги із синтетичного алмазу та кубічного нітриду бору.

Розроблена технологія обробки конічних зубчастих коліс з круговим зубом (рис. 4) дозволила збільшити продуктивність обробки в 1,5 рази у порівнянні з існуючою технологією, підвищити якість та точність виготовлення редукторів двигунів, забезпечити отримання їм потрібних технічних та експлуатаційних показників.

Рис. 4. Готова шестерня конічна з круговим зубом після обробки

ПРОГНОЗУВАННЯ СТАБІЛЬНОСТІ ПРОЦЕСІВ РІЗАННЯ

[1]Сапон С.П., [2]Пономаренко С.В., [3]Яровий Ю.В., [1]Вакуленко М.В.
([1]КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна, [2]Національний університет «Чернігівська політехніка» м. Чернігів, Україна, [3]Одеський національний морський університет, м.Одеса, Україна)

Ключовим аспектом забезпечення якості обробки високоточних поверхонь деталей є управління та прогнозування стабільністю процесу різання. Нестабільність процесу різання найчастіше призводить до виникнення самозбуджених вібрацій і, як наслідок, – до погіршення якості поверхні.

Діаграми зон стабільності (Stability Lobe Diagram, SLD) будують для конкретних умов обробки (оброблюваний матеріал, характеристики різального інструменту, режими різання, характеристики жорсткості заготовки тощо). SLD-діаграми відображають залежність максимально допустимої глибини різання від частоти обертання шпинделя, визначаючи стабільні та нестабільні області обробки. Це дозволяє обирати оптимальні режими різання, виконуючи обробку в зоні малоймовірного виникнення самозбуджених вібрацій та прогнозувати стабільність процесу різання при необхідності виконувати обробку на високопродуктивних режимах.

Проведено огляд сучасних методів та засобів прогнозування стабільності процесу різання шляхом побудови SLD-діаграм та визначення оптимальних режимів обробки. Аналізувались теоретичні підходи до моделювання динаміки процесу різання та експериментальні методи і засоби для визначення меж стабільності процесу різання також шляхом побудови SLD-діаграм.

Незважаючи на значну кількість наукових праць, спрямованих на побудову SLD-діаграм для визначення оптимальних режимів обробки і прогнозування сталості процесу різання, досі актуальним залишається питання практичної перевірки та застосування новітніх методів побудови ті застосування SLD-діаграм. Особливо цінним є прогнозування і управління стабільністю процесу різання в режимі максимально наближеному до дійсних умов обробки, зокрема при обробці криволінійних поверхонь нежорстких деталей, коли необхідно обов’язково враховувати взаємодію інструменту та заготовки в динаміці.

Процес обробки відбувається в умовах певного рівня невизначеності, що суттєво ускладнює досягнення високих показників точності та ефективності обробки. Модель цифрового двійника за сьогоднішнього рівня розвитку інформаційних технологій дозволяє максимально наближено до реального фізичного об’єкта описувати технологічні процеси та системи. Застосування цифрових двійників дає змогу найбільш адекватно описати і прогнозувати стабільність процесу різання на конкретному верстаті з врахуванням його дійсних експлуатаційних параметрів та умов обробки.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕДІНКИ ДОВГОМІРНОГО ВАНТАЖУ ПРИ ОБРИВІ ОДНІЄЇ ІЗ ГІЛОК ДВОКАНАТНОГО СТРОПА БАШТОВОГО КРАНА

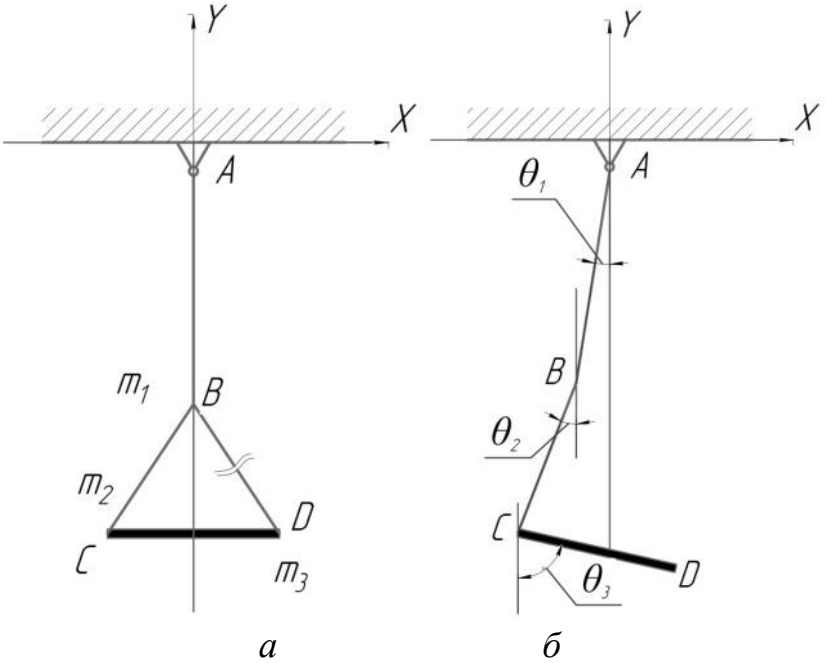
Семенченко С.Р., Дорохов М.Ю., Єрмакова С.О.
(ДДМА, м. Краматорськ - Тернопіль, Україна)

Однією із актуальних задач дослідження динаміки баштового крану є аналіз перехідних процесів після обриву однієї із гілок стропа, що моделювалося як подвійний маятник. Встановлено, що маятник з більшою масою визначає динаміку системи, поступово переводячи її до стану одиночного маятника

Проте, така модель не враховує взаємодію вантажу із системою кранової підвіски, що суттєво впливає на характер коливань. При обриві стропа динаміка вантажу визначається не лише його масою та геометрією підвіски, а й реакцією всієї конструкції крана, включно зі стрілою та візком. Можливі додаткові ефекти, такі як резонансні явища або зміна напрямку навантажень, що можуть посилювати чи, навпаки, гасити коливання. Це ускладнює математичне моделювання та потребує розширення дослідження з урахуванням нових факторів.

Розрахункова схема обриву однієї гілки стропу показано на рис. 1. Ця схема не враховує розгойдування та провисання стріли карана тому у точці А жорстке з'єднання. Ланки АВ = l_1 , ВС = l_2 і CD = l_3 є моделями натягнутих невагомих тросових ланок, а точкові маси тіл становлять $m_B = m_1$, $m_c = m_2 =$ і $m_D = m_3$ У точках підвісу тертя відсутнє. Початкові кути відхилення для кожної ланки $\theta_1 = 0$, $\theta_2 = 0{,}45379$ і $\theta_3 = \pi/2$. Для побудови нелінійної математичної ДАР- моделі скористаємось рівняннями Лагранжа II роду. У нашому випадку узагальнені координати q_i та узагальнених швидкостей dq_i / dt приймемо відносні кути відхилення натягнутих ниток маятника θ_1 , θ_2 і θ_3 , та відносні кутові швидкості ланок $d\theta_1$ / dt; $d\theta_2$ / dt ; $d\theta_3$ / dt.

Для отримання спрощеної системи рівнянь потрійного маятника здійснено низку припущень: знехтувано кінетичною та інерційною взаємодією між маятниками, враховано лише гравітаційні сили та взаємодію через синуси кутів, спрощено вплив довжин маятників шляхом нормування, виключено моменти інерції та взаємозалежність кутів, що дозволило значно спростити модель. Однак така система не враховує втрати енергії, тому для наближення до реальності в рівняння вводяться додаткові члени, що моделюють загасання коливань за допомогою коефіцієнтів декремента, підібраних на основі експериментальних даних, що робить модель більш фізично достовірною та придатною для аналізу.



а – початкове положення; б – після обриву однієї стропи

Рис. 1. Модель обриву стропа

Після усіх перетворень та спрощень система має наступний вигляд:

$$\ddot{\theta}_1 = -\frac{g}{l_1}\left[\left(m_1+m_2+m_3\right)\sin(\theta_1)+\frac{\left(m_2+m_3\right)l_2}{l_1}\sin(\theta_1-\theta_2)+\frac{m_3 l_3}{l_1}\sin(\theta_1-\theta_2)\right]-b_1\dot{\theta}_1;$$

$$\ddot{\theta}_2 = -\frac{g}{l_2}\left[\left(m_2+m_3\right)\sin(\theta_2)+\frac{m_3 l_3}{l_2}\sin(\theta_2-\theta_3)+\frac{\left(m_1+m_2+m_3\right)l_1}{l_2}\sin(\theta_2-\theta_1)\right]-b_2\dot{\theta}_2;$$

$$\ddot{\theta}_3 = -\frac{g}{l_3}\left[m_3\sin(\theta_3)+\frac{\left(m_2+m_3\right)l_2}{l_3}\sin(\theta_3-\theta_2)+\frac{\left(m_1+m_2+m_3\right)l_1}{l_3}\sin(\theta_3-\theta_1)\right]-b_3\dot{\theta}_3.$$

де

θ_i – кут відхилення і-ї ланки;

g – прискорення вільного падіння;

l_i – довжина і-ї ланки;

m_i – маса і-ї ланки;

b_i –декремент загасання і-ї ланки.

Після отримання графіків залежності кутів відхилення маятників від часу було проведено аналіз поведінки системи (рис. 2). Було запропоновано два варіанти зменшення коливань: опускання вантажу (рис. 3) та підняття вантажу (рис. 4). Ці варіанти спрямовані на зміну розподілу маси маятників, що впливає на їхню динаміку та швидкість загасання коливань.

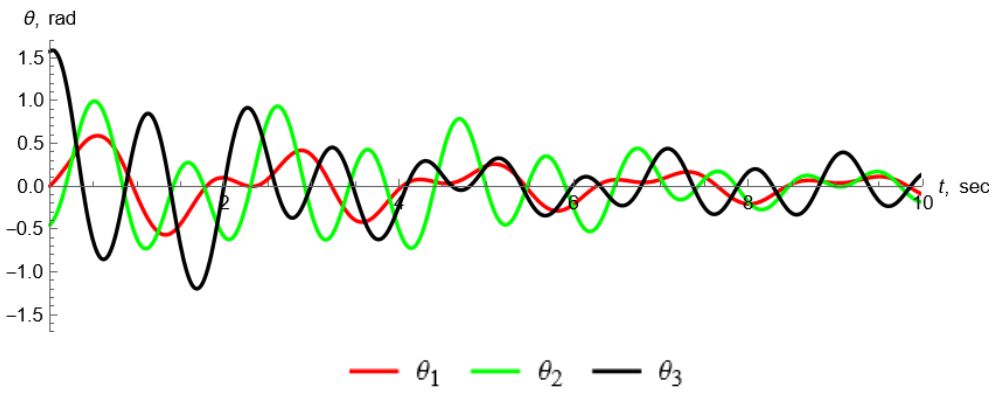


Рис. 2. Зміна кутів відхилення елементів маятника

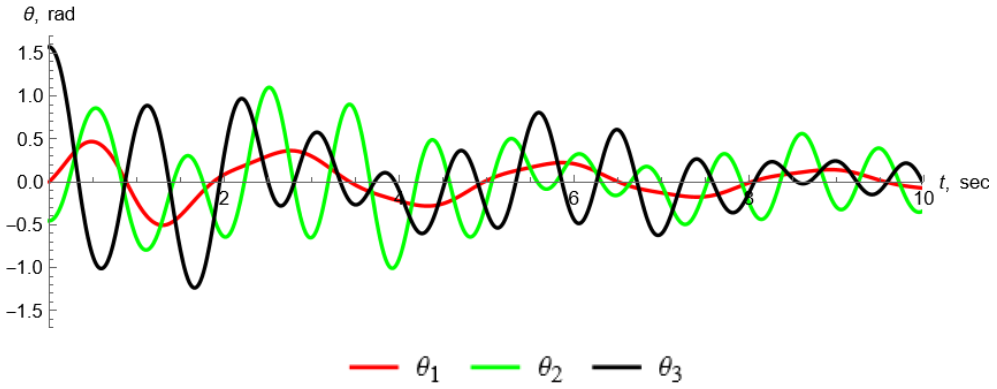


Рис. 3. Зміна кутів відхилення елементів маятника при опусканні вантажу

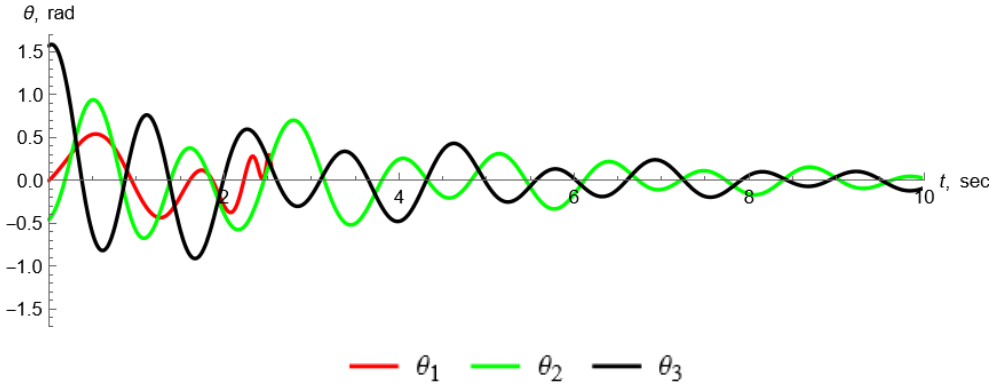


Рис. 4. Зміна кутів відхилення елементів маятника при підніманні вантажу

Таким чином. з аналізу проведеного математичного експерименту виявлено взаємний вплив кутів відхилення маятників за рахунок значної різниці мас. За отриманими значеннями відносних кутів відхилення видно як кількість та амплітуда коливань стає дедалі меншою з часом при підніманні вантажу. Напрямком наступних досліджень є виділення основних перехідних моментів затухання коливання потрійного математичного маятника.

Як показало чисельне моделювання окремого випадку затухаючого коливання потрійного маятника, при повному підйомі підвіски маятник втрачає одну ланку та приймає вигляд дволанкового, що значно зменшує хаотичність руху та складність системи.

ОПТИМІЗАЦІЯ РОБОТИ AMR ЗА ДОПОМОГОЮ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Сердюк Т.В., Разживін О.В.
(ДДМА, м. Краматорськ - Тернопіль, Україна)

Постановка проблеми. Сучасна складська логістика стикається з проблемами автоматизації та роботизації поряд із цифровізацією. Удосконалити складські операції та підвищити їх швидкість дозволяє використання штучного інтелекту (ШІ). Тому ***актуальним завданням*** є з'ясування механізмів інтеграції ШІ з робототехнікою, зокрема, з автономними мобільними роботами (AMR).

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питанням використання ШІ у складських процесах присвячені роботи таких вітчизняних та зарубіжних науковців, як В.В. Аулін [1], Dhaliwal, A. [2], Sodiya, E. O. [3], Vamsi, K.Y. [4], El Kihel, Y [5] та інших.

Зокрема, у роботі В.В. Ауліна та ін. зазначено, що машинне навчання вже впроваджується в окремі модулі сучасних систем керування складом. Очікується, що в майбутньому ці технології значно вдосконалять роботу складських систем [1].

Постановка завдання. Метою даного дослідження є з'ясування, як ШІ інтегрується з AMR та оптимізує їх роботу на складах.

Виклад основного матеріалу.

AMR в основному можуть бути двох типів: ті, що працюють з великими вантажами - вони доставляють вантажі від початкової до кінцевої точки, і ті, що призначені для оптимізації пакування [2].

Для підвищення ефективності AMR можуть бути інтегровані з ШІ. Така інтеграція дозволяє роботам самостійно орієнтуватися в просторі, ухвалювати рішення в реальному часі та оптимізувати логістичні завдання. AMR із ШІ виробляють, наприклад, такі компанії як Amazon Robotics, Fetch Robotics та Locus Robotics.

AMR оснащують передовими датчиками, камерами та алгоритмами ШІ. Це дозволяє їм переміщатися у складському середовищі автономно, без необхідності зовнішніх систем навігації, таких як дроти або доріжки. Використовуючи технології одночасної локалізації та картографування (SLAM), AMR створюють карти свого оточення в режимі реального часу та планують оптимальні маршрути для ефективної навігації між різними місцями в межах складу. Планування шляху на основі ШІ-алгоритмів гарантує, що AMR можуть адаптуватися до динамічних перешкод, заторів і змін навколишнього середовища, що забезпечує плавне та ефективне пересування по всьому складу [1 3].

Технології ШІ дозволяють роботам бачити та адаптуватися до їх оточення в реальному часі. Використовується система тривимірне бачення, LIDAR, синтез датчиків, камери. Алгоритми обробки зображень будують 3D складські карти в системах 3D vision. Роботи можуть надійно виявляти та знаходити предмети в скупченому місці або динамічному середовищі, виявляти світло,

використовувати лазерні промені для виявлення відстані та будувати точні карти. Датчик Fusion використовує камери, LIDAR та ультразвукові дані, щоб інтерпретувати оточення [4].

Технології відчуття та сприйняття дозволяють роботам уникати перешкод і безпечно взаємодіяти з людьми і товарами. Робот з 3D зором і LIDAR може пройти через перевантажений склад, уникати перешкод і правильно забирати або розставляти товари [5].

Роботи з ШІ можуть використовувати прогнозну аналітику, щоб передбачити зміни попиту та змінити операції. Вони також можуть точно визначити проблеми, які людина може не помітити. Роботи з підтримкою ШІ можуть навчатися на основі даних, оптимізувати маршрути, вирішувати завдання та адаптуватися до складського середовища [4].

Планування маршруту на основі ШІ (AI-driven Path Planning) дозволяє AMR розрахувати найшвидший маршрут, уникаючи заторів на складі, та перебудовувати шлях у разі раптових змін середовища (наприклад, з'явився новий об'єкт на шляху). Роботи аналізують зібрані дані та прогнозують оптимальні маршрути переміщення за допомогою машинного навчання (ML) та глибокого навчання (DL). Алгоритми ШІ дозволяють роботам перевіряти дані, навчатися на досвіді, і робити висновки в реальному часі. Завдяки навчанню з підкріпленням роботи адаптуються до нового середовища.

У таблиці 1 узагальнено, за допомогою яких інструментів AMR із ШІ збирають, обробляють та передають інформацію.

Таблиця 1. Інструменти збору, обробки даних та зв'язку для AMR із ШІ

№	Інструменти	Результат	Як досягається результат
1	Комп'ютерний зір (Computer Vision, CV)	Збір та обробка даних	Використовуються камери та 3D-сканери для розпізнавання товарів, стелажів, працівників. Це дозволяє уникати перешкод і адаптувати рух у динамічному середовищі
2	Лідари (LIDAR) та сенсори	Збір даних	Використовується лазерне сканування для створення карт приміщення. Це допомагає будувати карти навколишнього середовища та визначати перешкоди
3	IoT (Інтернет речей) та хмарні технології	Зв'язок між девайсами	AMR підключаються до систем управління складом (WMS), отримуючи та обробляючи завдання в реальному часі. Дані про переміщення товарів аналізуються для покращення роботи складу
4	Система позиціонування на основі Wi-Fi (Wi-Fi positioning system)	Зв'язок між девайсами	Використовується там, де супутникова навігація, така як GPS, є недостатньою через різні причини, зокрема через багатопроменевість сигналу та його блокування всередині приміщень, або коли отримання супутникового фіксаційного сигналу займає надто багато часу

Джерело: розроблено авторами на підставі [1-6].

ШІ оптимізує роботу AMR за рахунок того, що відбувається:

- навігація без маркерів - традиційні автоматизовані керовані транспортні засоби (AGV) потребують магнітних смуг або треків. AMR із ШІ можуть самостійно будувати маршрути, використовуючи CV та LiDAR;
- оптимізація завдань та маршрутів - ШІ аналізує рух роботів у режимі реального часу, щоб уникати простоїв і конфліктів маршрутів. При великому навантаженні система автоматично перенаправляє AMR для рівномірного розподілу роботи;
- інтелектуальна взаємодія з працівниками - AMR можуть розпізнавати людей та передавати їм вантажі без необхідності ручного керування. Голосове управління та віртуальні асистенти допомагають працівникам взаємодіяти з роботами;
- самонавчання - використовуючи машинне навчання (ML), AMR можуть покращувати навігацію та прогнозувати оптимальні маршрути на основі попередніх поїздок. Якщо робот виявляє постійні перешкоди в певній зоні, він адаптує свої маршрути;
- інтеграція з іншими автоматизованими системами - AMR працюють разом із роботизованими руками (RA), автоматичними сортувальними системами та конвеєрами для повної автоматизації складу. ШІ допомагає синхронізувати всі ці елементи в єдину ефективну систему.

Висновки:

1. AMR із ШІ використовують для машинного навчання (ML) комп'ютерний зір (CV), хмарні технології, інтернет речей (IoT) тощо.
2. Планування траєкторії руху AMR на основі ШІ-алгоритмів гарантує можливість адаптації до динамічних перешкод та реалізацію автоматичного визначення оптимального маршруту переміщення товарів.
3. Застосування AMR із ШІ зменшує ризик людських помилок і оптимізує складські операції. Тому подальші дослідження застосування ШІ для навчання роботів є актуальними.

Література:

1. В.В. Аулін, С.Ю. Тищенко, А.В. Гриньків Інноваційні рішення в складській логістиці. *Центральноукраїнський науковий вісник*. Технічні науки. 2024. Вип. 10(41). С. 270-285.

2. Dhaliwal A. "The rise of automation and robotics in warehouse management." Transforming Management Using Artificial Intelligence Techniques. CRC Press, 2020, 63-72.

3. Sodiya, E. O., et al. "AI-driven warehouse automation: A comprehensive review of systems." GSC Advanced Research and Reviews 18.2 (2024): 272-282.

4. Vamsi, K.Y. Cutting-edge developments in Robotics for Smart Warehousing and Logistics Optimization. Robotics Xplore: USA Automation Digest, 2024, 1 (1), 61-79

5. El Kihel, Y. (2022). Digital Transition Methodology of a Warehouse in the Concept of Sustainable Development with an Industrial Case Study. Sustainability, 14(22), 15282.

6. de Koster, R., 2022. Warehousing 2030. Global Logistics and Supply Chain Strategies for the 2020s: Vital Skills for the Next Generation, 243-260.

ЕЛЕКТРОПРИВОД ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ З ВИСОКОТОЧНИМИ ШВИДКІСНИМИ ПАРАМЕТРАМИ

[1]Сєліверстова С.Р. [2]Фролов О.М. [3]Сєліверстов І.А.
([1]ХДМА, м. Херсон, Україна, [2]НУК ім. адм. Макарова, м. Миколаїв, [3]ХНТУ, м. Херсон, Україна)

У сучасній техніці з електроприводами все більше уваги приділяється електроприводам з більшим діапазоном швидкості обертання та з високою стабільністю цієї швидкості. Наряду з цим, електродвигуни повинні бути довговічними, надійними, мати порівняно малу собівартість виробництва.

Промисловість випускає велику кількість різних видів і типів електродвигунів. Також відома безліч способів регулювання швидкості обертання валу двигунів [1].

Найбільше поширення одержали асинхронні електродвигуни змінного струму, тому що собівартість їхнього виробництва (особливо двигунів з короткозамкненим ротором) одна з найнижчих. Однак, застосовувані способи регулювання швидкості у своїй більшості дозволяють регулювати швидкість обертання східчасто, у той час як у сучасній техніці та пристроях автоматики необхідне регулювання швидкості навіть у частки відсотка.

Синхронні двигуни змінного струму дозволяють підтримувати швидкість обертання навіть при різкій зміні навантаження, але не дозволяють змінювати або задавати цю швидкість, якщо того вимагає технологічний процес. Крім того синхронні двигуни також мають тертьові частини - механічний контакт для передачі струму ротору. Через більш складну конструкцію синхронні двигуни мають одну із самих більших собівартості виробництва.

Колекторні електродвигуни постійного струму задовольняють багатьом вимогам, які поставлені в даній роботі. По-перше, вони можуть працювати в широкому діапазоні швидкості обертання двигуна. По-друге, вони дозволяють використовувати схеми з плавним регулюванням швидкості. Однак, через наявність щітково-колекторного контакту надійність таких двигунів досить мала.

Для побудови електропривода з високою стабільністю швидкості обертання найбільше підходять безколекторні (безконтактні) двигуни постійного струму. Вони мають електронну комутацію струмів у фазах замість щітково-колекторного вузла, а швидкість обертання двигуна визначається величиною струму в котушках фаз. Останнім часом такі двигуни знаходять все більше застосування й у пристроях автоматики та промисловому устаткуванні [2]. Тому розробка безколекторних двигунів і систем керування двигунами має важливе значення для багатьох галузей виробництва.

Метою роботи є розробка електропривода для устаткування у якому можна задати будь-яку швидкість обертання, та у якому при зміні навантаження задана швидкість та момент на валу підтримується з високою точністю і відновлюється в плині одного оберту двигуна.

З метою уникнення наведених недоліків розроблена структурна схема системи керування 4-х фазним безколекторним двигуном постійного струму, блок схема якої наведена на рисунку 1.

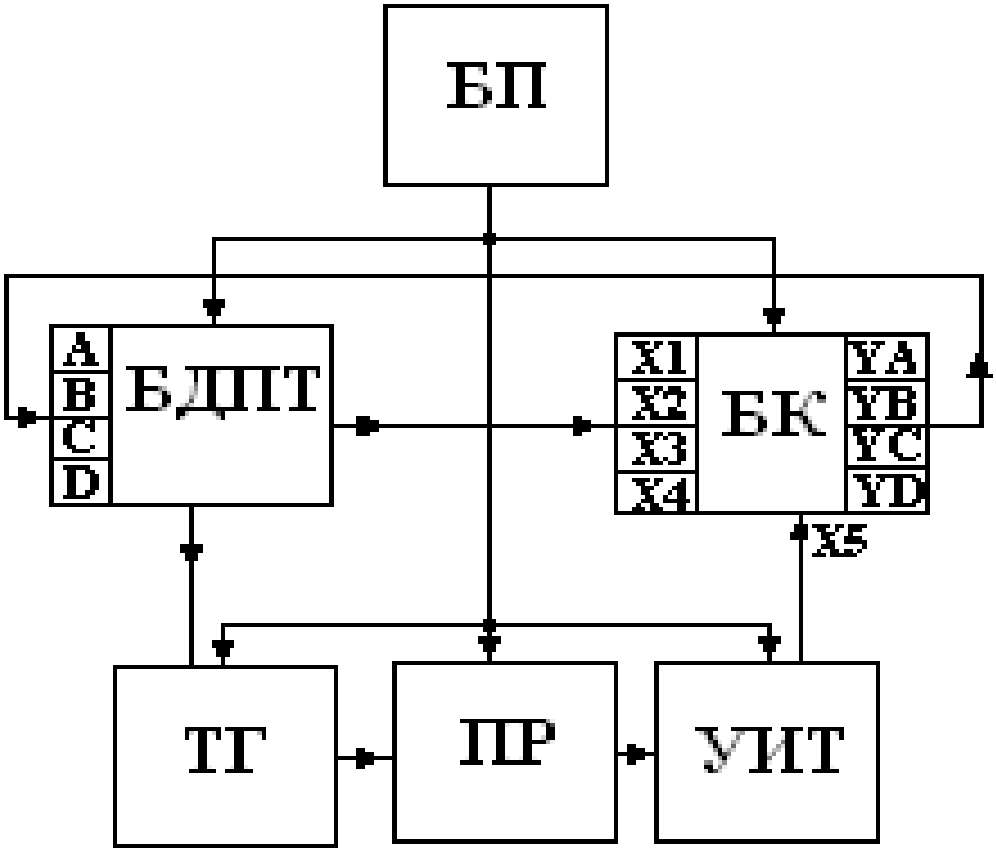


Рис. 1. Структурна схема системи керування 4-х фазним безконтактним двигуном постійного струму: БП - блок живлення; БДПТ- безколекторний двигун постійного струму; БК - блок комутаторів; ТГ- тахогенератор; ПР - перетворювач частота-напруга; УИТ - кероване джерело струму.

Відповідно до структурної схеми система керування безколекторним чотирифазним двигуном (БДПТ) включає блок комутаторів (БК), що по сигналах (X1, X2, X3, X4) датчика положення ротора (ДПР), який перебуває в самому двигуні, по черзі зі своїх виводів (YA, YB, YC, YD) перемикає струм у фазах (A, B, З, D) безконтактного двигуна.

Схема керування чотирифазним безколекторним двигуном живиться від блоку живлення БП. Блок живлення виробляє напругу постійного струму одночасно для живлення обмоток електродвигуна та для живлення всіх блоків схеми керування. Якщо напруга на обмотках двигуна більше (15-24)В, то блок живлення повинен видавати дві постійних напруги: підвищену напругу на обмотки двигуна; більш низьку напругу для схеми керування та живлення датчиків Холла.

Схема керування безколекторним (безконтактним) чотирифазним двигуном постійного струму наведена на рисунку 2.

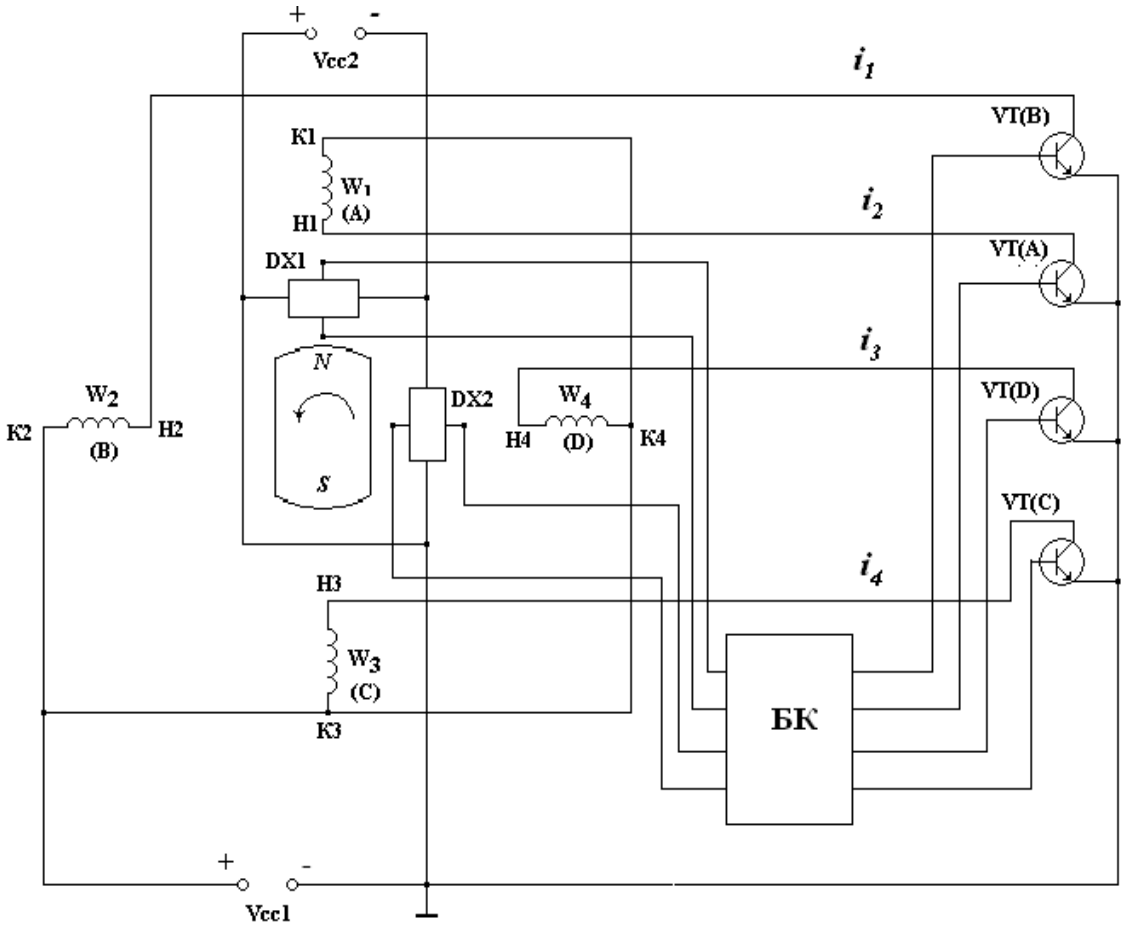


Рис. 2. Схема керування безколекторним (безконтактним) чотирифазним двигуном постійного струму

1. На базі аналізу сучасних електричних двигунів запропоновано конструкцію та відображено принцип дії безконтактного двигуна постійного струму.

2. Розроблено схему керування 4-х фазного безконтактного двигуна постійного струму.

3. Встановлено, що застосування чотирьох фаз дозволяє спростити систему комутації і керування двигуном, тому що в цьому випадку можна використовувати як аналогові, так і досить прості логічні схеми.

4. Показано, що дана розробка дає можливість регулювання швидкості обертання та моменту на валу з високою точністю, їх відновлення та підтримку в плині одного оберту двигуна при різкій зміні навантаження.

Література:

1. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: навч.посібник / [Попович М.Г., Лозинський О.Ю., Клепкіков В.Б. та ін.]; за ред. Поповича М.Г., Лозинського О.Ю.– К, 2005. – 680 с.

2. Кацман М.М. Електричні машини / Кацман М.М. – М.: Вища школа 1990. – 394 с.

ДО ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ВІБРАЦІЙНИХ МЕТОДАХ ОБРОБКИ ВИРОБІВ

Симонюк В.П.
(Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна)

Процеси перемішування робочого середовища в процесі обробки із часом набувають сталої траєкторії руху. Це призводить до створення неоднорідностей руху з наближенням від периферії до центру самого середовища та неоднаковості обробки деталей, що піддаються обробці [1].

Для покращення якості обробки виробів при допомозі вібраційних методів, необхідно уникати усталених процесів у робочому середовищі, тобто, періодично змінювати режими вібрації шляхом зміни швидкості, пришвидшень, амплітуди та частоти коливань або іншими методами, утримуючи дану динамічну систему в постійних перехідних процесах.

Перехідні процеси в технологічних операціях із застосуванням корисних вібрацій характеризуються змінною в часі траєкторією руху постійно рухомої динамічної субстанції яка знаходиться у віброконтейнері. Ця змінна в часі траєкторія руху виникає при переході від одного усталеного режиму роботи до іншого.

Застосування декількох автономних віброприводів значно покращує можливості регулювання перехідними процесами обробки. Координування роботи віброприводів повинен забезпечувати програмований контролер.

Прогнозування та математичне моделювання траєкторії руху середовища є дуже складним процесом [2, 3, 4]. Складності можуть виникнути через те, що:

- динамічна система може бути відома лише приблизно – параметри системи можуть бути невідомі точно або бути відсутніми в рівняннях. Використані наближення ставлять під сумнів вірність чи релевантність чисельних розв'язків. Стійкість динамічної системи означає, що існує клас моделей або початкових умов, для яких траєкторії будуть еквівалентними.

Операції порівнянь траєкторій для встановлення їх еквівалентності різні для різних понять стійкості;

- тип траєкторій може бути важливішим, ніж одна конкретна траєкторія. Деякі траєкторії можуть бути періодичними, тоді як інші можуть блукати через багато різних станів системи. Застосування часто вимагають перерахування цих класів або підтримки системи в межах одного класу;

- поведінка траєкторій як функція від параметра може бути такою, що потрібна для застосування. Оскільки параметр змінюється, динамічні системи можуть мати точки, в яких змінюється якісна поведінка динамічної системи. Наприклад, вона може перейти від лише періодичних рухів до явно непостійної поведінки;

- траєкторії системи можуть здаватися непостійними, ніби випадковими. У цих випадках може достатньо обчислити середні значення, використовуючи одну дуже довгу траєкторію або багато різних траєкторій.

Постійне вивчення та дослідження перехідних процесів вібраційної обробки, їх прогнозування та математичне моделювання позитивно впливають на подальше їх впровадження при обробці виробів, наприклад, із нержавіючих металів та пластмас виготовлених за допомогою 3D друку.

Література:

1. Volodymyr Symoniuk, Viktor Denysiuk, Yurii Lapchenko, Vasilij Strutinsky, Alexandr Permyakov Modeling of Pseudoharmonic Oscillations of Vibration Container with Working Mixture / In: Tonkonogyi V. et al. (eds) Advanced Manufacturing Processes II. InterPartner 2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham (2021). pp. 176-185. https://doi.org/10.1007/978-3-030-68014-5_18 / URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-68014-5_18.

2. Гащук, П. М. Лінійні динамічні системи і звичайні диференціальні рівняння. Львів: Українські технології, 2002. 607 с.

3. Лозинський О. Ю., Лозинський А. О., Марущак Я. Ю. та ін. Синтез лінійних оптимальних динамічних систем: навч. посіб. / Львів: Львівська політехніка, 2016. 392 с.

4. Трохимчук, П. П. Нелінійні динамічні системи. Луцьк: Вежа-Друк, 2015. 275 с.

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ОСЬОВОЇ ПОДАЧІ НА РОЗМІР СТРУЖКИ ПРИ ЗУБОТОЧІННІ МЕТОДОМ «POWER SKIVING»

Сліпчук А.М.
(Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна)

Power Skiving - один з найпродуктивніших методів виготовлення високоточних зубчастих коліс, як зубчастих коліс внутрішнього зачеплення, так і зовнішнього. Однак період стійкості інструменту є одним з факторів, який обмежує широкомасштабне впровадження перспективної технології. Це новий та ефективний метод зуботочіння коліс, особливо для внутрішніх зубчастих коліс. Традиційні процеси виготовлення внутрішніх зубчастих коліс в основному обмежуються формоутворенням зубчастого колеса за допомогою зубодовбання та протягуванням. В останні роки автомобільна промисловість все частіше застосовує його як технологічну операцію у масовому виробництві [1]. Визначальним фактором успішного застосування Power Skiving є дослідження умов роботи інструмента та пошук оптимальних режимів різання ще на етапі створення технологічного процесу, тому встановлення закономірностей впливу різних чинників на стійкість скайвера привертають значну увагу в літературі.

В праці [2] приведено результати експериментального дослідження сили різання для різних режимів роботи обладнання. Ці результати також використано для визначення поправочних коефіцієнтів при розрахунку сили різання в методі Power Skiving на основі питомої сили різання.

Подібне вирішення задачі підбору технологічних параметрів для методу Power Skiving, пропонують автори статті [3], коли порівнюють розрахункові значення геометричних розмірів зрізів і сили різання з експериментально отриманими результатами. Складові сили різання в зуботочінні розраховують на основі коефіцієнтів, які визначають за допомогою натурного дослідження. Проте, недолік подібних методів, полягає в отримані результатів досліджень, які жорстко прив'язані до умов, в яких проводили.

Спільним для більшості статей, про які йшлося вище, є те, що при моделюванні зрізаних шарів та розрахунку їх параметрів допускаються помилок в підході до опису кінематики. Більшість авторів ототожнюють, або приймають кінематику зуботочіння як близьку до черв'ячного зубофрезерування. Це стосується робіт [3-9]. Очевидно, що результати моделювання параметрів процесу Power Skiving в цьому випадку не будуть відповідати реальним величинам.

В технології Power Skiving існує проблема призначення ефективних параметрів режимів різання, до яких належать осьова подача та швидкість різання, глибина різання та кількість проходів, а також кут нахилу інструмента та геометрії різальної кромки зубця скайвера. Щоб підвищити продуктивність виробництва зубчастих коліс таким методом, та уникати постійного експериментального та індивідуального підходу у кожному випадку, при розробленні технологічного процесу, необхідно детально узгодити поєднання

всіх цих чинників, врахувавши можливості верстата за потужністю і жорсткістю, зокрема, інструментального шпинделя, особливо при нарізанні планетарних коліс.

Основні закономірності зрізувальних шарів, розподілу припуску між лезами різальних зубів інструмента та їх участі в формуванні поверхня зубців колеса можна проаналізувати на прикладі нарізання циліндричного зубчастого колеса. Базуючись на розробленій графоаналітичній методиці, отримані результати моделювання недеформованої стружки яка утворюється при нарізанні внутрішнього та зовнішнього зубчастого вінця.

На рис. 1 наведено графік, який характеризує зміну площі поперечного перерізу при різних осьових подачах для однакового положення інструмента при різних подачах. Аналіз отриманих даних показує, що площі поперечного перерізу зрізів на вихідному та вершинному лезі різця майже прямо пропорційно зростає при збільшенні подачі, а для вхідного леза майже не змінюється.

Для забезпечення нормальних умов різання необхідно, щоб радіус заокруглення лез був меншим від товщини зрізу, інакше буде відбуватися зминання припуску, а не різання. Виходячи з цього, з графіка (рис. 2) можна знайти мінімально допустимий радіус округлення лез для таких початкових даних. За критерій мінімального радіуса прийнято середню товщину зрізу. Особливо це стосується вхідної частини різця, де товщина протягом різання майже не змінюється і близька до значення 0,02мм.

Характер зміни товщини стружки, яка утворюється при нарізанні зовнішнього зубчастого вінця є подібною, як і для внутрішнього, але геометричні розміри значно більші. Проте, площі зрізів майже співрозмірні. Це означає, що ширина стружки, яка утворюється при нарізанні зовнішнього зубчастого колеса є пропорційно менша ніж при нарізанні внутрішнього зубчастого колеса.

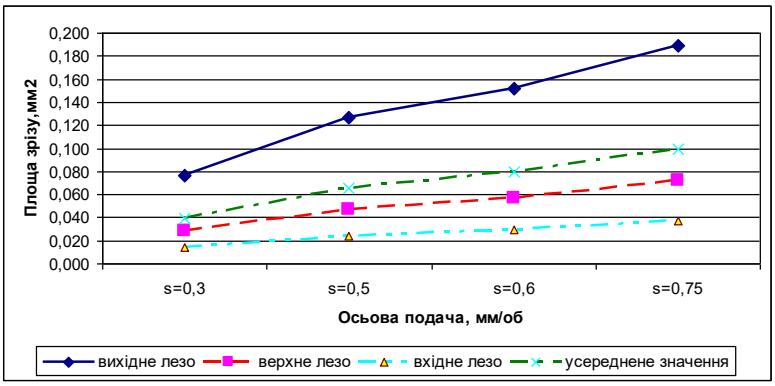


Рис. 1. Зміна товщини поперечного перерізу недеформованої стружки при різних осьових подачах для внутрішнього зубчастого колеса

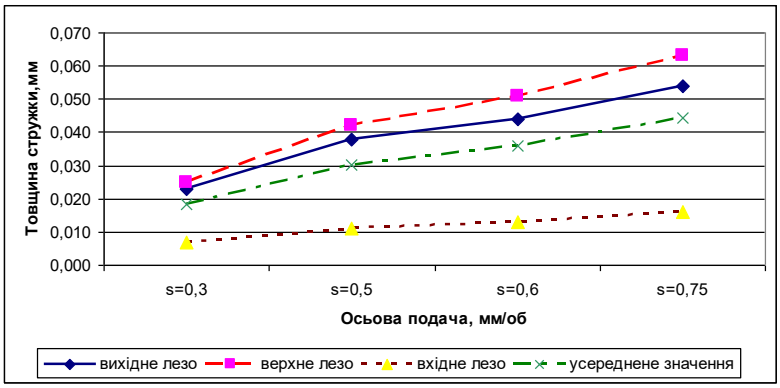


Рис. 2. Зміна площі поперечного перерізу недеформованої стружки при різних осьових подачах для внутрішнього зубчастого колеса

Аналіз отриманих даних показує, що товщина зрізів суттєво залежить від осьової подачі.

- товщина стружки на верхньому лезі зуба скайвера, як правило, найбільша серед інших лез фрези (при однакових умовах роботи інструменту)

- площа поперечного перерізу стружки є найбільшою на вихідному лезі. Це пояснюється тим, що хоча товщина верхнього леза більша, проте довжина значно менша ніж на вихідному лезі.

- вхідне лезо майже не ріже і має як найменшу площу, так і найменшу товщину. Проте, це не означає що воно працює в найкращих умовах. Товщина стружки, яка утворюється від його різу є спів мірна радіусу заокруглення леза, що призводить до ”проковзування” цієї частини зуба інструмента.

- аналізуючи вплив подачі, можна спостерігати закономірне зростання товщини і площі для кожного з лез (особливо для верхнього та вихідного лез).

Література: 1. H. Onozuka, F. Tayama, Y. Huangb, M. Inuib. Cutting force model for power skiving of internal gear. *Journal of Manufacturing Processes*, 56(B):1277-1285, 2020. https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.04.022. **2.** B. Vargas, M. Zapf, J. Klose, F. Zanger, and V. Schulze. Numerical modelling of cutting forces in gear skiving. *Procedia CIRP*, 82:455-460, 2019. https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.04.039. **3**. P. McCloskey, A. Katz, L. Berglind, K. Erkorkmaz, E. Ozturk, and F. Ismail. Chip geometry and cutting forces in gear power skiving. *CIRP Annals*, 68(1):109-112, 2019. https://doi.org/10.1016/j.cirp.2019.04.085. **4**. M. Inuia, Y. Huang, H. Onozuka, and N. Umezu. Geometric simulation of power skiving of internal gear using solid model with triple-dexel representation. *Procedia Manufacturing*, 48:520–527, 2020. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.05.078. **5**. N. Tapoglou. Calculation of non-deformed chip and gear geometry in power skiving using a CAD-based simulation. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 100(5-8):1779-1785, 2019. https://doi.org/10.1007/s00170-018-2790-3. **6.** T. Bergs, A. Georgoussis, and C. Löpenhaus. Development of a numerical simulation method for gear skiving. *Procedia CIRP*, 88:352-357, 2020. https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.05.061. **7**. M. Inuia, Y. Huang, H. Onozuka, N. Umezu. Geometric simulation of power skiving of internal gear using solid model with triple-dexel representation. Procedia Manufacturing, 48:520–527, 2020. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.05.078. **8**. T. Nishikawa, S. Shimada, G. Kobayashi, Z. Ren, and N. Sugita. Using Power Skiving to Increase the Efficiency and Precision of Internal Gear Cutting. *Komatsu Tech. Rep.*, 64:1-7, 2018. **9**. C. Janßen, J. Brimmers, and V. Bergs. Validation of the plane-based penetration calculation for gear skiving. *Procedia CIRP*, 99:220-225, 2021. https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.03.034.

ДРУК ВИРОБІВ ЗІ СПЛАВУ INCONEL718 ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ XBEAM3D

Сонець О.В., Воронцов Б.С.
(НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», м. Київ, Україна)

Наразі існує широкий асортимент матеріалів, які застосовуються для адитивного виробництва у багатьох сферах науки і техніки. Але кожна група сплавів має свої особливі хімічні та фізичні властивості, через які виникають технологічні проблеми.

Найбільш поширені Ni-Cr сплави Inconel625 та Inconel718 використовуються для друку деталей до газотурбінних двигунів та компресорів через їх високі механічні властивості та жароміцність, стійкість до окиснення та ін. [1]. Сплави на основі Co та Cr використовуються для друку деталей у сфері ракетобудування. При друці Inconel718 методами SLM(Selective Laser Melting) та EBM(Electron Beam Melting) виникає проблема, яка затруднює процес отримання оптимальної мікроструктури. Ця проблема являє собою перехід розплаву від рідкої фази до твердої, під час якого утворюються пори, зерна небажаної форми та інші структури, які є недопустимими. Способи вирішення цих недоліків наразі вивчаються[2],[3].

Наукові джерела містять публікації, що стосуються проблем механічної постобробки друкованих деталей. Таким чином стає зрозуміло, що 3-D друк відкриває нові підходи до проектування та виготовлення виробів, але уникнути фінішної механічної обробки в технологічному процесі неможливо.

Для вивчення топології мікроструктури та дослідження впливу мікроструктури на оброблюваність надруковано зразки зі сплаву Inconel718 (рис.1). Ці зразки характерні тим, що їх вперше було надруковано за технологією xBeam3D [4] зі сплаву Inconel718.

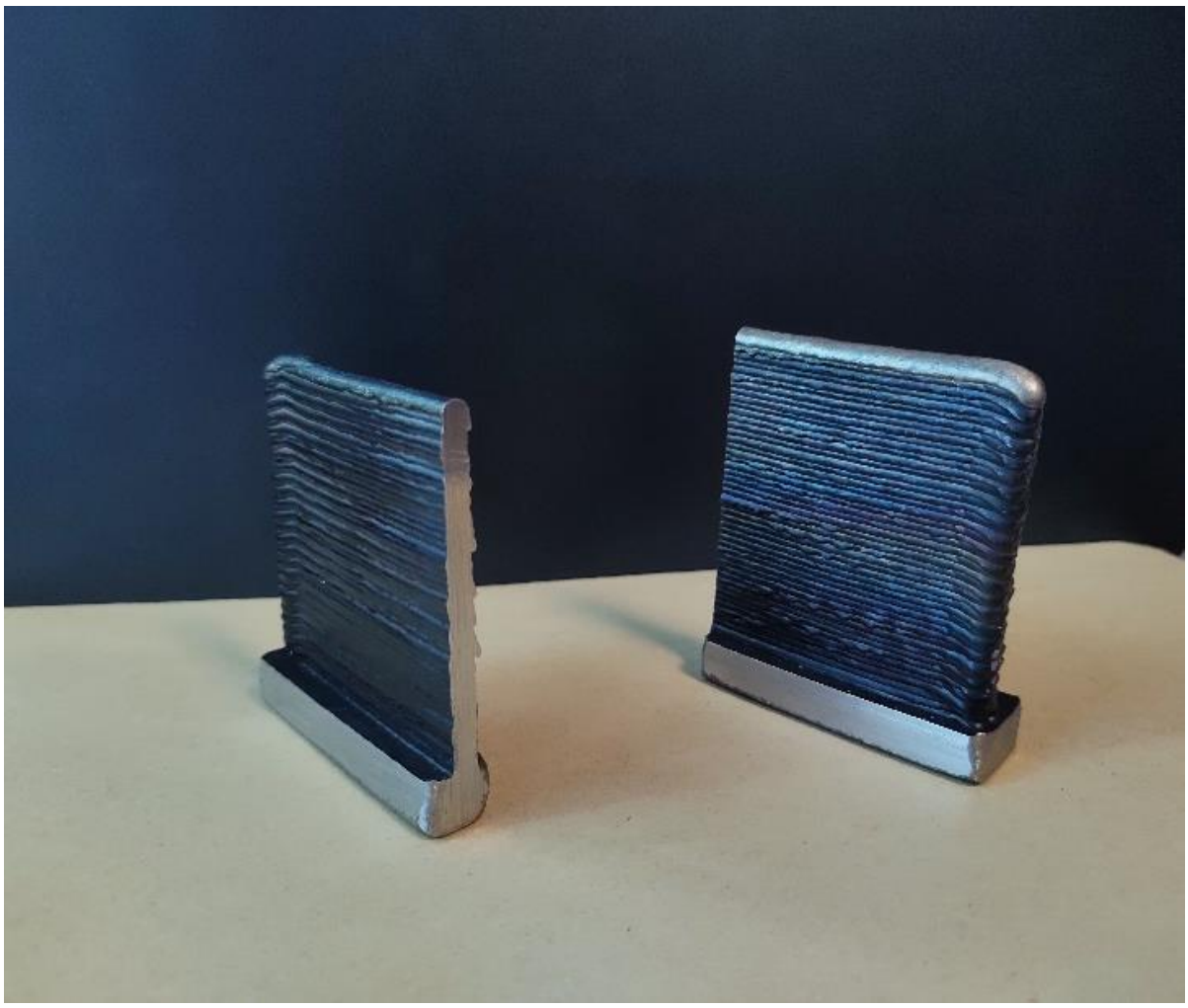


Рис. 1. Дослідні зразки, надруковані за технологією xBeam 3D Metal Printing з дроту Inconel718 діаметром 3мм

Література:

1. Wang, X., Gong, X., & Chou, K. (2017). Review on powder-bed laser additive manufacturing of Inconel 718 parts. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, 231(11), 1890-1903. https://doi.org/10.1177/0954405415619883.

2. Nandwana, P., Elliott, A. M., Siddel, D., Merriman, A., Peter, W. H., & Babu, S. S. (2017). Powder bed binder jet 3D printing of Inconel 718: Densification, microstructural evolution and challenges☆. Current Opinion in Solid State and Materials Science, 21(4), 207-218.

3. Kurdi, A., Aldoshan, A., Alshabouna, F., Alodadi, A., Degnah, A., Alnaser, H., T. Tabbakh, Basak, A. K. (2023). Investigation into the microstructure and hardness of additively manufactured (3D-Printed) Inconel 718 Alloy. Materials, 16(6), 2383.

4. Kovalchuk, D., Melnyk, V., Melnyk, I., & Tugai, B. (2018). Advanced technical and technological solutions for additive manufacturing by xBeam 3D metal printing. Electrotechnica & Electronica (E+ E), 53.

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ: СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ТА ВПЛИВ НА СУСПІЛЬСТВО

[1]Сташкевич І.І., [2]Азаров М.В.
(ДДМА, м. Краматорськ - Тернопіль, Україна)

У сучасному світі інформаційно-комунікаційні технології (ІКТ) стали не лише засобом полегшення комунікації, а й рушієм глибоких трансформацій у всіх сферах людської діяльності. Їх стрімкий розвиток і широке впровадження визначають темпи економічного зростання, змінюють моделі ведення бізнесу, методи управління, формати навчання й взаємодію між громадянами та державою.

Особливої актуальності набуває ця тема в умовах цифрової трансформації, коли традиційні процеси витісняються автоматизованими та алгоритмічними рішеннями. Події останніх років — глобальна пандемія, зростання дистанційної праці, розширення онлайн-освіти та диджиталізація державних послуг — наочно продемонстрували, наскільки залежним стало суспільство від технологій і наскільки необхідною є адаптація до нових цифрових реалій.

Крім того, ІКТ відіграють ключову роль у побудові інформаційного суспільства, де знання, швидкість доступу до інформації та цифрові навички стають визначальними чинниками конкурентоспроможності як окремих осіб, так і держав у цілому. Водночас активне використання ІКТ породжує нові виклики: загрози кібербезпеки, проблема захисту персональних даних, зростання інформаційного шуму та цифрової нерівності.

Отже, дослідження сучасних тенденцій розвитку ІКТ, їхнього впливу на соціальні, економічні та культурні процеси, а також усвідомлення ризиків і переваг цифрового середовища є надзвичайно важливим і актуальним завданням для науки, освіти та практики. Це дозволяє не лише ефективно впроваджувати технології, а й формувати збалансовану інформаційну політику, що відповідає потребам сучасного суспільства.

У XXI столітті інформаційно-комунікаційні технології (ІКТ) стали ключовим чинником трансформації суспільства, бізнесу та освіти. Вони охоплюють широкий спектр цифрових інструментів і процесів, що забезпечують збирання, обробку, зберігання й передавання інформації. ІКТ сприяють формуванню глобального інформаційного простору, який визначає темпи розвитку людства та змінює принципи взаємодії між людьми, організаціями і державами.

ІКТ проникають в усі сфери суспільного життя – від комерційної діяльності до державного управління. Завдяки їм підвищується ефективність виробничих і управлінських процесів, з’являються нові можливості для комунікації, дистанційної роботи, освіти та охорони здоров’я. Зменшуються часові й просторові бар’єри, що дозволяє створювати нові соціальні й економічні зв’язки.

Один із найпомітніших ефектів впливу ІКТ проявляється в галузі освіти. Платформи дистанційного навчання, електронні бібліотеки, віртуальні лабораторії та системи управління освітнім процесом (LMS) стали повсякденним явищем. Освітні технології дозволяють персоналізувати навчання, зробити його більш доступним, гнучким і орієнтованим на практичні навички.

У бізнес-середовищі ІКТ використовуються для автоматизації виробничих процесів, логістики, обслуговування клієнтів, маркетингових кампаній і аналітики. Інструменти штучного інтелекту, CRM-системи, ERP-рішення та хмарні сервіси підвищують ефективність прийняття управлінських рішень, оптимізують витрати та сприяють інноваційності підприємств.

ІКТ значно модернізували взаємодію громадян із державними структурами. Електронні послуги, цифрові підписи, онлайн-декларування, електронні реєстри та портали держпослуг сприяють прозорості, відкритості й доступності влади. Це не лише економить час, але й знижує корупційні ризики та забезпечує зворотний зв’язок із громадянами.

Цифрова комунікація завдяки соціальним мережам, месенджерам і мобільним додаткам стала швидкою, глобальною та інтерактивною. Водночас це породжує нові виклики: зниження рівня конфіденційності, поширення фейкової інформації, кібербулінг, цифрову залежність. Тому важливо формувати культуру відповідального використання інформаційного простору.

Чим ширше використання ІКТ, тим вищі ризики кіберзагроз. Захист персональних даних, конфіденційної інформації, фінансових операцій, державних систем – це новий фронт цифрової безпеки. Необхідно постійно вдосконалювати технології шифрування, системи аутентифікації та реагування на інциденти.

Інтернет речей (IoT), штучний інтелект, машинне навчання, блокчейн і технології великих даних відкривають нові горизонти в управлінні інформацією. Смарт-пристрої автоматизують побут і виробництво, ШІ здатен приймати рішення й надавати рекомендації, а Big Data дозволяє аналізувати поведінку мільйонів користувачів одночасно.

У сучасному світі володіння ІКТ – це базова компетентність. Важливо не лише знати, як користуватися технікою, а й розуміти принципи цифрової безпеки, вміти критично мислити, аналізувати джерела інформації та ефективно комунікувати в цифровому середовищі.

Інформаційно-комунікаційні технології є рушієм цифрової трансформації суспільства. Вони відкривають нові можливості, підвищують ефективність і сприяють інклюзивності. Однак розвиток ІКТ супроводжується і новими ризиками, тому важливо формувати відповідальне цифрове середовище, підвищувати рівень цифрової грамотності населення та забезпечувати належний правовий і етичний супровід цифрових змін.

ОСНОВИ ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМ ОЧИСТКИ МАСТИЛЬНО-ОХОЛОДЖУЮЧИХ РІДИН ВАЛЬЦЕШЛІФУВАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ

Степанов М.С., Іванова М.С., Корнієнко А.С.
(Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна)

Системи очистки мастильно-охолоджуючих рідин (МОР) є обов'язковим елементом технологічного оснащення шліфувальних верстатів. Являючись важливим резервом підвищення ефективності шліфування ці системи можуть забезпечити на основі правильного вибору очисника, групи очисників та схеми очистки потрібні продуктивність процесу різання, якість обробленої поверхні, мінімальні безповоротні втрати МОР.

Розробкою та виробництвом таких систем займається достатньо велика кількість підприємств, організацій та закордонних фірм. Накопичено великий досвід робіт в цьому напрямку. Однак, проєктування систем очистки для вальцешліфувальних верстатів стримується відсутністю методик та рекомендацій по розробці та удосконаленню конструкцій систем очистки, які враховують специфіку процесу шліфування та експлуатації МОР на вище названому обладнанні.

Метою роботи є вивчення існуючого світового досвіду проєктування та застосування систем очистки МОР і визначення основних чинників, що впливають на ефективність роботи систем очистки МОР вальцешліфувальних верстатів для розробки рекомендацій щодо вибору раціональної компоновки.

Обсяги МОР. Для систем очистки МОР вальцешліфувальних верстатів характерні такі ж недоліки, що для групових та централізованих систем очистки. Дуже невисока швидкість руху рідини приводить до її старіння, розвитку мікрофлори, руйнування, скорочення функціонування та скиданню МОР у стічні води. Для зменшення безповоротних втрат МОР в системі повинна знаходитись мінімально потрібна кількість рідини, яка забезпечує нормальну роботу верстата.

Об'єм МОР в деяких системах очистки МОР призначають виходячи з умови 3-хвилинної продуктивності основного насоса подачі МОР (за аналогією з вибором об'єму масла в системах гідроприводів). Такий підхід може мати місце при проєктуванні установок малогабаритних верстатів при шліфуванні заготовок зі швидкістю круга $V_к \leq 30$ м/с, з невеликими глибинами різання та подачами. Ці режимні параметри забезпечують невисоку теплонапруженість процесу обробки. При цьому використовуються насоси з витратою 25 – 45 дм^3/хв, а об'єм МОР складає 75 – 135 дм^3.

Відомо, що витрату МОР в зону шліфування можна визначити зі співвідношення

$$Q = (6 \div 10) \cdot N_п \quad дм^3/хв, \qquad (1)$$

де $N_п$ – потужність привода шліфувального круга, кВт.

Якщо врахувати, що потужність приводу шліфувального круга верстатів «WALDRICH SIEGEN», 3М198 та ХШ5-36 складає відповідно 22; 30 та 45 кВт,

то користуючись вище наведеним співвідношенням можна визначити, що витрата МОР у зону різання від 132; 180 та 270 до 220; 300 та 450 дм^3/хв. На практиці при шліфуванні валків в такій кількості (особливо останнє значення) МОР рідко коли подається.

Деякі методики передбачають, що системи очистки МОР, до складу яких входять гравітаційні очисники, барабанні магнітні сепаратори, фільтри-транспортери повинні мати обсяг МОР, який складає 5–15-хвилинну продуктивність насосу, що подає рідину у зону різання. Тоді прості підрахунки показують, що об'єм МОР буде знаходитися в межах від 660 до 6750 дм^3. Розкид дуже великий та складає 10 разів. Тому при визначенні обсягу МОР, що використовується, треба враховувати ще ряд умов, на кшталт: для яких верстатів проєктується система очистки (верстати для шліфування валків холодної або гарячої прокатки); режимні параметри обробки; вимоги до параметрів якості поверхні валка та ін.

Резервуари. При виборі форми резервуарів слід враховувати наступне. Якщо до якості поверхні валків пред'являються високі вимоги, то тоді резервуар повинен виконувати роль відстійника, який сприяє підвищенню ефективності очистки. В цьому випадку резервуари повинні являти собою паралелепіпед, що часто має місто в індивідуальних системах очистки. Для усунення процесу накопичення шламу та замулювання приймальні ємності повинні буди виконані з мінімальним об'ємом. Якщо ж висуваються вимоги до зменшення витрат пов'язаних з експлуатацією МОР (а саме, витрати часу на очищення установок від відходів обробки та заміну МОР, яка відпрацювала свій термін), то дно резервуарів виконується у вигляді піраміди або конуса, у вершині яких встановлено всмоктувальний патрубок насоса. Таке виконання запобігає осадженню шламу в резервуарах. Крім того, через невеликі висоти зливу МОР з верстату часто використовують резервуари з плоским днищем.

Установка очистки МОР вальцешліфувального верстата може розташовуватися на різних рівнях і в різних приміщеннях: приймальний відсік – у приямку поряд з верстатом; в касетний патроний магнітний сепаратор – на полу у сусідньому приміщенні.

Насосне обладнання. Насоси для установок очистки МОР вибирають з умови забезпечення необхідної продуктивності, тиску та ресурсу, який визначається зносостійкістю деталей. Продуктивність та тиск визначають виходячи з кількості, характеристик очисників, супротиву, що створюється очисниками, та супротиву в трубопроводах, конструктивні розміри яких, в системах очищення МОР вальцешліфувальних верстатів (враховуючи їхні габарити) значно перевищують розміри універсальних круглошліфувальних верстатів.

Загальний напір в установці можна визначити, як суму супротивів

$$H_{\sum} = h_{вс} + h_{н} + h_{у} + h_{о}, \qquad (2)$$

де $h_{вс}$ та $h_{н}$ – супротив у всмоктувальних та нагнітальних трубопроводах, відповідно; $h_{у}$ – супротив в апаратурі керування; $h_{о}$ – супротив очисників.

Знаючи $H_{\sum}$ і необхідну витрату МОР, можна аналізуючи характеристики насоса визначити діаметр робочого колеса та споживану потужність, причому при виборі насосу рекомендують передбачати резерв потужності у 20 – 30%.

В системах, які мають велику кількість елементів (насосів, ємностей, очисників, апаратів керування, клапанів та ін.) точно визначити тиск та витрату МОР важко тому слід передбачити можливість регулювання потоків. Для цього можна використовувати дросельне, циркуляційне та інші способи регулювання. Слід установки проєктувати таким чином, щоб в максимальній ступені уникати дросельного регулювання, так як в цьому випадку деталі насосів зазнають найбільші навантаження та знос від забрудненої МОР. Крім того при цьому створюється велика кількість тепла, яке приводить до підвищення температури. До того ж, слід створювати умови для роботи насосного обладнання на попередньо очищеній рідині. В останній час розроблено нові конструкції насосів, які в меншій ступені сприяють нагріву МОР.

Очисники. При виборі очисника слід враховувати, що якість очистки зростає за рахунок використання очисників з більш високою продуктивністю (пропускною здатністю) ніж потрібно. При цьому зменшується швидкість течії МОР та збільшується час знаходження МОР в очиснику. Однак це не завжди так. В установках, у склад яких входять гідроциклони, продуктивність можна підвищити або збільшенням кількості гідроциклонів, що поєднанні паралельно між собою, або збільшенням їхнього діаметру. Збільшення діаметру призводить до погіршення тонкості очистки.

Підвищення якості очистки може бути забезпечено також шляхом збільшення числа циклів об’ємів МОР до моменту потрапляння її до верстата. Це може бути досягнуто в тому числі за рахунок зменшення об’єму МОР, яка використовується, та збільшення продуктивності (вище потрібної) системи.

Виникає технічне протиріччя. З одного боку, збільшується якість очистки МОР, а з другого – збільшується температура МОР за рахунок часу перебування одного й того ж об’єму рідини в елементах системи, які сприяють нагріву (насосах, гідроциклонах, центрифугах та ін.). Крім того, менший об’єм МОР швидше нагрівається за рахунок тепла, що поступає до рідини з зони різання.

Забрудненість МОР можна зменшити за рахунок її очищення в період підготовчо-заключного часу (пропускати МОР через очисники). Однак, при шліфуванні валків підготовчо-заключний час не такий великий (у порівнянні з машинним часом), як при шліфуванні партії заготовок відносно невеликих розмірів. Концентрацію домішок можна також знизити за рахунок функціонування системи, коли процес обробки відсутній, а саме під час обідньої перерви та перед початком та після закінчення зміни.

Таким чином, компонувальні схеми систем очистки МОР вальцешліфувальних верстатів багато в чому визначаються об’ємами використовуваної МОР, параметрами очищення, які повинні бути забезпечені, та використовуваними очистниками, для отримання потрібної точності, шорсткості та якості поверхневого шару валків при максимальній продуктивності обробки.

МЕХАНІЧНА ОБРОБКА ДЕТАЛЕЙ МАШИН ЗМІЦНЕНИХ КОМПЛЕКСНИМ МЕТОДОМ

Стецько А.Є.
(Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна)

Сучасні машини і механізми працюють при високих швидкостях і питомих тисках. Після вичерпання свого ресурсу постає питання про їхнє відновлення. Оптимальним вирішенням є створення відновлених поверхонь, які за своїми характеристиками були б не лише не гіршими за нові, але й переважали його. Такі умови висувають високі вимоги до фізико-механічних характеристик відновлених поверхонь спряжених деталей.

Для відновлення поверхонь деталей машин запропоновано комплексний метод хімічного оброблення і дифузійного хромування [1], [2], [3]. При реалізації режимів відновлення на зношеній поверхні деталі утворюється відновлений шар, зовнішня зона якого є композитна (карбіди хрому в матриці α-Fe).

Обробленню зміцнених шарів на відновлених деталях машин слід надавати особливу увагу. Від геометричних характеристик оброблюваних поверхонь, а також їхніх фізико-механічних характеристик (внутрішні мікронапруження, енергетичний стан шару та інших факторів), залежатиме працездатність деталей.

Аналіз останніх досліджень. Технологічне забезпечення експлуатаційних характеристик деталей машин тісно пов’язана із забезпеченням параметрів стану поверхневого шару, що визначають їхні експлуатаційні характеристики [3].

Для цього необхідно розглянути теоретичні аспекти взаємозв’язку параметрів стану поверхневого шару деталей із умовами їхнього оброблення, які визначають експлуатаційні властивості.

Аналіз результатів досліджень із формування висоти профілю шорсткості при різних методах обробки [5], [6], [7], [8], [9], [10] дозволяє зробити висновок, що на утворення шорсткості при усіх методах механічної обробки впливають такі фактори: геометрія робочої поверхні інструмента та кінематика його робочого руху; коливальні переміщення інструмента відносно оброблювальної поверхні; пружні та пластичні деформації оброблювального матеріалу в зоні контакту з робочим інструментом; шорсткість робочої частини інструмента; вириви частин оброблювального матеріалу.

При виборі технологічних умов обробки відновленого шару, отриманого методом хімічного оброблення і дифузійного хромування слід враховувати його морфологію і фізико-механічнічні властивості, що не розглядалися у вищезазначених роботах.

Мета досліджень. Дослідити вплив режимів різання на шорсткість поверхневого шару відновленого комплексним методом хімічного оброблення і дифузійного хромування.

Виклад основного матеріалу. Мінімальна шорсткість лезової механічної обробки відновленої поверхні деталей машин комплексним методом хімічного оброблення і дифузійного хромування забезпечується при подачі – S = 0,065

мм/об. і менше, глибині різання – t = 0,05 мм та обертах шпинделя не нижче 1000 хв-1. При цьому слід забезпечувати радіус вершини різця в межах 0,2…0,4 мм. При даних умовах забезпечується шорсткість поверхні не вище Rz = 10 мкм, або Ra ≤ 2 мкм.

Одним з найважливіших показників при обробленні різанням є глибина різання. Вона певним чином впливає на всі вихідні характеристики процесу обробки – сили різання, температуру в зоні різання, інтенсивність зношування інструменту, стан обробленої поверхні. Для випадку обробки композиційних зміцнених шарів вплив глибини різання буде не таким превалюючим. Це пов'язано з морфологією зміцнених шарів, які не дозволяють проводити обробку з товщинами, більшими, ніж 0,05-0,1 мм.

Основне завдання композитної зони отриманої після комплексного методу хімічної обробки і дифузійного хромування відновлення поверхонь деталей машин – забезпечити добрі умови роботи пари тертя в жорстких умовах реверсивного руху.

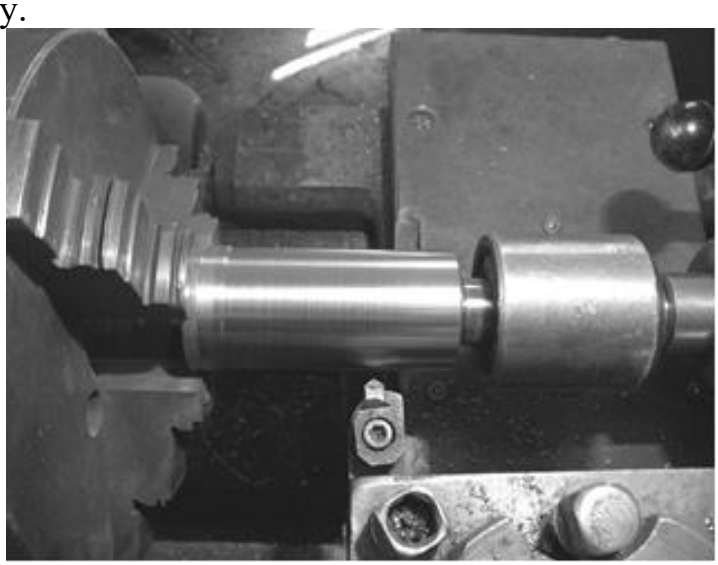


Рис. 1. Обробка поверхонь деталей, відновлених комплексним методом хімічної обробки і дифузійного хромування зразків на токарно-гвинторізному верстаті мод. 1А616П

Для підтвердження отриманих теоретичних залежностей з визначення шорсткості обробленої поверхні нами були проведені експериментальні дослідження впливу технологічних параметрів процесу на формування параметра Rz. Обробка поверхонь відновленого зразка (сталь 45), після хімічного оброблення і дифузійного хромування, за режимами (T = 1050°C., τ = 7 год.) із використанням ізотермічної витримки (T = 800°C., τ = 1 год.) проводилася на токарно-гвинторізному верстаті мод. 1А616П (рис. 1) із керуванням обертів шпинделя електромагнітними муфтами.

Оптимальними є режими обробки: n = 1200 – 1400 хв-1., тобто швидкість різання складає V=140 – 200 м/хв.

Як різальний інструмент, враховуючи високу твердість шару отриманого після відновлення, при обробленні застосовували прохідний різець із надтвердого матеріалу (кубічний нітрид бору) композит 10.

Для досягнення необхідної шорсткості оброблених поверхонь, як показали експериментальні дослідження слід застосовувати верстати, які мають такі параметри: жорсткість токарних верстатів повинна бути не меншою за 22 кН/мм, а розточувальних – 14,5 кН/мм; амплітуда коливань верстату не повинна перевищувати 5 мкм, а радіальне і осьове биття шпинделя не повинно бути більшим 5-8 мкм для токарних і 3-5 мкм – для розточувальних верстатів. Цим вимогам відповідають більшість верстатів, в тому числі універсальні.

Висновки:

1. Теоретично досліджено вплив технологічних параметрів процесу обробки на шорсткість обробленої поверхні. Встановлено, що найбільший вплив на остаточну шорсткість обробленої поверхні має геометричні параметри інструмента та кінематика його переміщення.

2. Обґрунтовано вибір верстатів для механічної обробки відновленої поверхні. Жорсткість токарних верстатів повинна бути не меншою за 22 кН/мм, а розточувальних – 14,5 кН/мм. Амплітуда коливань верстату не повинна перевищувати 5 мкм, а радіальне і осьове биття шпинделя не повинно бути більшим 5-8 мкм для токарних і 3-5 мкм – для розточувальних верстатів.

3. На основі експериментальних досліджень, встановлені оптимальні режими механічної обробки при яких забезпечується шорсткість обробленої поверхні в межах Rz = 8…10 мкм, що є прийнятними для більшості пар тертя.

Література:

1. Стецько А. Є. Технологічне забезпечення ресурсу роботи виготовлених і відновлених деталей: монографія. – Львів: Видавнича компанія «АРС», 2013. – 240 с. **2.** Stetsko A.E., Stetsko Y.T. (2020) Formation of Composite Reinforced Coating by Chemical Deposition and Chemical-Thermal Treatment of Boron and Carbon. In: Pogrebnjak A., Bondar O. (eds) Microstructure and Properties of Micro- and Nanoscale Materials, Films, and Coatings (NAP 2019). Springer Proceedings in Physics, vol 240. Springer, Singapore, pp 261–270. – DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-15-1742-6_24. **3.** Stetsko A.E., Stetsko Y.T. (2021) The Influence of Carbon, Carbon, and Boron on the Formation of Diffusion Nanocomposite Hardened Layers on the Surfaces of Steel Parts. In: Fesenko O., Yatsenko L. (eds) Nanomaterials and Nanocomposites, Nanostructure Surfaces, and Their Applications. Springer Proceedings in Physics, vol 246. Springer, Cham. pp 699-708. https://doi.org/10.1007/978-3-030-51905-6_47. **4.** Krol O., Sokolov V., Tsankov P. Modeling of vertical spindle head for machining center. Journal of Physics: Conference Series. 2020, No. 1553. 012012. – VSPID2019. http://doi.org/10.1088/1742-6596/1553/1/012012. **5.** Mitsyk A.V., Fedorovich V.A., Grabchenko A.I. Main technological factors determining the efficiency and quality of the vibration process. Cutting & Tools in Technological System. Kharkiv, NTU "KhPI", 2022. № 96. С. 131 – 137. DOI: https://doi.org/10.20998/2078-7405.2022.96.14. **6.** Сичевський В.С .Аналіз методів контролю шорсткості поверхні деталей [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://ela.kpi.ua›handle. **7.** Альховик О.В. Сучасні методи та засоби контролю мікрогеометричних пара- метрів поверхонь деталей і виробів. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. Том 32(71) С. 30–34. **8.** Будяк Р.В., Посвятенко Е.К., Аксьом П.А. Основні напрямки поліпшення оброблюваності деталей із аустенітних сталей //Вісник національного транспортного університету №1 (34) 2016. – Київ, 2016. – С.370-377. **9.** Сивак Р.І., Сердюк О.В., Сивак І.О., Сухоруков С.І. Оцінка пластичності поверхневого шару металу при немонотонному навантаженні / Наукові нотатки. – Випуск 54. – Луцьк, 2016. – С.277-281 (науково-метрична база РИНЦ). **10.** Любін М.В., Токарчук О.А. Вплив хіміко-термічної обробки інструменту на процес виготовлення метричних різей у важкооброблюваних сталях / Вібрації в техніці та технологіях. 2018. – № 1 (92). – С. 48–55.

ФОРМУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ ФУНКЦІОНАЛЬНО-ОРІЄНТОВАНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОБРОБЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ З ВАЖКООБРОБЛЮВАНИХ МАТЕРІАЛІВ

Ступницький В.В., Оленюк Т.Я.
(Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна)

Системний підхід до технологічного забезпечення працездатності деталей базується, з одного боку, на оцінці показників якості деталей, що характеризують їх геометричну форму, мікротопологію поверхневого шару та його фізико-механічні властивості (в т.ч. залишкові) залежно від технологічних чинників і, з іншого боку, на прогнозуванні експлуатаційних властивостей (зносостійкості, контактної жорсткості, корозійної стійкості тощо) деталей залежно від їх показників якості. Очевидно, що забезпечення лише окремих локальних показників якості виробів не гарантуватиме оптимальні експлуатаційні властивості виробу в цілому, натомість необхідно проектувати функціонально-орієнтований технологічний процес, що базується на аналізі сукупності взаємопов'язаних експлуатаційних показників виробу.

В сучасному машинобудуванні особливу складність представляє виготовлення різних деталей штампів і пресформ та ін. Це обумовлено їх високою точністю, низькою шорсткістю функціональних поверхонь, значними температурними флуктаціями в процесі експлуатації (до 500-700°С), складним матеріалом цих деталей з точки зору його оброблюваності, високою частотою та інтенсивністю циклічних та знакозмінних навантажень тощо. Особливу увагу при експлуатації прес-форм приділяють виштовхувачам. Відповідно до наведеної в статистики відмов функціональних деталей та вузлів прес-форм, на систему виштовхування припадає 25-30% всіх збоїв при роботі та поломок цих виробів.

Розглянемо реалізацію 2-х варіантів маршруту оброблення найбільш точних циліндричних поверхонь виштовхувачів на викінчувальній операції.

1-й варіант. Викінчувальне шліфування абразивним кругом.

2-й варіант. Тонке точіння лезовим інструментом з синтетичним полікристалічним алмазом - карбонадо (в якості приклада запропоновано використання PCD універсальної марки CTM302 компанії ElementSix).

Для визначення основних критеріїв ефективності функціонально-орієнтованого технологічного процесу оброблення вищенаведених виштовхувачів прес-форми, необхідно проаналізувати механізми формування параметрів зносостійкості, втомної міцності, корозійної стійкості тощо. Для цього в CAF-системі побудуємо імітаційну реологічну модель формоутворення основних функціональних поверхонь виштовхувачів та визначимо показники напружено-деформованого стану (в т.ч. залишкові), параметри мікротопології поверхні та його структурно-фазового стану в результаті різання. Результати експериментальних та аналітичних досліджень наведені в таблиці 1.

Розрахунок ненормалізованих локальних критеріїв оптимізації за кваліметричними показниками для фінішного токарного оброблення функціональної поверхні виштовхувача прес-форми інструментом з синтетичним полікристалічним алмазом СТМ302 (режими різання: S=0,05 мм; t=0,12 мм; V=50,2 м/хв) становить для даного прикладу за відносними показниками зносостійкості Q1 = 0,28; за коефіцієнтом запасу втомної міцності Q2 = 0,30; за параметром триботехнічної якості спряжень Q3 = 0,10; за параметром корозійної стійкості Q4 = -0,14; за коефіцієнтом запасу рідинного трибоконтакту Q5 = -0,17. Остаточно узагальнений критерій оптимізації, що визначається за методикою, дорівнює $F_1 = 0,383$.

Оскільки в даному прикладі порівнювались лише 2 варіанти технологічного процеса, узагальнений критерій оптимізації для випадку шліфування функціональної поверхні виштовхувача прес-форми алмазним кругом АСВ 125/100 М5-2 (режими різання Vк= 31 м/с, t = 0,01 мм, Sn= 6 м/хв), становитиме відповідно $F_2 = -0,383$.

Таким чином, варіант фінішного токарного оброблення функціональної поверхні виштовхувача прес-форми інструментом з синтетичним полікристалічним алмазом СТМ302 у порівнянні з шліфуванням алмазним кругом АСВ 125/100 М5-2 є більш оптимальним за інтегральним кваліметричним показником, що системно характеризує зносостійкість, втомну міцність, триботехнічну якість спряжень, корозійну стійкість та параметр забезпечення несучої здатності мастильного шару і отримується як результат формування в процесі формоутворення мікротопології поверхневого шару, залишкових напружень і деформацій.

Табл. 1 Порівняльна таблиця результатів аналітичних та експериментальних досліджень фінішного оброблення виштовхувача прес-форми (матеріал заготовки - сталь 3Х2В8Ф)

		Результати аналітичних досліджень в системі Deform2D	Середньостатистичні результати експериментальних та виробничих досліджень	
Параметри		Фінішне токарне оброблення інструментом з синтетичним полікристалічним алмазом СТМ302 (режими різання: S=0,05 мм; t=0,12 мм; V=50,2 м/хв)		Шліфування алмазним кругом АСВ 125/100 М5-2 (режими різання $V_к$= 31 м/с, t = 0,01 мм, S_n= 6 м/хв)
Параметри мікротопології поверхні	Ra, мкм	1,125	1,29	1,22
	Δ_1, мкм	0,625	-	
	Δ_2, мкм	0,39		
	Δ_3, мкм	0,13		
	Rpk, мкм	0,30	0,28	0,43
	Rk, мкм	0,75	0,84	0,61
	Rvk, мкм	0,12	0,17	0,18
	Rmax	-	2,0	2,2
	r	-	35	20
	b	-	2,0	1,29
	ν	-	1,7	1,9
	$\Delta = \frac{R\max}{rb^{1/\nu}}$	-	0,024	0,096
Залишкові напруження	$\pm\sigma_{зал_1}$, МПа[1]	+170	-	
	$\pm\sigma_{зал_2}$, МПа	-5		
	$\pm\sigma_{зал_\Sigma}$, МПа	+165	+143	-130
Залишкові деформації	Глибина наклепу $h_з$, мм	0,12	-	-

АНАЛІЗ СПОСОБІВ ВИЯВЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ ПРИ ЗНАЧНИХ ЗА ІНТЕНСИВНІСТЮ ПЕРЕШКОДАХ

Суботін О.В., Петрухін Я.І., Новіков Д.С.
(ДДМА, м. Краматорськ - Тернопіль, Україна)

Проведені дослідження показали, що інформаційно-вимірювальні системи (ІВС) контролю параметрів технологічного об'єкту управління вимагають значного асортименту вимірювальних перетворювачів різного функціонального призначення, здатних надійно працювати у специфічних умовах виробництва [1,2]. Класифікація різновидів дестабілізуючих факторів наведена рис. 1.

Рис.1. Різновиди дестабілізуючих факторів

До основних завад індустріального походження відносяться:

- оптичні перешкоди за рахунок вогневого тепловикористання та фонового засвічення;
- ущільнення середовища поширення оптичного інформаційного сигналу аерозолями, димом, водяними парами, газами, низькотемпературною плазмою, турбулентними скупченнями;
- наявність агресивної емульсії, мастил, водяних та кислотних бризок, що впливають на зниження опору ізоляції кабелів;
- електромагнітні поля від силових кабелів та комутаційної апаратури;
- заливання оптики вимірювальних перетворювачів емульсією, олією, водою та засипання металевим пилом та окалиною;

- вібрації та механічні удари (при ремонтних роботах, при транспортуванні важких злитків та рулонів сталі в зоні прокатки), удари смугою (при заправці металів у валки), що призводять до втрати точності або виходу з ладу вимірювальної апаратури;

- значні перепади температур у літню та зимову пору року (від –10 до +40 градусів).

Зменшити інтенсивність завад індустріального походження практично неможливо. Збільшення співвідношення сигнал-перешкода підвищенням потужності сигналу економічно недоцільно, так як джерело оптичного випромінювання повинен мати потужність, що не перевищує типову для оптоелектронних пристроїв величину [3].

Певний інтерес представляє питання пошуку спеціальних сигналів, що мають високу стійкість до перешкод при їх передачі, а також удосконалення і розробка принципово нових структур приймальних пристроїв, що дозволяють виявляти інформаційні сигнали при значних за інтенсивністю перешкодах [4].

Застосування аналогових інформаційних сигналів у вимірювальних перетворювачах ускладнено наявністю переважно безперервних збурюючих впливів, що обумовлено специфікою металургійного виробництва.

При застосуванні одиночних імпульсів, енергія переданих сигналів еквівалентна, а в деяких випадках значно менше енергетичних характеристик середи їхнього розповсюдження.

Отже, при роботі таких пристроїв в екстремальних умовах виробництва значно підвищується ймовірність появи помилок I-го і II-го роду – помилкової тривоги $P_{п.т.}$ (1) і пропуску сигналу $P_{пр.}$ (2) відповідно [1].

$$P_{n.m.}(S) = P_S(0) = p[\sum \xi_i > X_п]; \quad (1)$$
$$P_{пр.}(S) = P_0(S) = p[\sum S + \xi_i < X_п], \quad (2)$$

де ξ – діючі перешкоди, $X_п$ – граничний сигнал обмеження.

Поява цих помилок обумовлена низькою перешкодозахищеністю вимірювальних перетворювачів і, як наслідок, низькою достовірністю одержуваної первинної інформації в різних режимах роботи - на просвіт та при оптичній локації.

При роботі перетворювача в якості оптичного локатора додатково треба врахувати коефіцієнт поглинання поверхі об’єкту, що контролюється.

На приклад, у роботі прокатного устаткування це обумовлює виникнення аварійних ситуацій, що призводять до значних матеріальних втрат. Таким чином, підвищення достовірності контролю є найважливішою виробничою задачею. З іншого боку, велика кількість датчиків на об'єкті визначає підвищені вимоги до швидкодії інформаційної системи, тому що ефективність системи управління прокатного стана визначається швидкісними і якісними показниками використаних первинних перетворювачів [5].

Доведено, що найбільше прийнятним засобом контролю параметрів об'єктів є фотоелектричний, що забезпечує необхідну перешкодозахищеність,

достовірність контролю і точність виміру. Зазначений засіб реалізується у ФЕВП. Контроль наявності об'єктів заснований на виявленні бінарного оптичного сигналу, причому формування сигналів про контроль здійснюється самим контрольованим об'єктом як при роботі на просвіт, так і при оптичній локації.

Проте, існуючі фотоелектричні перетворювачі аналогового й імпульсного типу при роботі в екстремальних умовах металургійного виробництва у значній мірі схильні до дії оптичних і електромагнітних перешкод, що призводять до перекручування інформаційного сигналу.

Виявлено, що контроль об'єктів при використанні оптичної локації на основі синхронного накопичення «пачки» імпульсів більш ніж на порядок підвищує співвідношення сигнал-перешкода, що підвищує достовірність вимірювальної інформації. Водночас, велика кількість інформаційних імпульсів у «пачці» (кілька сотень) значно знижує швидкодію системи контролю.

Таким чином, застосування інформаційного оптичного сигналу, що задовольняє певним енергетичним вимогам, умовам швидкодії і перешкодозахищеності, з використанням кодування інформації дозволяє значно підвищити завадостійкість первинного перетворювача. Завадостійкі фотоелектричні перетворювачі звичайно працюють при активному засобі контролю, із спеціальними випромінювачами, що створюють оптичний сигнал із властивостями, що істотно відрізняються від властивостей оптичних перешкод.

Проведений аналіз дозволив визначити основні тенденції розвитку інформаційно-вимірювальних систем контролю технологічних параметрів металургійного виробництва, сформулювати напрямок дослідження, а також запропонувати нові підходи до підвищення швидкодії контролю і достовірності одержуваної первинної інформації.

Література:

1. Суботін О.В. Підвищення достовірності контролю технологічних параметрів і швидкодії інформаційно-вимірювальних систем прокатних станів: дис. на здобуття науко-вого ступеня канд. техн. наук: 05.11.16. Донецьк, 2000. 216 с.;

2. Суботін О.В., Петрухін Я.І., Сергієнко В.Ю. Особливості керування промисловим обладнанням бездротовим способом на фоні виробничих завад // International scientific conference “MININGMETALTECH 2024 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education”: conference proceedings (November 28–29, 2024. Riga, the Republic of Latvia). Riga, Latvia : “Baltija Publishing”, 2024. Vol. 2. Pp. 92 - 95. DOI https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-146.;

3. Subotin O., Rudenko V., Cherniavskyi A., Kovalenko A., Dobriak S. Photoelectric measuring transducers in environmental and objects monitoring systems In book: Teaching and subjects on bio-medical engineering. Approaches and experiences from the BIOART-project. Leuven, 2021, pp. 64-85. ISBN 978-94-641-4245-7.;

4. Суботін О.В. Розробка ряду модульних структур вимірювальних перетворювачів фотоелектричного типу // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. Вип. №42. Краматорськ: ДДМА, 2018. С. 80-86.;

5. Суботін О.В. Інформаційне забезпечення систем управління прокатних станів // International scientific conference “MININGMETALTECH 2023 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education”: conference proceedings (November 29–30, 2023. Riga, the Republic of Latvia). Riga, Latvia : “Baltija Publishing”, 2023. Vol. 2. Pp. 68 - 71.

АНАЛІЗ КАНАЛУ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ОПТИЧНОГО СИГНАЛУ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ ПЕРВИННИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОГО ТИПУ

Суботін О.В., Сус С.П.
(ДДМА, м. Краматорськ - Тернопіль, Україна)

Дослідження особливостей каналу розповсюдження оптичного сигналу (КРОС) при використанні первинних перетворювачів фотоелектричного типу (ФЕВП), що передають в інформацію в інформаційно-вимірювальну систему (ІВС) про наявність та положення об'єктів контроля на фоні екстремальних умов промислового виробництва, є актуальною задачею [1].

Результати досліджень доводять, що КРОС характеризується сильною різнорідністю складових компонентів, які визначають втрати енергії оптичного випромінювання в каналі. При цьому втрати в елементах ФЕВП є незначними за величиною в порівнянні із втратами у зовнішньому середовищі.

Тому доцільно навести результати дослідження втрат енергії (ослаблення оптичного сигналу – $К_{о.с.}$) лише у КРОС, різновиди якого відображені у табл. 1 та детально вивчені у роботах [2,3].

Таблиця 1. Різновиди середи розповсюдження та відповідний коефіцієнт ослаблення оптичного сигналу (Ко.с.)

Зовнішнє середовище	Оптичний канал (аналог)	Тип каналу
Приземна атмосфера в індустріальних районах, димка	Цехове середовище: $К_{о.с.}$= - (10…15) дБ/км	Відкриті некеровані оптичні канали
Оптична локація у приземній атмосфері	Цехове середовище з відражаючими поверхнями: $К_{о.с.}$= - (30…50) дБ/км	
Щільний туман у приземній атмосфері	Цехове середовище з водяними парами: $К_{о.с.}$= - (100…120) дБ/км	
Середа з низькотемпературною плазмою, газами, аерозолями	Середовище термічних печей: $К_{о.с.}$= - (150…250) дБ/км	
Оптоволоконний канал зв'язку	Оптичне волокно: $К_{о.с.}$= - (3…10) дБ/км	Закритий керований оптичний канал

Для оцінки впливу різних видів перешкод на перетворювач необхідно мати у своєму розпорядженні основні статистичні характеристики їх випромінювання.

Різновиди перешкод та джерела їх утворення у різних галузях, отримані за результатами досліджень [1, 4], представлені в табл. 2. Зазначені перешкоди виникають незалежно від існування інформаційного сигналу.

Виникнення оптичних перешкод, як правило, зумовлено специфічними особливостями виробництва, на приклад, металургійне виробництво. Джерелом оптичних перешкод корисному сигналу тут є горіння палива, нагрітий метал, освітлення тощо.

Таблиця 2. Різновиди оптичних завад промислового походження

Позначення завади	Галузь та вид завади			
	Прокатне виробництво	Термічна обробка матеріалів	Хімічне, цементне виробництво	Металургія
$\xi_{опт.о.}$ $\Delta\lambda \geq 1.6$ мкм $\Delta f=0\ldots300$ Гц	Випромінювання нагрітих металу та виробів	Випромінювання нагрітих виробів	Випромінювання нагрітих реактивів	Випромінювання розплавленого металу
$\xi_{ф1}$ $\Delta\lambda \geq 1.4$ мкм $\Delta f=0\ldots300$ Гц	Випромінювання палаючих газових факелів	Випромінювання палаючих газових факелів		Випромінювання палаючих газових факелів
$\xi_{ф2}$ $\Delta\lambda \geq 1.2$ мкм $\Delta f=0\ldots300$ Гц	Випромінювання факелів абразивних металевих відходів при шліфуванні			
$\xi_{опт.осв.}$ $\Delta\lambda \geq 1.6$ мкм $\Delta f=0\ldots300$ Гц	Випромінювання цехового освітлення	Випромінювання цехового освітлення		
$\xi_{опт.фт.}$ $\Delta\lambda=1.6$ мкм $\Delta f=0\ldots300$ Гц	Випромінювання нагрітої футеровки	Випромінювання нагрітої футеровки	Випромінювання нагрітої футеровки	

Аналіз показав, що зменшити інтенсивність завад в КРОС практично неможливо. Збільшення потужності сигналу для підвищення якості передачі недоцільно, так як джерело оптичного випромінювання повинно мати типову для свого класу пристроїв потужність.

Отже актуальними питаннями підвищення завадостійкості оптичного сигналу є використання специфічних за властивостями сигналів та розробка нових структур приймальних пристроїв. Все це дозволить виявляти інформаційні сигнали при значних за інтенсивністю перешкодах.

Література:

1. Суботін О.В. Підвищення достовірності контролю технологічних параметрів і швидкодії інформаційно-вимірювальних систем прокатних станів: дис. на здобуття науко-вого ступеня канд. техн. наук: 05.11.16. Донецьк, 2000. 216 с.;

2. Subotin O., Rudenko V., Cherniavskyi A., Kovalenko A., Dobriak S. Photoelectric measuring transducers in environmental and objects monitoring systems In book: Teaching and subjects on bio-medical engineering. Approaches and experiences from the BIOART-project. Leuven, 2021, pp. 64-85. ISBN 978-94-641-4245-7.;

3. Засоби вимірювання в автоматичних та керуючих системах: підручник для студентів вузів, які навчаються за спец. «Автоматизація технологічних процесів і виробництв» / П.М. Таланчук та ін. Київ: Райдуга, 1994. 672 с.;

4. Суботін О.В. Розробка ряду модульних структур вимірювальних перетворювачів фотоелектричного типу // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. Вип. №42. Краматорськ: ДДМА, 2018. С. 80-86.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МОДИФІКУВАЛЬНОГО ОБРОБЛЕННЯ РОЗПЛАВУ НА СТРУКТУРУ ТА ВЛАСТИВОСТІ ЧАВУНУ В ВИЛИВКАХ

[1]Фесенко А.М., [2]Фесенко М.А.
([1]ДДМА, м. Краматорськ - Тернопіль, Україна, [2] ДУІКТ, м. Київ, Україна)

Чавун, є унікальним конструкційним матеріалом із комплексом гарних ливарних, технологічних і механічних властивостей та сьогодні впевнено зберігає свої лідируючі позиції серед ливарних сплавів для широкої номенклатури виливків (деталей машин, виробів). Механічні й інші експлуатаційні властивості чавуну в значній мірі залежать від типу кристалічної структури, характеристик металевої матриці, а також кількості, форми, розподілу і розмірів включень графіту. Литі вироби із чавуну в залежності від хімічного складу розплаву і умов виготовлення (литва, оброблення розплаву, охолодження, а також додаткового термічного оброблення) можуть мати різну кристалічну структуру, що дозволяє регулювати властивості в широкому діапазоні і використовувати цей залізо-вуглецевий сплав для виготовлення деталей, які експлуатуються в різноманітних умовах. Однак, особливо останнім часом, до деталей (металевих виробів) в конструкціях механізмів і машин, в тому числі і до виливків із чавуну, пред'являються все більш жорсткі вимоги відносно міцності і експлуатаційних показників при одночасному зменшенні маси, що можливо досягти за рахунок суттєвого підвищення характеристик сплавів, із яких виготовляються окремі деталі.

Загальновідомо, що ефективним способом покращення структури і підвищення механічних і експлуатаційних характеристик чавуну в виливках є процес модифікувального оброблення розплаву. В залежності від того, яку литу структуру чавуну в готовому виробі після модифікування базового розплаву необхідно отримати з урахуванням умов експлуатації, використовують процеси графітизувального, сфероїдизувального та карбідостабілізувального оброблення. Найбільш широке розповсюдження на практиці, особливо при виготовленні невеликих за масою і товщиною стінки виливків отримав процес графітизувального модифікувального оброблення базового розплаву чавуну, який направлено головним чином на зниження схильності до відбілювання і усунення можливості формування в первинній структурі карбідних фаз, подрібнення включень графіту і рівномірне їх розподілення в об'ємі, отримання однорідної структури за перерізом і в об'ємі виливка.

Процес сфероїдизувального модифікування розплаву все ширше використовується перш за все для отримання виливків із високоміцних чавунів із кулястим або вермикулярним графітом, які завдяки зменшенню надрізуючої дії компактних включень графіту характеризуються більш високими міцнісними характеристиками і пластичністю в порівнянні з сірими чавунами з пластинчастим графітом.

Процес карбідостабілізувального модифікування розплаву чавуну є менш поширеним і проводиться головним чином для стабілізації карбідів і отримання

структури білого чавуну з карбідами заліза і інших легувальних і супутніх елементів без включень вільного графіту в первинній структурі.

В практиці чавунного лиття використовується значна кількість модифікувальних добавок і способів модифікувального оброблення розплавів. Із всіх відомих методів модифікування розплавів чавунів найбільш ефективним, економічним і екологічним є метод пізнього внутрішньоформенного модифікування в реакційній проточній камері литникової системи, або так званий інмолд-процес. В цьому методі внутрішньоформове модифікувальне оброблення розплаву чавуну проводять безпосередньо всередині ливарної форми твердою зернистою добавкою, розміщеною на шляху руху розплаву до виливка в спеціальній порожнині – проточній реакційній камері, яка є частиною (окремим елементом) литникової системи. При проходженні розплаву через проточну реакційну камеру його потік взаємодіє з модифікувальною добавкою і переміщує її до порожнини форми, що забезпечує засвоєння розплавом останньої. Розміщення модифікувальної добавки в реакційній камері литникової системи забезпечує ізоляцію добавки від атмосфери матеріалом ливарної форми, що зменшує інтенсивність окислення модифікувальних компонентів добавки киснем повітря і дає змогу значно підвищити коефіцієнти їх засвоєння розплавом і суттєво зменшити витрати лігатури.

Не зважаючи на широкі потенційні можливості регулювання структури і властивостей чавуну у виливках шляхом модифікувального оброблення розплаву процеси виготовлення литих деталей в цілому, в тому числі і процеси модифікування розплаву, є досить чутливими до технологічних умов лиття і технології модифікувального оброблення, включаючи вибір способів (методів) оброблення, модифікувальних добавок для оброблення, а також технологічних режимів самого модифікувального оброблення, а це в свою чергу потребує проведення відповідних комплексних досліджень і встановлення оптимальних режимів лиття та модифікувального оброблення індивідуально в кожному конкретному випадку під час виготовлення відповідної номенклатури виливків, що підтверджує актуальність і необхідність проведення досліджень.

Метою представленої роботи є дослідження процесів внутрішньоформового модифікування розплавів чавунів певного хімічного складу різними за функціональним призначенням і дією на розплав твердими зернистими модифікувальними добавками для отримання заданої кристалічної структури чавуну в виливках.

Розплави чавунів необхідного (заданого) хімічного складу: гіпоевтектичні, евтектичні або гіперевтектичні з вуглецевим еквівалентом Се від 2,85 до 4,5 % виплавляли в індукційній тигельній печі ІСТ006 з ємністю тигля 60 кг з кислою футеровкою. Як шихтові матеріали використовували сталевий брухт і чушкові чавуни з низьким вмістом домішок, при необхідності також і відповідні феросплави. В якості модифікувальних добавок заданої зернистості, які розміщувались в протокових реакційних камерах литникових систем різної конструкції (геометричної форми), використовували комплексні сфероїдизувальні модифікатори ФСМг7, ФСМг9, VL63(M), МПФ1+ФС75, Ni-Mg-Cu, НМг15, НМг19+ФС75, ФЦМ-5, Це48Ла28Мг3 + ФС75,

графітизувальні добавки ФС75, ФС45, СБа-5, СК-20, а також карбідостабілізувальні добавки ФХ200, ФХ900, ФБ18, ФМн78, Мн95, ФЦМ-5, МЦ50Ж3, НМг15…НМг19, Ві1. Зерновий склад модифікаторів змінювався від пилоподібної фракції до 10 мм, кількість добавок, які розміщувались в протокових реакційних камерах ливникової системи в окремих експериментах складала 0,5, 1,0, 1,5 або 2,0 % мас. від маси рідкого металу в ливарній формі.

В якості об'єктів досліджень були вибрані експериментальні виливки «Трьохступенева проба» з товщиною стінки 8, 32 і 64 мм масою 5 кг і виливки типу здвоєних ступеневих проб масою 5 кг з перерізом стінок 3, 5, 10, 20, 30, 40, 50 мм і литниковими системами, які включали протокові реакційні камери різної геометричної форми (кубічні, циліндричні, півсферичні, сферичні) з верхнім, нижнім або боковим підведенням розплаву. Для отримання експериментальних виливків разову ливарну форму, виготовлену із піщано-глинистої суміші, заливали із ручного конічного ковша вихідним базовим розплавом чавуну при температурах в межах 1350…1480° С.

Вихідними контрольними параметрами оптимізації процесу служили приріст вмісту і відповідний розрахунковий коефіцієнт засвоєння базових хімічних елементів модифікатора металом виливка, характер і колір макрозламу, мікроструктура і твердість чавуну в контрольованих перерізах проби.

На основі результатів проведених досліджень встановлені основні закономірності впливу змінних факторів технологічного процесу на структуру чавуну в виливках, визначені значення оптимальних параметрів та розроблені технологічні рекомендації, які реалізовані при виготовленні контрольних виливків з заданою структурою. Із базових розплавів гіпоевтектичного, евтектичного або гіперевтектичного чавунів отримані виливки, в тому числі в загальній разовій ливарній формі, які мають відповідну структуру сірого чавуну після модифікування графітизувальним модифікатором, структуру високоміцного чавуну з кулястим графітом після модифікувального оброблення сфероїдизувальним модифікатором і структуру білого чавуну після модифікування розплаву карбідостабілізувальним модифікатором. Запропоновані і реалізовані при виготовленні експериментальних виливків способи інтенсифікації розчинення дрібнодисперсних модифікувальних добавок з розміром часток менше 1 мм, включаючи пилоподібні фракції, які без додаткових технологічних заходів практично не засвоюються розплавом. Експериментально підтверджено, що додатковим резервом підвищення механічних і інших службових характеристик чавунних виливків, який ще рідко використовується на практиці, є зустрічне або подвійне модифікування [1, 2].

Література:

1. Пат. № 59207 U 2010 11799. B22D 27/00. Спосіб подвійної обробки рідкого металлу в ливарній формі / А. М. Фесенко, М. А. Фесенко. Заявл. 05.10.2010, опубл. 10.05.2011. Бюл. № 9. 2011 р.

2. Патент 76396 Україна, МПК (2013.01), B22D 27/00. Спосіб подвійної обробки рідкого металу в ливарній формі / А. М. Фесенко, М. А. Фесенко, Д, О. Чугайов ; власник Донбас. держ. машинобуд. акад. – № u201203999 ; заявл. 02.04.2012 ; опубл. 10.01.2013, Бюл. № 1.

ЗАСТОСУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНО - ГРАДІЄНТНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ДЕТАЛЕЙ ОБЛАДНАННЯ МАШИНОБУДІВНОЇ ГАЛУЗІ

[1]Фесенко М.А., [2]Фесенко А.М.
([1]ДУІКТ, м. Київ, Україна, [2]ДДМА, м. Краматорськ - Тернопіль, Україна)

Прогрес машинобудування базується на застосуванні нових конструкційних матеріалів, які дають можливість підвищити робочі параметри, надійність та економічність машинобудівних виробів.

Забезпечити комплекс високих вимог при виготовленні металевих деталей з одного матеріалу є достатньо складною, а іноді і не вирішуваною задачею. А у випадку реалізації формування різної структури та властивостей в деталях часто потребується використання дефіцитних і вартісних матеріалів, а також додаткових технологічних операцій (частіш за все різних видів термічного оброблення), що призводить до суттєвого підвищення їх собівартості, і як слідство, вартості агрегатів, механізмів і машин.

Вирішення наведеної вище задачі суттєво спрощується завдяки використанню в конструкціях обладнання, механізмів і машин металевих виробів (деталей) з функціонально-градієнтною структурою.

Особливістю виробів із функціонально-градієнтною структурою є виготовлення їх із двох та більше металів або сплавів, які характеризуються різною структурою та властивостями в їх окремих частинах і замість різкої межі розділу між різними матеріалами мають перехідну зону, в якій спостерігається плавний градієнт концентрації, мікроструктури та властивостей.

Із відомих способів отримання деталей (виробів) з функціонально-градієнтних металевих матеріалів найбільший інтерес представляють технології лиття.

Останнім часом виникає підвищений інтерес до литих виробів з функціонально-градієнтною структурою, що виготовляються з чавунів, які є найбільш поширеними конструкційними литими сплавами і в залежності від хімічного складу і умов виготовлення можуть мати різну структуру та механічні і інші властивості, які можуть змінюватись в широкому діапазоні значень.

В представленій роботі запропоновані і досліджені способи виготовлення функціонально-градієнтних металевих матеріалів із базового розплаву чавуну, виплавленого в одному плавильному агрегаті.

Формування різної структури і властивостей в окремих частинах виливка досягаються за рахунок внутрішньоформового модифікування базового розплаву в каналах литникової системи різними за функціональним призначенням і дією на розплав твердими зернистими добавками (модифікаторами), завдяки чому в окремих частинах виливка формується різна кристалічна структура, наприклад сірого чавуну з пластинчатим графітом в одній зоні і високоміцного чавуну з кулястим графітом в іншій зоні виливка з вузькою перехідною областю між різними структурними зонами з плавним градієнтом концентрацій, мікроструктури і властивостей.

На основі результатів проведених досліджень встановлені основні закономірності впливу змінних факторів на формування різних структурних зон в чавунних литих виробах з функціонально-градієнтною структурою, визначені значення оптимальних параметрів та розроблені технологічні рекомендації.

ПОЛІРУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ З МІДІ І АЛЮМІНІЮ

[1]Філатов Ю.Д., [1]Сідорко В.І., [1]Ковалев С.В., [2]Ковалев В.А., [2]Юрчишин О.Я.
([1]ІНМ ім. В. М. Бакуля НАНУ, м. Київ, Україна,
[2]КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна)

Розробка новітніх технологій полірування прецизійних поверхонь деталей з міді і алюмінію, які використовуються в якості дзеркал для космічних і земних обсерваторій, для дзеркальних приладів видимого та ультрафіолетового діапазонів спектру, дзеркал для інфрачервоного діапазону, що працюють в кріогенних умовах, є актуальною проблемою [1–4]. Метою даного дослідження є вивчення закономірностей впливу фізико-хімічних властивостей оброблюваного матеріалу та полірувальної дисперсної системи на показники полірування дзеркал з міді і алюмінію.

На основі аналізу механізму полірування міді і алюмінію показано, що видалення оброблюваного матеріалу і формування нанорельєфу поверхні є наслідком видалення з неї наночастинок шламу, яке відбуваються у відкритому мікрорезонаторі, утвореному поверхнями оброблюваного матеріалу і частинки полірувального порошку, за механізмом QD-FRET – ферстерівського резонансного перенесення енергії, опосередкованого квантовими точками (CuO-QDs, Cu_2O-QDs, Al_2O_3-QDs), що виникають на оброблюваній поверхні в результаті її окислення [5].

Встановлено, що під час полірування оптичних поверхонь деталей з міді і алюмінію за допомогою дисперсної системи, в якій в якості дисперсної фази використовуються мікро- та нанопорошки метаборату міді, а в якості дисперсного середовища – гас, продуктивність полірування нелінійно збільшується, а шорсткість полірованих поверхонь погіршується за підвищення добротності мікрорезонатора і збільшення найбільш ймовірного розміру наночастинок шламу.

На основі результатів дослідження розроблено дослідну технологію полірування прецизійних поверхонь деталей з міді і алюмінію за допомогою дисперсних систем з мікро- та нанопорошків метаборату міді, яка задовольняє вимогам світових стандартів. Аналіз показників процесу полірування міді і алюмінію показав, що продуктивність їх полірування складає (5,3–10,6) мкм/год., а шорсткість полірованих поверхонь оцінюється параметрами Ra = (9,8±0,4) нм, Rq = (10,2–10,5) ± 0,4 нм і Rmax = (14,6–16,4) ± 1,6 нм.

Література: 1. Hazarika J., Patil C.S., Rajaraman P.V. Formulation of slurry for chemical mechanical polishing of Cu substrates, Materials Today: Proceedings, 2020. 5 p. **2**. Ulitschka M., Bauer J., Frost F., Arnold T. Improvement of the optical properties after surface error correction of aluminium mirror surfaces. J. Europ. Opt. Soc.-Rapid Public. 2021. Vol. 17:1. P. 1–13. **3**. Liu F., Jia P., Shen H., Xu Y. Optical performance of aluminum mirror for cryogenic applications. Optik. 2021. Vol. 231, no. 166282. 9 p. **4**. Chioetto P., Zuppella P., Da Deppo V.,·et al. Qualifcation of the thermal stabilization, polishing and coating procedures for the aluminum telescope mirrors of the ARIEL mission. Experimental Astronomy. 2022. Vol. 53. P. 885–904. **5**. Filatov Yu.D., Boyarintsev A.Yu., Kolesnikov O.V., Galkin S.M., Novgorodtsev V.O., Polupan Ya.I., Pylypenko O.I., Sidorko V.I., Kovalev S.V. Polishing of Optotechnical Parts Made of Semiconductor Materials. J. Superhard Mater. 2025. Vol. 47, no 2. P. 125–136.

ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ ЯК НОВИЙ СУБ'ЄКТ У ПРОЦЕСІ УХВАЛЕННЯ РІШЕНЬ

Фоміченко І.П., Фоміченко О.О.
(ДДМА, м. Краматорськ-Тернопіль, Україна)

У сучасному світі, що стрімко цифровізується, роль штучного інтелекту у процесах прийняття рішень набуває виняткового значення. Технології ШІ уже не обмежуються лише допоміжними функціями – вони дедалі частіше безпосередньо впливають на управлінські, соціальні, економічні й правові процеси. В умовах зростання обсягів інформації, динамічності подій та складності глобальних викликів, ШІ стає ключовим інструментом для аналізу ситуацій, прогнозування ризиків та вибору оптимальних рішень.

Актуальність теми обумовлена також тим, що з розвитком ШІ змінюється сама природа суб'єктності у процесі ухвалення рішень. Алгоритми отримують все більше автономії, що породжує серйозні етичні та юридичні запитання: хто несе відповідальність за дії штучного інтелекту? Чи має ШІ право самостійно впливати на долю людини — наприклад, у сфері охорони здоров'я, правосуддя чи безпеки? На тлі цих викликів виникає необхідність глибокого міждисциплінарного аналізу ролі ШІ як нового суб'єкта управління. Вивчення цього явища має не лише наукову, а й практичну значущість, адже впровадження ШІ уже сьогодні змінює принципи прийняття рішень у бізнесі, політиці, освіті, медицині та інших сферах.

Отже, дослідження впливу штучного інтелекту на процес ухвалення рішень є вкрай актуальним у контексті формування нових моделей управління, розробки етичних стандартів, а також забезпечення балансу між технологічною ефективністю та людськими цінностями.

У XXI столітті штучний інтелект (ШІ) дедалі частіше виступає не лише як інструмент аналізу, а як повноцінний суб'єкт, що впливає на процеси ухвалення рішень у різних сферах життя. Технології штучного інтелекту розвиваються настільки стрімко, що вони вже переступають межі допоміжних систем і дедалі частіше самостійно впливають на вибір стратегій, оцінку ризиків та ухвалення конкретних рішень без прямої участі людини. Завдяки своїй здатності обробляти великі обсяги інформації, виявляти закономірності, навчатися на основі статистичних моделей та формувати прогнози з високою точністю, ШІ стає активним учасником процесу прийняття рішень. Це більше не просто набір обчислювальних операцій, а новий тип інтелектуального суб'єкта, який володіє специфічними властивостями – швидкістю, об'єктивністю, адаптивністю та здатністю до самонавчання.

Однією з ключових переваг використання ШІ є швидкість і точність аналізу даних. У ситуаціях, коли людина фізично не здатна опрацювати тисячі змінних, алгоритми можуть зробити це за лічені секунди. Особливо важливим це є у сферах, де час має вирішальне значення – у медицині (наприклад, при постановці діагнозів або аналізі медичних зображень), у фінансах (оцінка

ризиків, біржові операції), логістиці (оптимізація маршрутів, постачання), у сфері безпеки (розпізнавання загроз, прогнозування злочинності).

Такі рішення, які ухвалює ШІ, можуть мати реальні наслідки для людського життя: впливати на те, чи отримає людина кредит, якого пацієнта лікувати в першу чергу, якого кандидата прийняти на роботу або навіть які товари показувати споживачеві. У кризових або нестабільних ситуаціях (наприклад, під час пандемій, стихійних лих або фінансових криз) автоматизовані системи можуть відігравати ключову роль, дозволяючи ухвалювати життєво важливі рішення швидше та з меншим ризиком помилки.

Однак така автоматизація породжує серйозні етичні, правові та соціальні виклики. Алгоритми не мають емоцій, свідомості, моральної відповідальності чи глибокого розуміння людського контексту. Вони діють строго на основі даних і заданих параметрів. Якщо ці дані є неповними, застарілими або упередженими, алгоритм може відтворити або навіть посилити існуючі соціальні нерівності.

Існують уже добре задокументовані випадки, коли алгоритми дискримінували людей за расовою, гендерною або соціальною ознакою – наприклад, під час набору персоналу, оцінки кредитоспроможності чи судового прогнозування повторної злочинності. Така практика піднімає ключове питання: чи може штучний інтелект самостійно ухвалювати рішення, що мають вплив на долю людини, чи він має залишатися лише дорадчим інструментом, контрольованим людиною?

З точки зору управлінської науки, штучний інтелект формує нову модель управління – алгоритмічну або гібридну, у якій рішення приймаються спільно людиною та машиною. У такій системі відповідальність розподіляється, і з'являється потреба в нових ролях – аналітиків, модераторів, етичних кураторів, які здатні контролювати та пояснювати дії ШІ.

Це вимагає не тільки технологічної модернізації, а й глибокої трансформації освітньої системи, етичних стандартів і законодавства. Необхідно:

– формувати цифрову грамотність серед управлінців і громадян;
– розробити чіткі етичні принципи використання ШІ;
– забезпечити механізми прозорості, контролю та відповідальності за дії алгоритмів;
– передбачити «право на пояснення» можливість для кожної людини зрозуміти, як і чому система ухвалила те чи інше рішення.

Отже, у сучасному інформаційному суспільстві ШІ вже не є лише інструментом, а стає новим суб’єктом у процесі ухвалення рішень. Його роль швидко зростає, і це змінює не лише технічні аспекти управління, а й фундаментальні уявлення про те, що означає бути відповідальним, раціональним та моральним суб’єктом. Баланс між ефективністю штучного інтелекту та гуманістичними цінностями – це один із найважливіших викликів для майбутнього. Лише збереження людиноцентричної моделі управління, в якій ШІ служить доповненням до людського розуму, а не його заміною, дозволить гармонійно інтегрувати ці технології у суспільне життя.

ЕВОЛЮЦІЯ КОМУНІКАЦІЙНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ В УМОВАХ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ

Фоміченко І.П., Шульга О.Л.
(ДДМА, м. Краматорськ - Тернопіль, Україна)

У XXI столітті цифрові технології кардинально змінюють способи, за допомогою яких організації взаємодіють із внутрішніми та зовнішніми стейкхолдерами. Комунікаційний менеджмент більше не обмежується лише класичними методами обміну інформацією – він перетворюється на гнучку, інтегровану та технологічно насичену систему управління, що є ключовою для ефективного функціонування бізнесу, державних структур і громадських організацій.

Розвиток цифрових технологій – соціальних мереж, хмарних рішень, аналітики даних, CRM-платформ і штучного інтелекту – суттєво трансформував комунікаційне середовище. Організації зіштовхнулись із необхідністю адаптувати свої підходи до комунікації відповідно до нових реалій, де швидкість, прозорість та персоналізація стали основними вимогами з боку аудиторії.

Сучасний комунікаційний менеджмент орієнтується на побудову цілісної системи взаємодії, яка охоплює як зовнішнє середовище (клієнти, партнери, громадськість), так і внутрішню аудиторію (персонал, менеджмент). У центрі уваги – не організація, а користувач: його досвід, очікування, емоції. Це зумовлює перехід до стратегій управління репутацією, брендом, корпоративною культурою через персоналізовані цифрові канали.

В умовах інформаційного перенасичення та високої чутливості суспільства до репутаційних ризиків, роль кризового комунікаційного менеджменту значно зросла. Реагування в режимі реального часу, прозорість та відкритий діалог стали необхідними умовами для збереження довіри до бренду або компанії.

Цифрова трансформація потребує нових навичок у фахівців з комунікацій: цифрової грамотності, здатності працювати з аналітичними інструментами, розуміння етичних стандартів, зокрема у сфері захисту персональних даних. Також важливо вміти комунікувати з різними поколіннями та культурами, враховуючи глобальний характер сучасних бізнес-процесів.

Еволюція комунікаційного менеджменту в умовах цифрової трансформації – це не просто технологічна зміна, а глибоке переосмислення ролі комунікацій у стратегічному управлінні. Успішні організації – це ті, які вміють будувати прозорі, інтегровані та адаптивні комунікаційні системи, орієнтовані на людину. У майбутньому саме комунікаційна гнучкість та технологічна обізнаність стануть визначальними чинниками конкурентоспроможності. Успішне управління комунікаціями вимагає цифрової грамотності, гнучкості та етичної відповідальності, що дозволяє організаціям ефективно адаптуватися до змін і підтримувати довіру аудиторії.

МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ ПОТОКУ БУРОВОГО РОЗЧИНУ З РУХОМОЮ КОЛОНОЮ БУРИЛЬНИХ ТРУБ

Харченко Є.В., Бутринський Д.І., Бутринський І.З.
(Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна)

Буріння глибоких свердловин традиційно здійснюється із застосуванням бурового розчину: під тиском нагнітаючого насосу буровий розчин рухається вниз всередині бурової колони та, після досягнення її нижнього кінця, вверх у затрубному просторі між колоною бурильних труб та стінкою свердловини чи обсадної труби. Прокачування бурового розчину відбувається також під час операцій підйому чи опускання колони бурильних труб. Задача моделювання взаємодії рухомої колони бурильних труб і потоку бурового розчину становить практичний інтерес.

За реологічними властивостями буровий розчин є в'язко-пластичною рідиною із нелінійною залежністю в'язкості від швидкості деформацій зсуву. У зв'язку з математичними труднощами побудови аналітичного розв'язку відповідної нелінійної крайової задачі у часткових похідних застосовують експериментальні залежності та результати числових розв'язків, побудованих із застосуванням варіаційно-різницевих методів динаміки рідин [1].

Метою роботи є розробка наближеної ефективної аналітико-числової моделі взаємодії рухомої колони бурильних труб з потоком бурового розчину.

Приймається, що бурильна труба рухається з деякою лінійною швидкістю у напрямку вздовж осі колони, стінка свердловини нерухома; потік бурового розчину усталений, режим потоку бурового розчину ламінарний, лінії потоку паралельні осі колони; вздовж потоку діє заданий градієнт гідравлічного тиску. Буровий розчин описується в'язко-пластичною моделлю неньютонівської рідини Бінгама [2]. На границях області бурового розчину виконуються умови рівності швидкостей бурового розчину і поверхонь бурильної труби та свердловини; взаємодія рідини із поверхнями труби і свердловини здійснюється через сили тертя. При побудові розв'язку приймається, що течіння рідини реалізується при досягненні рідиною у області потоку стану граничної рівноваги при в'язко-пластичному зсуві та з утворенням області квазітвердого ядра. У межах області квазітвердого ядра дотичні напруження не досягають границі текучості при зсуві і швидкість є постійною. Розв'язання задачі зведено до розв'язання системи нелінійних рівнянь відносно сил тертя на поверхні бурильних труб і стінки свердловини, швидкості квазітвердого ядра при заданих швидкості колони бурильних туб, градієнті гідравлічного тиску та реологічних параметрах рідини.

Розроблена модель і побудований на її основі розв'язок дозволяють ефективно розраховувати сили взаємодії потоку бурового розчину з рухомою колоною бурильних труб та параметри потоку бурового розчину.

Література: 1. Balmforth N.J., Frigaard I.A., Ovarlez G. Yielding to Stress: Recent Developments in Viscoplastic Fluid Mechanics. Annual Review of Fluid Mechanics, 2014. 46:121–46. 2. Bingham E.C. Fluidity and plasticity. McGraw-Hill,NY, 1922, 440p.

ВІРТУАЛЬНИЙ РЕЄСТРАТОР КОЛЬОРОМЕТРИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ В ВИЗНАЧЕННІ ВІЛЬНОГО ЛУГУ У ВІДПРАЦЬОВАНІЙ МАСТИЛЬНО-ОХОЛОДЖУВАЛЬНІЙ РІДИНІ

Холмовой Ю.П.
(ДДМА, м. Краматорськ - Тернопіль, Україна)

Невід'ємним елементом технології обробки металів різанням є мастильно-охолоджувальні рідини (МОР). Розмаїття і різноманітність матеріалів, що підлягають такій обробці, а також видів самої обробки, призвело до появи не меншої різноманітності складів МОР. І якими б вони не були, але рано чи пізно закінчується термін їх експлуатації. І тоді виникає проблема їхньої регенерації і навіть утилізації. Технологія і того, і іншого процесу залежатиме від складу МОР. У цій роботі розглядається метод визначення вільного лугу у відпрацьованій МОР на водній основі та інструментальне та програмне забезпечення для його реалізації.

Завдання визначення лужності будь-якого водного розчину в загальному випадку не становить особливих труднощів. Однак для МОР, до складу якої можуть входити безліч компонентів – електролітів, різних органічних і неорганічних сполук, поверхнево-активних речовин (ПАР), емульгаторів та ін. – такий простий метод як пряма потенціометрія з pH-селективним електродом не прийнятний через адсорбцію на pH-чутливій мембрані ПАР або іншої органіки. А присутність в аналізованому об'єкті кількох протолітів із близькими константами дисоціації не дозволить отримати криву титрування, придатну для визначення точки еквівалентності (ТЕ). Тому в даному випадку для визначення лужності відпрацьованої МОР ми вибрали метод кольорометричного титрування у хронометричному варіанті.

Для реалізації метода до певного об'єму аналізованого розчину з постійною швидкістю подається титрант. Його кількісною характеристикою є не концентрація реагенту, а час, що пішов на титрування певного об'єму стандартного розчину із заданою концентрацією. Ця характеристика отримала назву «титр-секунда» – T_C:

$$T_C = \frac{c_{е,ст} \cdot V_{ст}}{\tau_{ст}} \left[\frac{моль}{с}\right], \quad (1)$$

де: $c_{е,ст}$ – молярна концентрація еквівалента стандартної речовини у стандартному розчині, моль/дм^3;

$V_{ст}$ – об’єм стандартної проби, дм^3;

$\tau_{ст}$ – час титрування стандартної проби, с.

Фізичний зміст цієї характеристики – кількість речовини в титранті, яка витрачається за 1 секунду процесу титрування.

Тоді концентрацію аналіту в пробі можна розрахувати за формулою:

$$c_{е,пр} = \frac{T_C \cdot \tau_{пр}}{V_{пр}} \left[\frac{моль}{дм^3}\right]. \quad (2)$$

де: $c_{е,пр}$ – молярна концентрація еквівалента речовини в пробі, моль/дм^3;

$V_{пр}$ – об’єм аналізованого розчину, дм^3;

$\tau_{пр}$ – час титрування аналізованої проби, с.

Попередня підготовка проби. 10 мл відстояної проби піпеткою Мора помістити в ділильну лійку, додати 10 мл очищеного гексану. Суміш струшувати протягом 1 хв., після відстоювання протягом 30 хв. пропустити нижній водний шар через паперовий фільтр.

Установка для хронометричного титрування з коміркою, до складу якої входять фотометрична кювета з довжиною поглинаючого шару 20 мм і смартфон Samsung Galaxy J6+, які детально описані у [1]. Там же докладно описано процедуру визначення величини титр-секунди. У нашому випадку в якості стандартного розчину використовували 0,1 М розчин Na_2CO_3, а в якості титранта – 0,1 М розчин HCl, приготований з фіксаналу.

Титрант з попередньо встановленою швидкістю подається у фотометричну кювету, в яку піпетковим дозатором DragonLab 100-1000 мкл треба помістити 1 мл стандартного розчину (0,1 М розчину Na_2CO_3 – для визначення величини T_C), або 1 мл попередньо підготовленої проби МОР (для визначення її лужності), додати приблизно 5 мл дистильованої води та 1 краплю 1%-вого спиртового розчину фенолфталеїну. Далі треба включити магнітну мішалку, а потім одночасно включити запис відеофайлу на смартфоні та відкрити запірний кран посудини Маріотта. Після зміни кольору екрана смартфона відеозапис можна припиняти та закрити запірний кран. Смартфон, на екрані якого можна стежити за ходом титрування за зміною кольору, фіксує весь процес титрування у вигляді файлу формату .mp4.

Далі відеофайли формату. mp4 зі смартфона треба перенести на комп'ютер та провести їхню обробку програмними засобами: за допомогою вільно поширюваної програми Free Video to JPG Converter перетворити файли формату .mp4 в ряд послідовних кадрів у файлах формату .jpg, попередньо встановивши в програмі опцію «Кадр за кожну секунду» та визначивши папку для їх збереження. Але найважливішим елементом обробки експериментальних даних є перетворення коліру кожного кадру на числові значення R, G і B за допомогою створеної нами у пакеті LabVIEW-12 програми Реєстратор RGB.vi (рис. 1) і зберігти їх у файлі «Блокнот», з якого вже в пакеті Excel можна побудувати їхню графічну залежність від часу титрування.

На рис. 2 показано, що час титрування стандартного зразка об'ємом 1 мл становить 28 с, а це означає, що величина T_C, розрахована за формулою (1), дорівнює:

$$T_{\text{C}} = \frac{0{,}1 \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{28} = 3{,}57 \cdot 10^{-6} \left[\frac{\text{моль}}{\text{с}}\right], \qquad (3)$$

Час титрування 1 мл проби відпрацьованої МОР (рис. 4) складає 103 с. Тоді з формули (2) знаходимо молярну концентрацію еквівалента лугу в пробі составит:

$$c_{\text{е,пр}} = \frac{3{,}57 \cdot 10^{-6} \cdot 103}{10^{-3}} = 0{,}37 \left[\frac{\text{моль}}{\text{дм}^3}\right], \qquad (4)$$

що в перерахунку на карбонат натрию складає приблизно 20 %-вий розчин, для нейтралізації 1 л якого буде потрібно 0,2 л техничної хлоридної кислоти.

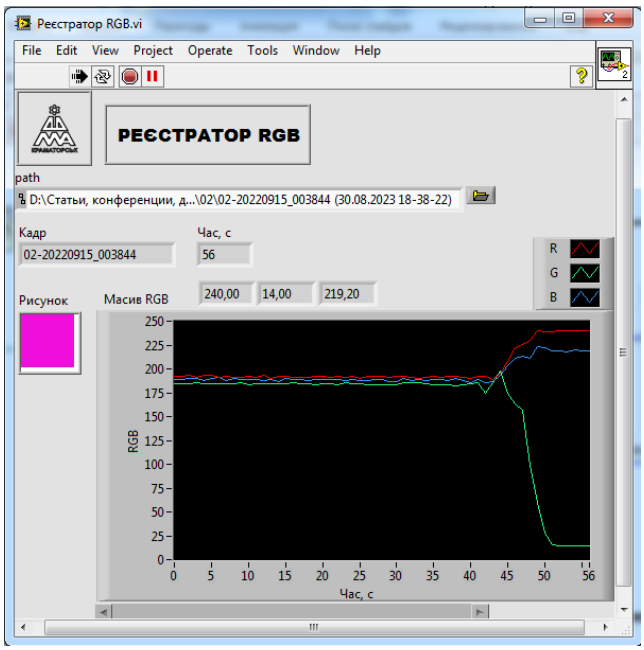


Рис. 1. Лицева панель програми Реєстратор RGB.vi

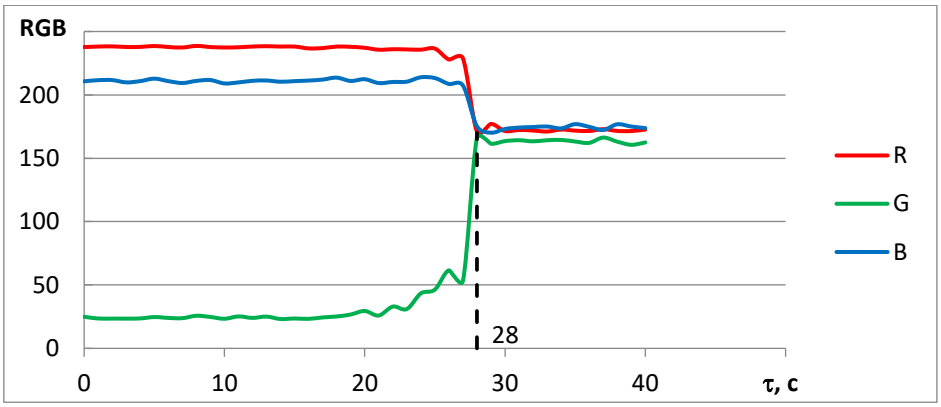


Рис. 2. Криві кольорометричного титрування стандартного розчину 0,1 М Na_2CO_3 для визначення T_C.

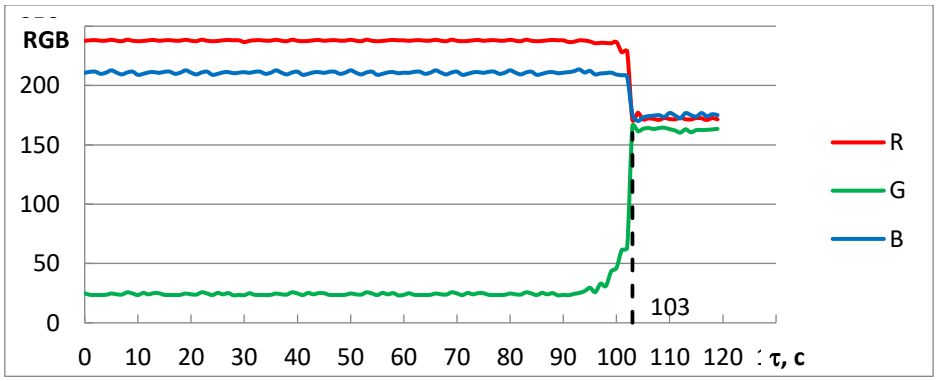


Рис. 3. Криві кольорометричного титрування проби відпрацьованої МОР

Література:

1. Авдєєнко А.П., Холмовой Ю.П., Коновалова С.О., Якименко І.Ю. Нові кислотно-основні індикатори: дослідження на смартфоні // Вісник ОНУ. Хімія. – 2021. – Том 26, вип. 1(77), с. 97 – 106. – DOI: https://doi.org/10.18524/2304-0947.2021.1(77).226144].

ВИВЧЕННЯ ГЕОМЕТРІЇ ТОКАРНИХ РІЗЦІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ТРИВИМІРНИХ МОДЕЛЕЙ

Хорошайло В.В., Кабацький О.В., Проценко Д.Р., Карпенко К.В.
(ДДМА, м. Краматорськ - Тернопіль, Україна)

Геометрія різальної частини інструментів має велике значення для ефективної механічної обробки.

При вивченні токарних різців студентами, виникає проблема недостатнього просторового уявлення їх геометрії, особливо в умовах дистанційного навчання коли, викладач не має можливості демонструвати реальний інструмент. Тому пропонується використання тривимірних моделей різальних інструментів, розроблених в програмі SolidWorks. Було створено тривимірну модель токарного різця з відображенням всіх поверхонь, площин і кутів, які розглядаються при вивченні геометрії інструменту.

В програмі є можливість показати ескіз перерізу площиною безпосередньо на моделі. Розглянемо декілька прикладів використання учбової моделі. На рис. 1 показано ескіз перерізу головною січною площиною із вказанням заднього і переднього кутів, а також кутів загострення і різання.

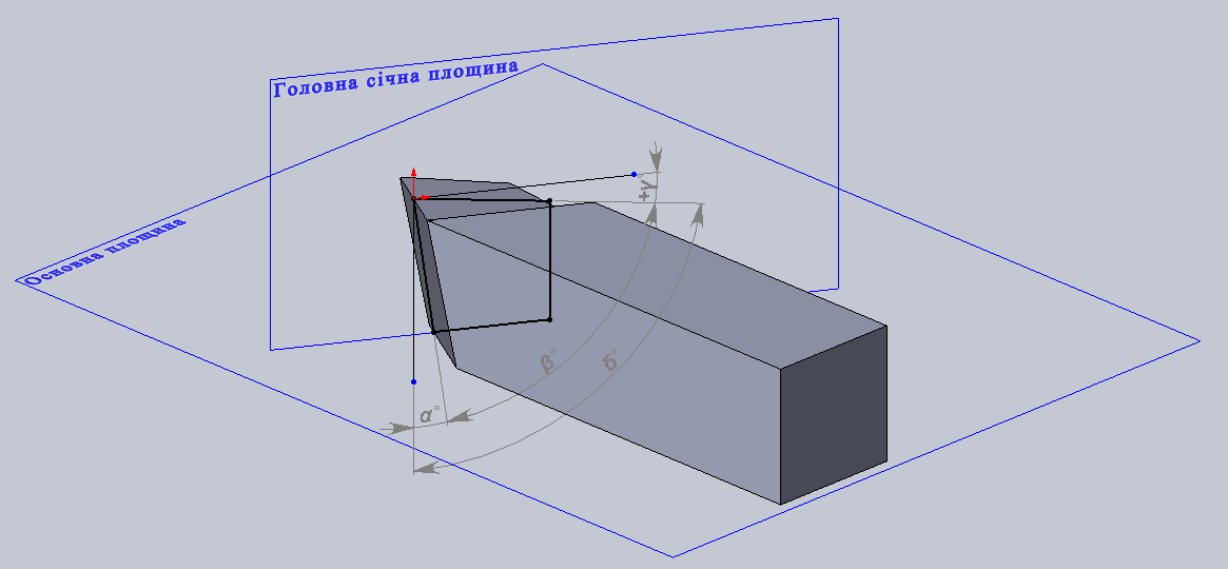


Рис. 1. Ескіз перерізу головною січною площиною із вказанням заднього і переднього кутів, а також кутів загострення і різання

Інструментарій програми SolidWorks дозволяє відображати окремі елементи ескізу або моделі. Це дає змогу послідовно акцентувати увагу на окремих елементах. Так, наприклад на рис. 2 висвітлена тільки основна площина, в якій показано ескіз, що являє собою два відрізка, які є проекціями головної і допоміжної різальних кромок на цю площину із вказанням головного і допоміжного кутів в плані.

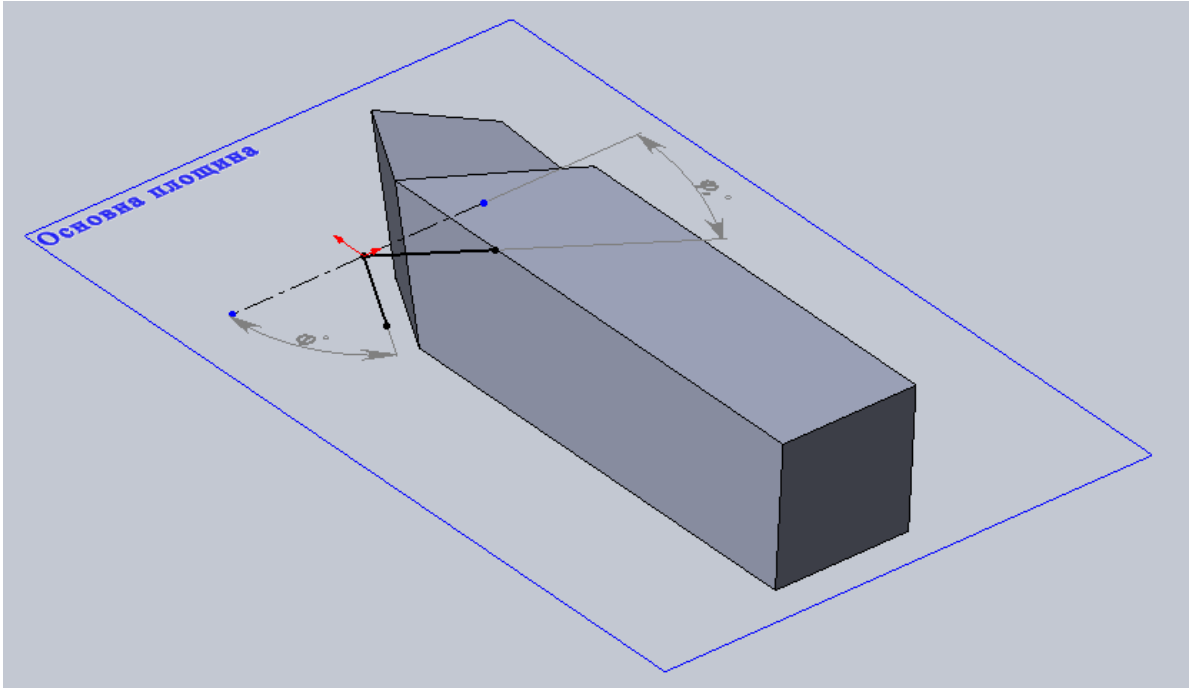


Рис. 2. Вказання головного і допоміжного кутів в плані

Також в SolidWorks є можливість додавати замітки до елементів «Дерева побудови» моделі. Це дає змогу вносити в учбову модель короткі теоретичні відомості. Тобто «Дерево побудови» окрім переліку ескізів, операцій і допоміжних елементів вміщує необхідні замітки, які доповнюють модель. Наприклад, на рис. 3 показано замітку, що дає визначення головної січної площини.

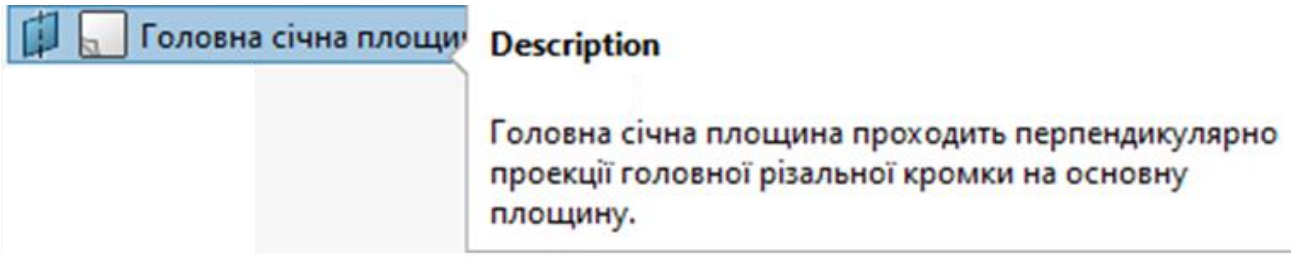


Рис. 3. Замітка визначення головної січної площини

Таким чином на моделі можна показати всі необхідні площини, в яких вимірюються кути різця та надати їх визначення.

Виходячи з вище викладеного можна стверджувати, що вивчення геометрії токарних різців за допомогою тривимірних моделей є достатньо ефективним методом в умовах дистанційного навчання.

Література:

1. Козяр, М. М. Комп’ютерна графіка: SolidWorks : навч. посібник / М.М. Козяр, Ю.В. Фещук, О. В. Парфенюк. — Херсон : ОЛДІ-плюс, 2018. — 252 с.

ПРОЕКТ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ «ЗОЛОТНИК» ВІД ІТЦ «ТЕХНОПОЛІС»

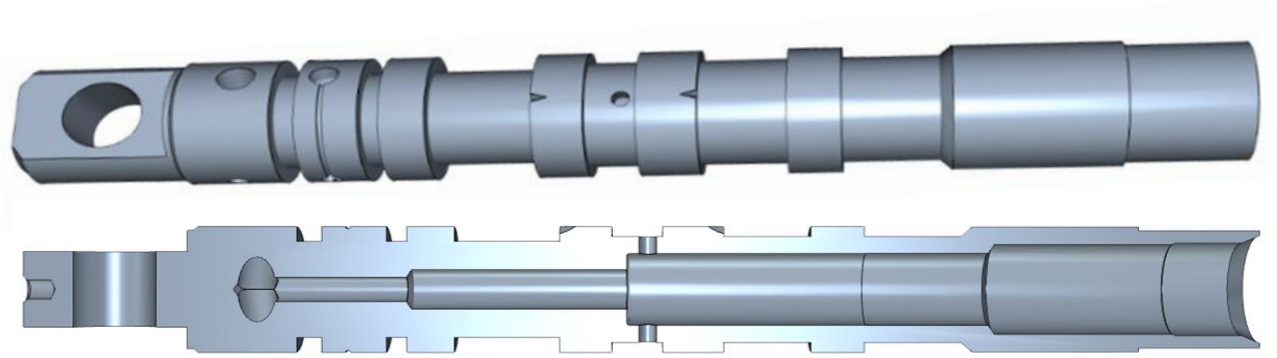
Христич Руслан
(Керівник регіонального відділу, провідний інженер
ТОВ "ІТЦ ТЕХНОПОЛІС", Україна)
Моб. +380 50 910 11 37
e-mail: r.khrystych@technopolice.com.ua
www: www.technopolice.com.ua

Більш коштовне, але ***якісне обладнання***, врешті, приносить підприємству економію і надає ***конкурентну перевагу*** на своєму ринку.

Це часто не очевидно на початку, якщо просто дивитися на вартість обладнання. Але наступним етапом йде оцінка технічних характеристик, розрахунок продуктивності і саме тут закладається фундамент для переваг.

В цій статті ми наведемо приклад того, ***як можна забезпечити виробництво меншою кількістю більш технологічних, точних і якісних верстатів,*** заощадивши на:

- просторі в цеху;
- кількості людей, що обслуговують верстати;
- частковій автоматизації процесу;
- кількості комплектів оснастки;
- більш високій продуктивності;
- меншій кількості переустановів;
- якості продукції;
- економії електроенергії.



Деталь: Золотник
Матеріал: Сталь 20Х
Галузь: сільське господарство
Верстат: EMCO Hyperturn 45 SM2Y
Ціль: 22000 шт/міс

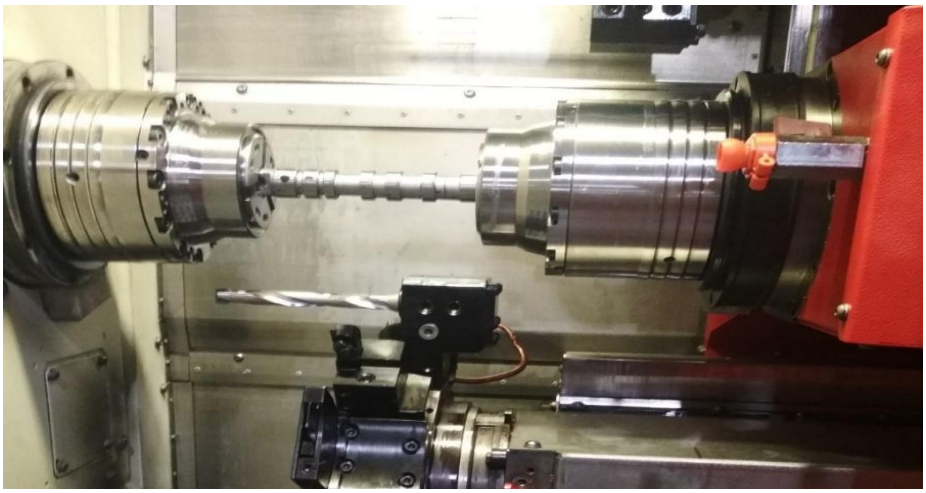
В старій технології, яка існувала ще з часів СРСР, для забезпечення такої кількості золотників на місяць використовувався великий парк обладнання.

Стара технологія – 39 верстатів - поточна лінія : токарні автомати 1Б-240П-6, горизонтальна протяжка МПЗ-1059, вертикальні свердлильні 2Н135, агрегатні 2ХА2515, фрезерні 6Р81 і центрошліфувальні верстати ХШ79Ф2.

Нова технологія від ІТЦ «Технополіс» – максимальна концентрація операцій на одному верстаті - 5 верстатів. Із них 2 верстати EMCO Hyperturn 45 SM2Y, які виконують токарні, фрезерні і свердлильні операції. Решта - три верстати, що залишилися з попередньої технології: автоматична лінія шліфовки заготовок та вертикальна протяжка паза, яку неможливо виконати на верстатах з ЧПК.

При подачі комерційних пропозицій на проект «Золотник» нашими конкурентами були представники середнього і дешевого цінових діапазонів верстатобудування із Південної Кореї, Китаю, США.

Для забезпечення необхідної програми випуску золотників всі наші конкуренти пропонували 4 верстати – два однакових токарних + два однакових фрезерних.



Наше ж бачення технології полягало лише в двох верстатах. Два однакових токарно-фрезерних ОЦ. Перші теоретичні прорахунки показали економічну ефективність такого рішення.

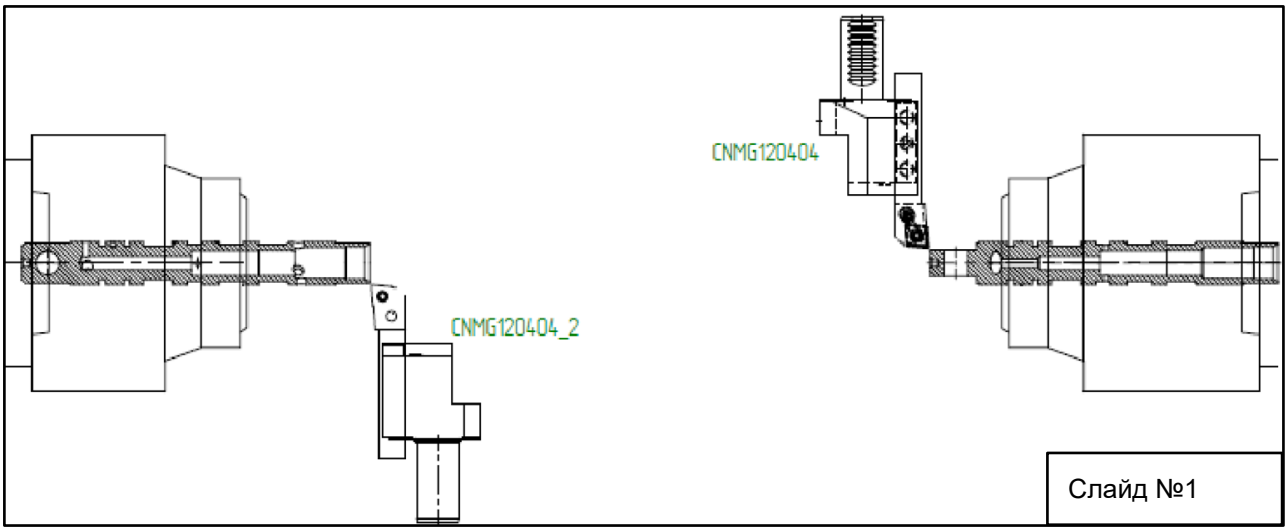
Комплектація EMCO Hyperturn 45 SM2Y:

- Шпиндель (7000 об/хв, 15 кВт) і протишпиндель (7000 об/хв, 15 кВт);
- дві револьверні головки (12 позицій);
- обидві револьверні головки з приводним інструментом (6000 об/хв, 4 кВт, 16 Нм);
- вісь Y (переміщення +40 / - 30 мм);
- Завантажувач прутків

« Ми завжди звертаємо увагу на досвід колег-машинобудівників з Європи та США. На їх виробництвах ви не побачите дешевих азіатських верстатів або інструменту. Бо це не вигідно».

На лівому боці **слайду №1** ми бачимо старт процесу - обробку переднього краю деталі. Завантажувач прутків подає пруток на визначену довжину в зону обробки. Відбувається зовнішня обробка.

В цей самий час з правого боку слайду відбувається завершення обробки попередньої деталі - обробка хвостовика золотника.

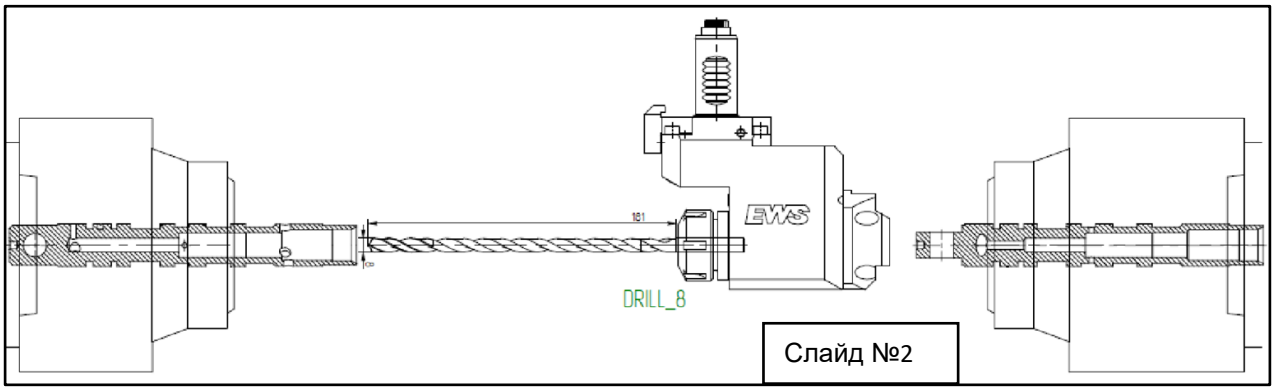


Внутрішня обробка правої частини деталі.

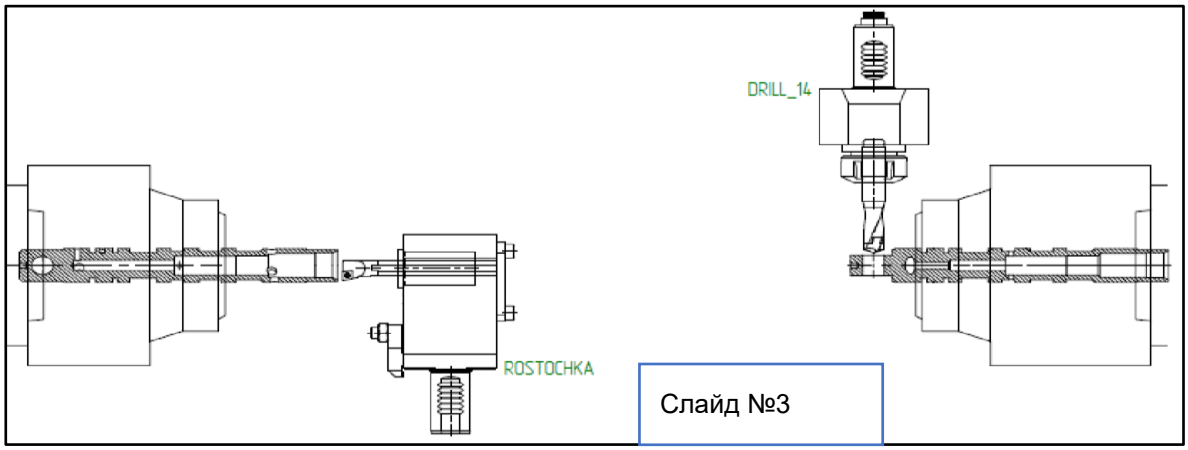
В комплектації верстату є насос високого тиску, який забезпечує тиск ЗОР до 14 бар. Завдяки чому ми маємо змогу виконати всі операції внутрішньої обробки, в тому числі для потрібного нам Ø8мм на довжину 20xD.

Функція високого тиску при внутрішніх обробках особливо важлива для такого не простого низьковуглецевого матеріалу як сталь 20Х, який дає довгу зливну стружку.

Лівий бік **слайду №2** – чистова розточка просвердлених ступінчатих отворів. Фаска. Розгортування.



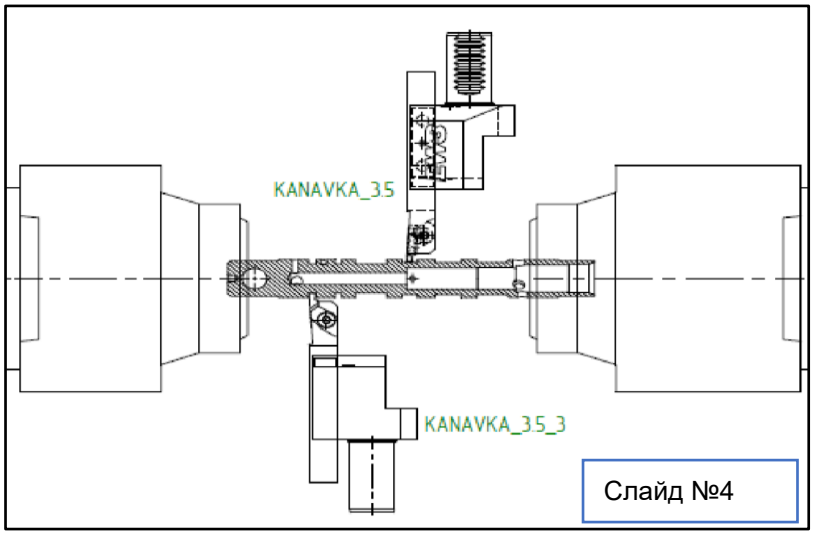
Правий бік – свердління хвостовику золотнику **(Слайд №3)**



І шпіндель і протишпіндель верстату мають керовану вісь С, яка дозволяє провертати деталь, що оброблюється, на необхідний кут градусу, з дискретністю 0,001°. Дана функція дає нам змогу отримати всі отвори на золотнику свердлінням під певним кутом з високою точністю.

На деяких переходах деталь може фіксуватися з обох кінців одночасно в двох шпинделях. Це надає суттєво більшої жорсткості деталі і дозволяє високопродуктивно обробляти елементи, які важко обробити при консольному кріпленні деталі.

В переході, що показаний на **слайді №4**, задіяні як обидва шпинделі, так і обидві револьверні голови.



Фактичний машинний час на обробку одного золотника склав 6,2 хвилин. При 6-денному робочому тижні, трьохзмінному режиму роботи і коефіцієнту завантаження обладнання 0,85 один верстат забезпечує половину від необхідної програми на місяць. При старій технології, яка містила 39 верстатів, при одночасній паралельній обробці на різних верстатах, час виготовлення був в два рази більше і складав 15,06 хв.

Фактичний розрахунок переваг після впровадження.

1. Ціна рішення від «ІТЦ Технополіс» за дві одиниці верстати 1+1 або дорівнювала або навіть трохи перевищувала рішення конкурентів за 4 одиниці верстати 2+2. Але ж при цьому вартість необхідної оснастки для двох верстатів була в два рази менша, ніж для чотирьох в конкурентів.

2. Фактична вартість одного золотника на верстаті EMCO дорівнювала 21,34грн. В той час коли у конкурентів цей показник був значно вищим. Верстат південнокорейського виробництва – 29,86 грн. Верстат американського походження лоу-кост сегменту – 43,32 грн. Китайський – 34,12 грн.

3. Вартість однієї години роботи (станкочас) на верстаті EMCO становила 51.9 доларів США, в той час як у конкурентів вартість складала близько 90-110$.

4. Економія від роботи на двох верстатах замість чотирьох, лише по електроенергії, на рік склала 15 тисяч доларів США.

Коментар від замовника: за рахунок виконання всіх операцій на одному верстаті значно покращилась стабільність лінійних розмірів. Суттєво

покращився зовнішній вигляд деталі, відпала необхідність у виконанні більшості слюсарних операцій.

Також однією із переваг нового обладнання замовник відмітив – простоту використання і

Більш дороге і якісне обладнання врешті дає підприємствам суттєву економію коштів.

Звертайте увагу на чужий досвід. На те, як роблять наші колеги-машинобудівники американці і європейці. На їх виробництвах ви не побачите дешевих азіатських верстатів, куплених за умовні копійки. Тому що і німці, і англійці прискіпливо прораховують кожну копійку.

Західна філософія прийняття рішення ґрунтується на розумінні, що економія інвестицій на старті може в майбутньому обернутися нестабільністю технології, простоями часу на ремонти, додатковими обслуговуваннями, меншою продуктивністю, низькою якістю продукції і іншими нюансами, які навіть важко передбачити.

В той час як більші інвестиції в сучасніші технології в кінцевому результаті дають меншу собівартість вироба з покращенням якості і прискорюють окупність рішення.

Ми, ІТЦ Технополіс, розуміємо складність прийняття подібних рішень і пропонуємо вітчизняним підприємцям свою допомогу. В нас є досвід і широкий перелік референцій в поставках якісного складного обладнання на ринок України. Коли ви наступний раз подумаєте про підбір у ваш цех нового токарного або фрезерного обладнання – задайте питання «Технополіс». В нас завжди є ідеї і рішення, можливо навіть такі, на які ви не очікуєте.

Відео технології обробки золотника

ПРОБЛЕМАТИКА ЗНОСОСТІЙКОСТІ ІНСТРУМЕНТУ ПРИ ВАЖКІЙ МЕХАНООБРОБЦІ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇЇ ВИРІШЕННЯ

[1]Шаповалов М.В., [1]Васильченко Я.В., [1]Базовий Д.А., [1]Стрєлков К.О., [2]Заковоротний О.Ю., [2]Анциферова О.О.
([1]ДДМА, м. Краматорськ-Тернопіль, Україна, [2]Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна)

Під час обробки на важких верстатах часто виникає проблема передчасного виходу з ладу різального інструменту. Це обумовлено не лише природним зношуванням різальних пластин, а й їх недостатньою стійкістю до таких типів руйнування, як викришування та відколювання. Покращення механічних властивостей та ресурсу експлуатації твердосплавного інструменту потребує впровадження інноваційних методів як поверхневої, так і об'ємної модифікації матеріалів. Одночасно постає необхідність у вдосконаленні методів оцінки опору зношуванню та руйнуванню, з урахуванням специфіки експлуатації інструменту в умовах високих навантажень.

Одним з перспективних напрямків удосконалення інструментальних матеріалів є обробка імпульсним магнітним полем (ОІМП). Дослідження показали, що ця технологія має об'ємний ефект зміцнення [1], сприяє підвищенню однорідності структури вольфрамо- та титанокобальтових твердих сплавів [2], збільшує границю міцності на згин до 27% і підвищує період стійкості до руйнування до 17% [3].

У зв'язку зі специфікою відмов інструменту при роботі на важких верстатах, виникає потреба у створенні ефективної порівняльної методики, яка дозволяє швидко, без значних витрат часу та ресурсів, визначити комплекс параметрів, що характеризують зносостійкість та опір руйнуванню при інтенсивному навантаженні. Традиційно параметри зносу оцінюють за шириною фаски на задній поверхні пластини після обробки на верстаті. Проте цей підхід є затратним та не завжди оперативним. Методи оцінки міцності вимагають спеціалізованого лабораторного обладнання та складної підготовки.

Метою даної роботи є розробка та апробація швидкої та надійної методики оцінки ефективності модифікації різальних пластин, з акцентом на визначення їх опору руйнуванню та зношуванню в умовах контактного навантаження.

Запропонований підхід полягає у випробуванні пластин за умов високого контактного тиску та тертя при підвищених температурах, що імітують реальні режими різання. Методику використано для дослідження впливу обробки імпульсним магнітним полем (ОІМП) на опір руйнуванню твердосплавних різальних пластин типу ВК8. Експериментальні випробування проводилися на токарному верстаті. У дослідженні використовувалися неперезагострювальні квадратні чотиригранні пластини як у вихідному стані, так і після ОІМП за двома різними режимами обробки. У ролі контртіла використовувався вал з конструкційної сталі 40ХН діаметром 47,8 мм, що обертався з частотою 800 об/хв. Режими обробки включали подачу супорта 0,07 мм/об, лінійну

швидкість 120 м/хв, зусилля притиснення P = 150 Н, тривалість випробування – 6 хвилин. Пластина фіксується у спеціальній державці таким чином, щоб мінімізувати утворення стружки, а кут різання був максимально тупим. Державка обладнана силовимірювачем для точного контролю зусилля притиснення (*P*) пластини до контртіла. В результаті контактної взаємодії формується фаска на задній поверхні пластини, параметри якої і визначають її зносостійкість.

Оцінка зношування проводиться за площею фаски (*S*), утвореної протягом фіксованого часу випробування. Опір руйнуванню визначається за питомим тиском (*P/S*), що характеризує стійкість до розсіяння руйнувань, та відношенням зусилля до ширини фаски (*P/b*), яке відображає опір відколюванню. Додатково враховуються візуальні ознаки пошкодження: наявність мікротріщин, деформація контртіла в зоні контакту тощо.

У ході дослідження вивчались розміри зношуваних фасок і відколів, які формувалися на задній поверхні пластин внаслідок контактного навантаження. Встановлено, що фаска набуває форми, наближеної до напівеліптичної, а напрямок прикладеної сили відображено стрілкою. Площа фаски розраховувалася за формулою:

$$S = \frac{1}{4}\pi\, bh$$

де *b* — ширина фаски, *h* — її висота.

Результати дослідження свідчать, що після ОІМП площа фаски зменшується приблизно на 30% у порівнянні з вихідним станом (0,88 мм² і 0,95 мм² проти 1,33 мм²). Для пластин, оброблених за першим режимом ОІМП, зафіксовано підвищення опору розсіяному пошкодженню на 50% і опору відколюванню на 32%. У випадку другого режиму приріст зазначених параметрів склав 40% та 24% відповідно.

Таким чином, результати підтверджують доцільність використання запропонованої методики для порівняльної оцінки зносостійкості та опору руйнуванню різальних пластин у виробничих умовах. Пластини ВК8, оброблені імпульсним магнітним полем, демонструють значно вищу стійкість до руйнування та зношування порівняно з аналогами у вихідному стані.

Література:

1. Kovalov V., Vasilchenko Y., Shapovalov M, Turmanidze R., Dašić P. Impact of a Pulsed Magnetic Field on a Hard Alloy During Machining on Heavy Machine Tools. *International Journal of Industrial Engineering and Management (IJIEM)*, Vol. 10 No 1, 2019, Pp. 125–130. ISSN 2217-2661. https://doi.org/10.24867 / IJIEM-2019-1-125.

2. Viktor Kovalov, Yana Vasylchenko, Maksym Shapovalov, Andrey Manokhin. Pulsed Magnetic Field Processing of the Cemented Carbide Cutting Tools: monograph – Kramatorsk-Ternopil, Ukraine : DSEA, 2024. – 78 p. ISBN 978-617-7889-84-6

3. Зміцнення твердосплавного різального інструменту для важкого машинобудування на основі поверхневої та об’ємної модифікації фізичними методами / О.Б.Сорока, Ю.М. Родічев, В.Д.Ковальов, Васильченко Я. В. // Вісник Тернопільського Національного технічного університету ім. І.Пулюя. – 2013. – №3(71). – С.133-145.

УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ТА АДАПТИВНИЙ РОЗВИТОК ПІДПРИЄМСТВ ВАЖКОГО МАШИНОБУДУВАННЯ ДОНБАСУ В УМОВАХ ВІЙНИ

Шашко В.О., Шашко М.Д.
(ДДМА, м. Краматорськ - Тернопіль, Україна)

Важке машинобудування традиційно відігравало ключову роль в економіці Донбасу, забезпечуючи вагому частку промислового виробництва та експорту України. Проте, в умовах повномасштабної агресії Російської Федерації проти України, дана галузь зазнала суттєвих втрат, що актуалізувало питання управління ризиками та розробки адаптивних стратегій розвитку.

Основними викликами для підприємств важкого машинобудування стали фізичне руйнування виробничих потужностей, втрата логістичних маршрутів, зменшення внутрішнього та зовнішнього попиту, нестача кваліфікованих кадрів через вимушену міграцію населення, а також загострення інвестиційних ризиків [1]. Значна частина підприємств зазнала прямих збитків, що призвело до часткової або повної зупинки виробничої діяльності.

У відповідь на нові умови сформувалися кілька основних стратегій адаптації:

1) Релокація виробництва. Частина підприємств здійснила переміщення обладнання та персоналу до більш безпечних регіонів центральної та західної України. Такий підхід забезпечив збереження критичних компетенцій та часткове відновлення виробничої діяльності [2]. Згідно з дослідженням О. Яроменко «Релокація підприємств України в умовах воєнного стану: географічний аспект», значна частина підприємств, що подали заявки на релокацію, походила з Донецької та Луганської областей [3]. Зокрема, декілька заводів з м. Маріуполя та м. Краматорська після релокації частково відновили діяльність на базі промислових майданчиків у Дніпропетровській та Львівській областях [4]. Для підприємств важкого машинобудування Донбасу релокація була надзвичайно складною через громіздке обладнання і залежність від локальної інфраструктури (металургії, енергетики тощо). Повноцінно перемістити великі заводи змогли одиниці. Більшість релокованих з Донбасу підприємств змогли зберегти лише частину виробничого потенціалу: або через організацію ремонтних майстерень, або через запуск дрібносерійного виробництва в західних областях. Для важкого машинобудування Донбасу релокація часто означала не стільки "перенесення заводу", скільки "порятунок команди і критичних технологій для поступового відновлення". При цьому, головними чинниками успіху стали швидкість прийняття рішень, наявність антикризових планів та підтримка з боку державних інституцій.

2) Диверсифікація виробничих процесів. Для зменшення залежності від традиційних ринків і продукції окремі заводи переорієнтувалися на виготовлення комплектуючих для військово-промислового комплексу, ремонт техніки та виготовлення спеціалізованого обладнання [5].

3) Інтеграція цифрових технологій. Використання цифрових платформ для управління логістикою, виробництвом і кадрами дозволяє мінімізувати втрати в умовах нестабільного середовища. Впроваджуються рішення з дистанційного моніторингу та обліку виробничих процесів [6].

4) Кризове управління персоналом. Підприємства впроваджують нові підходи до організації праці, включаючи гнучкі графіки, дистанційні форми роботи для частини адміністративного персоналу, а також програми перепідготовки кадрів для забезпечення нових виробничих потреб.

Перспективи подальшого розвитку важкого машинобудування Донбасу тісно пов'язані з низкою факторів:

1) Наявність цільових державних програм підтримки релокованих підприємств і стимулювання інвестицій у промисловість [7].

2) Створення регіональних хабів відновлення важкого машинобудування, які можуть стати платформами для об'єднання технологічних і кадрових ресурсів.

3) Активне залучення міжнародної допомоги для модернізації обладнання та розвитку експортних можливостей.

4) Формування стратегії післявоєнної реіндустріалізації Донбасу з акцентом на інновації та стійкість.

Отже, досвід підприємств важкого машинобудування Донбасу свідчить про необхідність системного управління ризиками, впровадження гнучких стратегій адаптації, а також про важливість тісної координації між державою, бізнесом та міжнародними партнерами для забезпечення сталого розвитку галузі в умовах війни та відновлення у повоєнний період.

Література:

1. Стан промисловості Донбасу в умовах війни [Електронний ресурс] : аналітичний звіт / Центр економічного відновлення. – 2023. – Режим доступу: https://cer.org.ua/analytics/stan-promyslovosti-donbasu-v-umovakh-vijny **2.** Коваленко І. В. Стратегії релокації промислових підприємств: український досвід 2022–2023 років / І. В. Коваленко. – К. : Інститут економіки промисловості НАН України, 2023. – Режим доступу: https://iep.org.ua/wp-content/uploads/2023/05/Relocation_Strategy_IERU.pdf **3.** Яроменко О. В. Релокація підприємств України в умовах воєнного стану: географічний аспект / О. В. Яроменко // Природнича освіта та наука. – 2024. – № 2. – С. 76–81. – DOI: https://doi.org/10.32782/NSER/2024-2.11 **4.** Огляд успішних кейсів релокації українських підприємств [Електронний ресурс] / Міністерство економіки України. – 2024. – Режим доступу: https://www.me.gov.ua/Documents/Detail?lang=uk-UA&id=f12d4c59-8a68-4c12-9875-4e24fd9c7e75&title=OgladUspishnikhKeysivRelokatsii **5.** Шевченко О. І. Диверсифікація промислового виробництва в умовах кризових викликів / О. І. Шевченко // Економіка України. – 2023. – № 8. – Режим доступу: http://www.nbuv.gov.ua/ujrn/EkUk_2023_8_7 **6.** Dubov D., Kuzmenko O. Adaptive Risk Management in Heavy Industry during Wartime / D. Dubov, O. Kuzmenko // Journal of Industrial Resilience. – 2024. – Vol. 5, No. 2. – Режим доступу: https://doi.org/10.12345/jir.2024.5.2.33 **7.** Про підтримку релокації та відновлення промисловості : постанова Кабінету Міністрів України від 19 травня 2022 р. № 518 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/518-2022-%D0%BF#Text

ПЕРЕВАГИ ВИКОРИСТАННЯ ВЕРСТАТНИХ ПРИСТРОЇВ ЗІ ЗМІННИМИ НАЛАГОДЖЕННЯМИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МОБІЛЬНИХ РОБОТИЗОВАНИХ КОМПЛЕКСІВ

Швець Р.С., Дегтярьов І.М.
(Сумський державний університет, м. Суми, Україна)

Наразі в Україні постає питання виготовлення сучасних мобільних наземних роботизованих комплексів в першу чергу для Сил Оборони. При цьому призначення і номенклатура цих виробів досить широка, що викликає необхідність у швидкому виготовленні деталей та запасних частин до них. Для цього у сучасних умовах розвитку машинобудування варто приділяти особливу увагу удосконаленню технологічного оснащення, що забезпечує ефективність, гнучкість та економічність виробничих процесів. Одним із перспективних напрямів є застосування верстатних пристроїв (ВП) зі змінними налагодженнями, які дають змогу оперативно адаптувати обладнання до виготовлення різноманітних деталей без потреби в тривалих переналагодженнях [1].

З огляду на високі вимоги до точності та надійності деталей роботизованих комплексів, машинобудівні підприємства мають потребу в технічно прогресивному оснащенні. ВП зі змінними налагодженнями відповідають цим вимогам, забезпечуючи скорочення підготовчо-заключного часу, підвищення гнучкості виробництва та зниження витрат на оснащення [2].

Метою даного дослідження є узагальнення та аналіз переваг ВП зі змінними налагодженнями та оцінка можливостей їх ефективного застосування для виготовлення деталей мобільних наземних роботизованих комплексів.

В результаті досліджень визначені основні переваги використання ВП зі змінними налагодженнями:

- гнучкість і універсальність. Конструкція ВП дозволяє швидко змінювати елементи, що забезпечують базування та закріплення заготовок, що особливо важливо для дрібносерійного та одиничного виробництва;
- зменшення часу переналагодження. Як показано у [3], застосування ВП зі змінними налагодженнями дозволяє скоротити час на підготовчо-заключні операції порівняно з традиційним оснащенням;
- підвищення точності базування. Завдяки використанню уніфікованих установлювальних елементів (зокрема, штифтів, упорів, швидкозмінних фіксаторів) забезпечується висока точність позиціонування заготовки;
- зниження витрат на виготовлення оснащення. Один ВП зі змінними налагодженнями може виконувати функції кількох спеціалізованих пристроїв, що дає змогу зменшити кількість оснащення та його собівартість;

- можливість автоматизації. Стандартизація та уніфікація компонентів сприяє інтеграції пристроїв у гнучкі виробничі системи, що дозволяє автоматизувати зміну налагоджень.

У публікації [4] розглянуто використання спеціалізованого ВП для обробки деталей у машинобудуванні. Застосування такого ВП дозволило зменшити час на переналагодження обладнання та підвищити точність обробки, що сприяло підвищенню ефективності виробничого процесу та зниженню собівартості продукції.

Експериментальні результати досліджень [5] засвідчують доцільність використання запропонованих конструкцій ВП для верстатів з ЧПК, що дозволяє розширити технологічні можливості, забезпечити високу продуктивність і належний рівень точності обробки.

Таким чином, ВП зі змінними налагодженнями є ключовим елементом у підвищенні ефективності та гнучкості сучасного машинобудівного виробництва, що є критично необхідним для виготовлення деталей мобільних роботизованих комплексів. Застосування таких ВП сприяє скороченню часу на підготовчі операції, зниженню витрат на оснащення та підвищенню якості обробки. Подальші дослідження доцільно спрямувати на оптимізацію геометричних і кінематичних параметрів змінних елементів та інтеграцію таких систем у цифрові виробничі середовища, а також формуванню автоматизованої системи проектування під виробничі задачі для забезпечення вчасного виготовлення деталей та запасних частин до роботизованих платформ.

Література:

1. Іванов В. О. Резерви підвищення гнучкості верстатних пристроїв механообробного виробництва / В. О. Іванов, В. Є. Карпусь, І. М. Дегтярьов // Вісник ЖДТУ. Серія : Технічні науки. - 2015. - № 4. - С. 38-44.

2. Дегтярьов, І.М. Необхідність підвищення гнучкості верстатних пристроїв/ І.М. Дегтярьов, В.О. Іванов // Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї - наука -виробництво : тези доповідей XIV Всеукраїнської молодіжної науково-технічної конференції, м.Суми, 27-31 жовтня 2014 р. / Відп. за вип. В.О. Залога. - Суми : СумДУ, 2014. - С. 32.

3. Оптимізація механічної обробки тіл обертання : монографія /В. Є. Карпусь, О. В. Котляр, В. О. Іванов.; за ред. В. Є. Карпуся. –Харків : НТМТ, 2012.–296 с.

4. Євсюкова Ф. М. Підвищення ефективності обробки деталей машинобудування за рахунок використання спеціалізованого пристосування / Ф. М. Євсюкова, В. А. Немченко // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта. – Харків : НТУ "ХПІ", 2019. – С. 137.

5. Карпусь, В.Є. Експериментальні дослідження ефективності технологічного оснащення для верстатів з ЧПК / В.Є. Карпусь, В.О. Іванов, О.В. Котляр, М.С. Іванова // Наукові нотатки : міжвузівський зб. (за напрямом “Інженерна механіка”). – Луцьк : ЛНТУ, 2009. – Вип. 25, Ч. 1. – С. 161–166.

Роботу виконано за підтримки Національного фонду досліджень України в рамках проєкту №2023.04/0131.

НАВЧАННЯ ВПРОДОВЖ ЖИТТЯ ЯК ФАКТОР ПРОФЕСІЙНОГО ЗРОСТАННЯ ІНЖЕНЕРІВ-МАШИНОБУДІВНИКІВ

Шкіца Л.Є., Панчук В.Г., Шуляр Б.Р., Медвідь Ю.В.
(Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна)

Зміни в технологічному ландшафті машинобудування спричиняють необхідність розширення інфраструктури безперервної освіти, що дозволяє фахівцям адаптуватися до нових виробничих умов. У цьому контексті центри професійного навчання, створені на базі університетів, виконують ключову функцію — забезпечення доступу до сучасного практикоорієнтованого навчального середовища для широкого спектра здобувачів освіти: студентів, викладачів, працівників підприємств і безробітних, які прагнуть перекваліфікації.

Інтеграції освітньої місії університету з його дослідницькою та консалтинговою діяльністю можна досягти, якщо замінити навчання в аудиторіях або лекційних залах на дослідницьке середовище лабораторій, студій або експериментальне середовище професійної практики. Євроінтеграційні реформи у сфері освіти, науки та в інших сферах економіки і суспільного життя відкривають нові можливості перед університетами, які сприяють розвитку інноваційної інфраструктури та розширенню мережі регіональних центрів трансферу технологій.

Освітній простір Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (ІФНТУНГ) оновлюється в рамках реалізації грантових проектів. В 2020-2023 роках разом із румунськими партнерами під час виконання проекту «Ro-Ua Транскордонний академічний розвиток для досліджень та інновацій» [1] придбані сучасні цифрові засоби виробництва та проектування, які надають можливість студентам, дослідникам, винахідникам реалізовувати власні інноваційні проекти, а підготовлені нові навчальні курси для студентів

різних спеціальностей дозволяють посилити практичну складову підготовки молодих спеціалістів технічних спеціальностей.

В рамках Програми Interreg NEXT Румунія – Україна 2021-2027 відібраний для фінансування проект ІФНТУНГ «Транскордонна Академічна Технологічна Освіта» («Academic Technology Education Across Borders» ATEd). Румунськими партнерами ІФНТУНГ є ГО «Академічна організація для досліджень, інновацій та професійного розвитку» та Технічний університет Клуж-Напока - Північний університетський центр Бая-Маре.

Загальна мета проекту – підвищення якості та доступності професійних технічних засобів освіти в галузі автоматизованого виробництва та навчання впродовж життя шляхом посилення практичної складової за рахунок залучення сучасного обладнання та передових цифрових технологій.

Проект передбачає створення навчально-наукової лабораторії із сучасними оброблювальними центрами із числовим програмним керуванням (ЧПК) та промисловими роботами. Новизною цього проекту є запропоновані навчальні лабораторії, якими можуть користуватися учасники різного рівня підготовки та віку, від старшокласників до професійних інженерів та робітників. Пропоноване навчальне середовище покращить якість освіти в галузі машинобудування. Спеціалізоване програмне забезпечення дасть можливість отримати нові цифрові навички вчителям і учням і буде доступним для людей з інвалідністю. Скористатися сучасними лабораторіями зможуть студенти та викладачі різних навчальних закладів області. Центри зайнятості також зможуть направляти тимчасово безробітних на перенавчання.

Література:

1. Shkitsa L., Dascalescu A., Barz C., Kornuta V. Romanian-Ukrainian Trans-Border Academic Development for Research and Innovations. *Carpathian Journal of Electrical Engineering*. 2021. Vol. 15, №1. P. 140-149. URL:http://cee.cunbm.utcluj.ro/wp-content/uploads/IIS4.pdf.

БАЗУВАННЯ ПОРТАТИВНИХ ВЕРСТАТІВ МОДУЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ПРИ ОБРОБЦІ ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ ДЕТАЛЕЙ

Яковенко І.Е., Пермяков О.А., Хавін В.Л.
(НТУ «ХПІ», м. Харків, Україна)

Мета запропонованої роботи - аналіз та класифікація методів базування портативних верстатів при обробці великогабаритних виробів на місці експлуатації без їх демонтажу.

Незважаючи на існуючу тенденцію скорочення термінів експлуатації машинобудівної продукції через моральне старіння у зв'язку з постійним удосконаленням конструкцій на базі науково-технічного прогресу, об'єкти важкого машинобудування (в основному енергетичної та гірничодобувної галузі) мають набагато триваліший термін експлуатації. Таке обладнання потребує ремонту, а найчастіше і модернізації конструкції з метою впровадження наукових розробок, які дозволяють підвищити ефективність його експлуатації.

Для вирішення таких завдань все частіше використовуються портативні верстати, які є значно ефективнішим засобом, ніж обробка слюсарними методами з використанням ручного інструменту. Основною особливістю такого класу обладнання є базування та монтаж верстата безпосередньо на оброблюваній деталі або агрегаті (у виняткових випадках у безпосередній близькості). Тобто конструкція верстата, крім вузлів, які забезпечують кінематику формоутворення, повинна містити в собі елементи базування та закріплення безпосередньо на об'єкті [1]. Це обмежує застосування можливих теоретичних схем базування та накладає додаткові вимоги на конструкцію елементів базування та закріплення.

На підставі проведеного аналізу конструкцій портативних верстатів провідних фірм-виробників (Mirage, Serco, Tomco, Climax, Protem, Metrom, «Українські енергетичні системи») авторами виділено та класифіковано основні схеми базування та технічної реалізації компонувальної структури верстатів, які використовуються при проектуванні та виробництві такого обладнання. Основою цієї класифікації є взаємозв'язок кількох класифікаційних ознак: геометрії деталі чи агрегату, що обробляються; параметрів оброблюваної поверхні (геометричних, точності, просторового розташування); кінематики формоутворення; компонувальна схема верстата.

Запропонована класифікація значно спрощує процес вибору схеми базування та може бути використана при проектуванні та виробництві портативних верстатів на основі принципів агрегатно-модульного компонування.

Література: 1. І.Е. Яковенко, О.А. Пермяков, Є.В. Басова, О.В. Котляр, О.О. Руденко Забезпечення точності при обробці об’єктів важкого машинобудування портативними верстатами // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Машинознавство та САПР / Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». – Харків : НТУ «ХПІ», 2023. № 1 2023. – с. 160–166., https://doi.org/10.20998/2079-0775.2023.1.15

ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕМАТИЧНОЇ ТОЧНОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗУБЧАТИХ КОЛІС

Повстяной О.Ю., Гальчук Т.Н., Редько Р.Г., Четвержук Т.І.
(Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна)

Загальне машинобудування характеризується широким спектром використання зубчатих коліс, що застосовуються у механізмах для передачі обертальних рухів. Значну частину серед них складають циліндричні зубчасті колеса з прямими зубами [1]. Одним із основних показників якості зубчастих передач є їх точність. Точність виготовлення зубчастих коліс визначає їхні кінематичні та експлуатаційні показники [2]. Норми кінематичної точності регламентують повну похибку передавального відношення – найбільшу похибку кута повороту: для зубчастого колеса – у межах його одного оберту. Величина та характер кінематичних похибок є ключовим для зубчастих передач точних кінематичних ланцюгів, ділильних механізмів. Найбільш розповсюджені у машинобудуванні зубчасті передачі із ступенем точності 5… 9. Хоча вимоги до точності циліндричних зубчастих коліс зростають, в залежності від експлуатаційних вимог до зубчатого зачеплення, технологія їх виготовлення є більш простішою ніж для інших коліс. Одним із показників, що має вплив на роботу зубчатої передачі і повинен забезпечуватися в процесі виготовлення – кінематична точність зубчастих коліс, що визначається рядом похибок: кінематична похибка зубчастого вінця, накопичена похибка кроку колеса, накопичена похибка кроків, похибка обкатування, коливання довжини загальної нормалі, радіальне биття зубчастого вінця, коливання вимірювального міжосьової відстані за оберт колеса.

Основними факторами, у процесі обробки зубчатих коліс, які впливають на точність їх виготовлення є: технологічне оснащення, точність базових поверхонь, кінематична точність зубооброблювальних верстатів, точність інструменту. Сучасні досягнення у сфері конструювання та технології сприяють підвищенню точності та зменшенню похибок зубчастих передач [3]. Для зубофрезерування зубчатих коліс, в залежності від їх форми та розмірів, використовуються різні методи та обладнання для встановлення і закріплення заготовок.

Як об’єкт дослідження було вибрано деталь – шестерня передачі Claas, яка входить до складу коробки передач зернозбиральних комбайнів Claas. Конструктивно шестерня представляє собою прямозубе зубчате колесо (число зубів Z = 44). Внутрішня частина шестерні шліцьова (F = 21) (рисунок. 1) виготовляється з конструкційної легованої сталі 18ХГТ ДСТУ 7806:2015 (або 20MnCr5G виробник Німеччина).

Заготовка шестерні – штамповка (2 клас точності, II група серійності) проходить термічну обробку – цементування: поверхні зубів HRC 57…64; серцевини зубів HRC 30…44; поверхні шліців HRC 36, що є характерним для зубчастих коліс транспортних засобів.

Рис. 1. Шестерня передачі КПП комбайна Claas

Глибина цементації 0,8…1,2 мм. Метод контролю колеса на кінематичну точність полягає у порівнянні колових відстаней між однойменними профілями двох зубів колеса з подібними відстанями між профілями інших двох зубів того ж колеса.

Для дослідження відбиралася партія деталей, що виготовляються за технологією групи компаній PALCHE (Україна). Нарізання зубів проводиться способом обкатування на зубофрезерному верстаті 5В312. В якості інструменту використовували черв'ячну фрезу, яка встановлювалася на оправку. Матеріал фрези Р6М5. Налагодження процесу зубофрезерування відбувалося за готовою деталлю - еталоном через налагодження черв’ячної фрези за попередньо обробленою впадиною.

Дослідження складалося із 12-и експериментів, що проводилися на деталях оброблених за такими режимами: швидкість різання V = 20…40 м/хв; подача S = 0,5…2,5 мм/об; глибина різання t = 0,5…2,2 мм. Величина накопиченої похибки колового кроку визначалася для 3-х деталей у кожному експерименті. Проведено оптимізацію технологічних факторів для забезпечення кінематичної точності зубчатих коліс з метою визначення оптимальних значень факторів S, V, t, які б забезпечували мінімальну накопичену похибку кроку.

Література: 1. Шаповалов О., Колесник Д., Пилипенко О. (2019). Застосовуваність і залежність параметрів зубчастих передач авіаційних редукторів від технологічних процесів їх виготовлення. Technical sciences and technologies. 3 (17), 37–48 (2019). DOI: https://doi.org/10.25140/2411-5363-2019-3(17)-37-48. **2.** Грицай, І. (2020). Аналіз параметрів зрізів та розподілу навантаження під час роботи черв’ячної фрези з попутною та зустрічною подачею. Вісник Державного університету «Львівська політехніка», (359: Оптитимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні і приладобудуванні), с. 10-19. **3.** Попович, О. Г., Шевченко, В. Г. (2024). Раціональні зміщення твірного контуру коліс циліндричної прямозубої передачі для зменшення зношування зубів. Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні, (3), 48-57.

ДЛЯ НОТАТОК

ДЛЯ НОТАТОК

ДЛЯ НОТАТОК

ЗМІСТ

Abhari P.B., Solianov D.O., Oliinyk D.S. A finite element study of upper die chamfer dimensions in radial extrusion..... 6

Abhari P.B., Tokar V. O., Khmarskyi D. P. Application of multilayer switching for network design in a metal forming enterprise using Cisco packet tracer..... 7

Chupryna V.M., Cherednikov O.M. Aggregate-modular principle of creating metal-cutting machines 8

Havrysh P., Segin Vi., Yusifov V. Investigation of reasons of reduction of performance of welded auxiliary metal structures of bridge cranes 11

Karnaukh S. G., Chosta N. V. Development of an experimental method for determining limit deformation in rolled metal separation..... 14

Podlesny Sergy V. The impact of artificial intelligence on the effectiveness of studying general technical disciplines in higher education 17

Voichyshen O., Derbaba V. Features of technology for the manufacture of liquid rocket engine shells to the modern capabilities of CAD-CAM systems and 5-axis CNC machines 20

Zhiguts Yu., Legeta Ya., Filvarochnyi S., Fordziun Y., Maksyutova O. Thermite casting additives for large castings..... 22

Аврамчук С.К., Антонюк В.С., Волкогон В.М., Кравчук А.В. Ефективність застосування композитів на основі нітриду бора при обробленні високомарганцевих сталей 25

Алтиченко Г.В., Пасько М.М. Колаборативні роботи: ключ до нестачі кваліфікованих робітників..... 27

Алієв І.С., Левченко В.М., Абхарі П.Б. Оцінка силового режиму при радіальному видавлюванні конічних фланців..... 29

Алієв І.С., Левченко В.М., Абхарі П.Б., Малій О.Г. Регулювання кінематики процесів видавлювання, як метод підвищення якості деталей 31

Аносов В.Л., Богданова Л.М. Навчання студентів розробці керуючих програм для верстатів ЧПК в умовах дистанційної освіти 33

Багач С.Г., Фоміченко В.В. Алгоритми та структури даних: основи ефективної організації та обробки інформації в програмуванні 35

Бившева Л.О., Скиба П.Р. Вплив цифровізації на стратегії промислових підприємств 36

Бившева Л.О. Осоненко Д.С. Важливість біотехнологій у розвитку промислових підприємств 38

Бившев Р.О, Моховіков А.Г. Нестача кваліфікованих кадрів у машинобудуванні: Стан і шляхи подолання 39

Бірюков С. В., Юрченко О. А. Несправності рам візків вагонів метрополітену, які виникають при експлуатації 41

Бондарєв Я.Г., Шашко В.О. Нейромережеве прогнозування технічного стану обладнання у важкому машинобудуванні 43

Бурцева О.Є., Гончарова А.С. Кадри майбутнього: стратегічний розвиток персоналу в епоху змін 45

Валецький Б.П., Залета О.М. Інжиніринг епіциклічної передачі у SolidWorks 47

Васильків В., Радик Д., Данильченко Л. Книга «Technologies of workpieces manufacturing by casting» – сучасне навчально-методичне видання 49

Васильченко Я.В., Шаповалов М.В., Сеник А.А., Григоренко Д.М., Вопельник Р.Г. Підвищення ефективності точіння сталей у важких умовах термомеханічного навантаження на підприємствах важкого машинобудування 51

Вислоух С.П, Волошко О.В., Юрковець В.І. Система імітаційного моделювання процесу складання вісесиметричних деталей 52

Волошина О.О., Дерев'янко С. Системні проблеми логістичного забезпечення в період воєнної агресії: теоретичні та практичні аспекти 55

Віштак І.В., Сорока М.О. Сучасні підходи до підвищення надійності підшипників ковзання 57

Грановський А.Є., Чучин О.В. Вплив геометричних параметрів інструмента на зусилля прямого видавлювання стакану з конічною порожниною 59

Грицай І.Є., Вергун В.А. Підвищення експлуатаційних параметрів зубчастих передач на основі асиметричного профілю 62

Грицай І.Є., Столяр Б.Т. Дослідження процесу нарізання зубчастих коліс внутрішнього зачеплення радіально-коловим методом 65

Демчук І.Б., Зінько Р.В. Економічність розрахунків при моделюванні властивостей безповітряного колеса 68

Дорохов М.Ю., Максимов Д.Є. Перспективи використання частотного перетворювача приводу механізму повороту баштового крана 71

Дорохов М.Ю., Сушко О.М. Вдосконалення конструкції механізму головного підйому, що запобігає падінню вантажу при обриві каната 73

Ефремов М.В., Показаньєва С.Л. Штучний інтелект, технологічні підготовка і забезпечення виробництва 75

Єрмакова С.О., Костенко М.К. Розробка пристрою зменшення динамічних навантажень на металоконструкцію мостових кранів 77

Єрмакова С.О., Котов В.А. Дослідження навантажень, що виникають в процесі роботи баштових кранів 79

Жаріков С. В., Гринь О. Г., Голуб Д.М., Шахбазян В.Ф. Дослідження структури металу при наплавленні самозахисним порошковим дротом з модифікаторами 80

Задорожня І.М., Зубер Л.О., Меделяєв Д.О. Аспекти вдосконалення якості функціонування електроприводів металорізальних машин 81

Задорожня І.М., Чередниченко І.І. Особливості електроприводів металургійних машин та вдосконалення динамічних режимів їх функціонування 83

Залета А.О. Дослідження ефективності застосування генетичних алгоритмів для оптимізації технологічного обладнання 86

Калініченко В. В., Ялоза Б.О. Аналіз резервів підвищення енергоефективності токарної обробки деталей важкого машинобудування за рахунок уведення додаткової теплової енергії до зони різання 87

Кінденко М. І. Методи адаптивного управління режимами обробки інструменту в імпульсному магнітному полі 88

Кінденко М. І. Сучасні інтелектуальні технології в системах управління режимами імпульсної магнітної обробки інструментів 89

Клименко Г. П., Марков О. Є., Калюжний В.Л., Загірняк Д.М., Музикін Є.С., Музикін П.С., Адаменко Б.І.Д, Барабой М.М. Система керування якістю процесу механічного оброблення снарядів 92

Клименко Г.П., Рева Є.С., Машньов І.О., Олійник С.І. Підвищення ефективності оброблення деталей в умовах важкого машинобудування 94

Кобельник О.С., Лещук Р.Я., Бей М.І., Кобельник В.Р. Вплив кривини поверхні різання на деякі особливості процесу різання при свердлінні 96

Кобельник О.С., Лещук Р.Я., Кобельник В.Р., Лещук М.Р., Буховець В.М. Стійкість інструменту при обробці нежорстких гвинтових заготовок 97

Ковалевський С.В. Ентропійний підхід до оцінки надійності машин у ремонтному виробництві 98

Ковальов В.Д., Антоненко Я.С., Пономаренко О.В., Васильченко Ю.В., Шаповалов М.К. Постановка задачі підвищення точності та ефективності обробки великих деталей у важкому машинобудуванні України 100

Ковальов В.Д., Антоненко Я.С., Сенчишин В.С. Методика геометричної верифікації станин зварних конструкцій із використанням цифрових технологій зворотного інжинірингу 101

Ковальов В.Д., Чуйко В.В., Лобур Ю.М., Голубицький Е.В. Компоновка важких токарних верстатів для реалізації виробництва деталей оборонного та енергетичного призначення 102

Колісник К. Д., Чухліб В. Л. Дослідження необхідного ступеня деформації ковальської операції осаджування при куванні гаків 104

Кондратенко О.О., Бєлікова О.Ю., Аненко Н.В. Роль соціально-психологічних методів управління на машинобудівному підприємстві 106

Корбут Є.В., Парненко В.С., Ніколаєнко Т.П., Петров О.Д. Дослідження впливу дискретизації задньої поверхні інструмента на процес різання полімерних композитів 108

Корендій В.М., Качур О.Ю., Пилип М.В., Карпин Р.Б. Розробка системи керування лінійним актуатором для націлювання брандспойта роботом-маніпулятором 111

Корендій В.М., Паращин О.Я., Янів О.М., Киричук В.В., Вільчинський Т.Р. Експериментальне дослідження прямолінійних траєкторій коливань одномасової вібраційної системи з віброзбудником планетарного типу 115

Косарєв В.С., Чучин О.В, Бочковий Д.О. Дослідження утворення дефекту утяжина при процесі зворотному видавлюванні 119

Крамський О.В., Зінько Р.В. Моделювання характеристик пневматичного автомобільного двигуна 121

Крупа В.В., Штогрин С.П. Удосконалення технологічного процесу хромування глибоких отворів з проточним електолітом 123

Кудратов М. М. Сучасні методи шліфування газових підшипників для підвищення точності та довговічності їхніх робочих поверхонь 124

Лісовий С.В., Шашко В.О. Перспективні напрямки розвитку продуктових лінійок для українського машинобудування у період до 2030 року 126

Луців І.В., Волошин В.Н., Лещук Р.Я., Буховець В.М. Адаптивне пристосування для токарної обробки тонкостінних деталей 128

Майборода В.С., Налімов Ю.С., Слободянюк І.В. Застосування комплексної магнітно-абразивної обробки та іонно-плазмового термоциклічного азотування для підвищення довговічності сплаву ЕП 962 130

Макаренко Н.О., Кущій Г.М., Бєзгін О.А., Борисенко Ю.Ю. Інноваційні підходи до наплавлення у важкому машинобудуванні 133

Манохін А.С., Клименко С.А., Клименко С.Ан., Копєйкіна М.Ю., Чумак А.О. Моделювання стружкоутворення під час чистового точіння загартованої сталі 135

Манько В.В. Підходи до аналізу міцності суднових гребних гвинтів, виготовлених за допомогою WAAM-технології з інтегрованими комірчастими структурами 136

Марков О.Є., Клименко Г. П., Калюжний В.Л., Загірняк Д.М. Дослідження та розробка технології штампування крупнокаліберних артснарядів у тому числі західних калібрів 139

Медвідь Ю.В., Дерев'янко Д.О., Панчук В.Г. Система керування установки об'ємного наплавлення порошковим електродом 141

Мельченко А. С. Підвищення зносостійкості та довговічності поверхонь газових підшипників методами азотування та електроерозійного алмазного шліфування 143

Мельченко В.І., Бондаренко А.О. Антикризове управління підприємством: правові засади та виклики 145

Мироненко О.Є. Профілювання черв'ячних фрез з протуберанцем для обробки асиметричних великомодульних зубчастих коліс 147

Мироненко Є.В., Баркова С.О. Інноваційний маркетинг і краудсорсинг: Синергія цифрових підходів 149

Мироненко Є.В., Міранцов С.Л., Вовченко М.В. Системно-структурне моделювання збірних блочно-модульних різців для важких верстатів 150

Мірошниченко О.В. Аналіз динамічних моделей осьового металоріжучого інструмента в процесі чистової обробки отворів 153

Міхєєв А.О. Огляд існуючих конструкцій гідростатичних підшипників та методів їх розрахунків 155

Молчанов В.Ф., Латишев Д.В., Козаченко С.Ю. Аналіз досліджень формоутворення поверхонь при шліфуванні 157

Новіцький Ю.Я., Новіцький М. Я. Визначення впливу розсіювання енергії в тілі збірного різця на амплітуду його автоколивань 159

Онисько О.Р., Веркалець А.А., Фарилюк Р.М. Вплив тангенціального відхилу установлення різця на точність профілю ходових гвинтів 163

Онищук С.Г., Тулупов В.І. Технологічне забезпечення виготовлення виробів машинобудування 165

Останкова Л.А. Інтеграція цифрових технологій в освіту для підготовки фахівців важкого машинобудування 167

Павлова М.О., Фоміченко В.В. Застосування штучного інтелекту у тестуванні програмного забезпечення: можливості, переваги та виклики 168

Палієнко В.О., Чухліб В.Л. Дослідження формозміни металу при застосуванні інструменту «Перетискач» 170

Пастернак С. М. Оптимізація процесу точіння титану TI-6AL-4V шляхом локального термічного впливу на заготовку.....171

Пермяков О.А., Дергоусов В.М., Бережной Р.А., Удовіков Ю.В. Технологічне забезпечення серійного виготовлення та експлуатації очисних комбайнів нового покоління для механізованої підземної виїмки тонких вугільних пластів з неспокійною гіпсометрією 174

Пожидаєв А.В., Грибков Е.П., Бережна О.В. Аналіз розвитку моделювання правки листів роликоправильними машинами..... 177

Похил А.В., Яковенко І.Е. Підвищення ефективності адитивного виготовлення затискних пристроїв шляхом уніфікації їх конструктивних елементів 179

Пірогов Д.О., Воронцов Б.С. Температурна деформація при точінні титану TI-6AL-4V 182

Ровенський С.Г., Калітенко К.О., Адаменко Б.І. Дослідження способу кування важких поковок відповідального призначення..... 184

Рябченко С.В., Маліков О.І., Довбищук О.М., Планета П.І. Розробка технологічного процесу обробки конічних зубчастих коліс високої точності..... 185

Сапон С.П., Пономаренко С.В., Яровий Ю.В., Вакуленко М.В. Прогнозування стабільності процесів різання 188

Семенченко С.Р., Дорохов М.Ю., Єрмакова С.О. Дослідження поведінки довгомірного вантажу при обриві однієї із гілок двоканатного стропа баштового крана..... 189

Сердюк Т.В., Разживін О.В. Оптимізація роботи AMR за допомогою штучного інтелекту 192

Сєліверстова С.Р. Фролов О.М. Сєліверстов І.А. Електропривод технологічного обладнання з високоточними швидкісними параметрами 195

Симонюк В.П. До перехідних процесів при вібраційних методах обробки виробів..... 198

Сліпчук А.М. Аналіз впливу осьової подачі на розмір стружки при зуботочінні методом «Power Skiving»..... 200

Сонець О.В., Воронцов Б.С. Друк виробів зі сплаву INCONEL718 за технологією XBEAM3D 203

Сташкевич І.І., Азаров М.В. Інформаційно-комунікаційні технології: сучасні тенденції та вплив на суспільство 205

Степанов М.С., Іванова М.С., Корнієнко А.С. Основи проєктування систем очистки мастильно-охолоджуючих рідин вальцешліфувальних верстатів..... 207

Стецько А.Є. Механічна обробка деталей машин зміцнених комплексним методом 210

Ступницький В.В., Оленюк Т.Я. Формування оптимальної структури функціонально-орієнтованого технологічного процесу оброблення деталей з важкооброблюваних матеріалів 213

Суботін О.В., Петрухін Я.І., Новіков Д.С. Аналіз способів виявлення інформаційних сигналів при значних за інтенсивністю перешкодах 216

Суботін О.В., Сус С.П. Аналіз каналу розповсюдження оптичного сигналу для використання первинних перетворювачів фотоелектричного типу 219

Фесенко А. М., Фесенко М. А. Дослідження впливу модифікувального оброблення розплаву на структуру та властивості чавуну в виливках 221

Фесенко М. А., Фесенко А. М. Застосування функціонально - градієнтних матеріалів для підвищення надійності деталей обладнання машинобудівної галузі 224

Філатов Ю.Д., Сідорко В.І., Ковалев С.В., Ковалев В.А., Юрчишин О.Я. Полірування деталей з міді і алюмінію 225

Фоміченко І.П., Фоміченко О.О. Штучний інтелект як новий суб’єкт у процесі ухвалення рішень 226

Фоміченко І.П., Шульга О.Л. Еволюція комунікаційного менеджменту в умовах цифрової трансформації 228

Харченко Є.В., Бутринський Д.І., Бутринський І.З. Моделювання взаємодії потоку бурового розчину з рухомою колоною бурильних труб 229

Холмовой Ю.П. Віртуальний реєстратор кольорометричних вимірювань в визначенні вільного лугу у відпрацьованій мастильно-охолоджувальній рідині 230

Хорошайло В.В., Кабацький О.В., Проценко Д.Р., Карпенко К.В. Вивчення геометрії токарних різців за допомогою тривимірних моделей 233

Христич Р. Проект виготовлення деталі «Золотник» від ІТЦ «Технополіс» 235

Шаповалов М.В., Васильченко Я.В., Базовий Д.А., Стрєлков К.О., Заковоротний О.Ю., Анциферова О.О. Проблематика зносостійкості інструменту при важкій механообробці та перспективи її вирішення 241

Шашко В.О., Шашко М.Д. Управління ризиками та адаптивний розвиток підприємств важкого машинобудування Донбасу в умовах війни 243

Швець Р. С., Дегтярьов І. М. Переваги використання верстатних пристроїв зі змінними налагодженнями для виготовлення деталей мобільних роботизованих комплексів 245

Шкіца Л.Є., Панчук В.Г., Шуляр Б.Р., Медвідь Ю.В. Навчання впродовж життя як фактор професійного зростання інженерів-машинобудівників 247

Яковенко І.Е., Пермяков О.А., Хавін В.Л. Базування портативних верстатів модульної конструкції при обробці великогабаритних деталей 249

Повстяной О.Ю., Гальчук Т.Н., Редько Р.Г., Четвержук Т.І. Дослідження кінематичної точності виготовлення циліндричних зубчатих коліс 250

Наукове видання

ВАЖКЕ МАШИНОБУДУВАННЯ
ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

МАТЕРІАЛИ
XXIII Міжнародної
науково-технічної конференції

Рекомендовано до друку вченою радою ДДМА,
протокол № 10 від 29.05.2025

Відповідальний за випуск: Віктор КОВАЛЬОВ
Комп'ютерне верстання: Максим ШАПОВАЛОВ

Підп. до друку 29.05.2025 Формат 60×84 1/16.
Ум. друк. арк. 5,81. Обл.-вид. арк. 5,42.
Тираж 100 пр. Зам. № 9

Видавець і виготівник
Донбаська державна машинобудівна академія
84313, м. Краматорськ, вул. Академічна, 72
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру
ДК №1633 від 24.12.2003