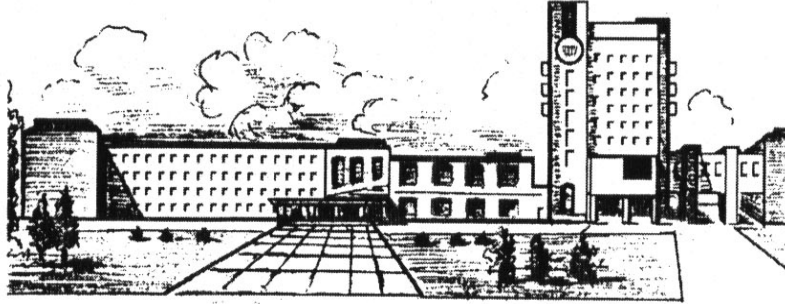


ISSN 2411-5363 (print)
ISSN 2519-4569 (online)

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЧЕРНІГІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**



ТЕХНІЧНІ НАУКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

№ 4(26)

Чернігів 2021

Друкується за рішенням вченої ради Національного університету «Чернігівська політехніка» (протокол № 13 від 28.12.2021 р.). Науковий журнал «Технічні науки та технології» внесено до переліку наукових фахових видань України, затвердженого Наказом Міністерства освіти і науки України від 11.07.2019 р. № 975, відповідно до якого журналу надано категорію «Б».

Технічні науки та технології : науковий журнал / Національний університет «Чернігівська політехніка». – Чернігів : Т38 НУ «Чернігівська політехніка», 2021. – № 4(26). – 170 с.

В журналі вміщено статті, присвячені теоретичним та експериментальним дослідженням у науковому напрямі «Технічні науки» за спеціальностями: прикладна механіка, матеріалознавство, машинобудування, інформаційно-комп'ютерні технології, електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, хімічні та харчові технології, будівництво та геодезія. Статті прорецензовані провідними вченими у відповідних галузях знань.

Журнал «Технічні науки та технології» буде корисним для науковців, науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та студентів технічних спеціальностей закладів вищої освіти.

УДК 62:67.05

Головний редактор:

Казимир В. В., доктор технічних наук, професор, НУ «Чернігівська політехніка».

Заступник головного редактора:

Сапон С. П., кандидат технічних наук, доцент, НУ «Чернігівська політехніка».

Члени редакційної колегії:

Прикладна механіка, матеріалознавство та машинобудування

Бойко С. В., кандидат технічних наук, доцент, НУ «Чернігівська політехніка»;

Болотов Г. П., доктор технічних наук, професор, НУ «Чернігівська політехніка»;

Дмитрієв Д. О., доктор технічних наук, професор, Херсонський національний технічний університет;

Єрошенко А. М., кандидат технічних наук, доцент, НУ «Чернігівська політехніка»;

Кальченко В. В., доктор технічних наук, професор, НУ «Чернігівська політехніка»;

Кальченко В. І., доктор технічних наук, професор, НУ «Чернігівська політехніка»;

Марков О. С., доктор технічних наук, професор, Донбаська державна машинобудівна академія;

Новомлинець О. О., доктор технічних наук, доцент, НУ «Чернігівська політехніка»;

Пилипенко О. І., доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник, Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки.

Повстяний О. Ю., доктор технічних наук, доцент, Луцький національний технічний університет;

Федориненко Д. Ю., доктор технічних наук, професор, Tohoku University, Японія;

Ющенко С. М., кандидат технічних наук, доцент, НУ «Чернігівська політехніка».

Інформаційно-комп'ютерні технології

Азаров О. Д., доктор технічних наук, професор, Вінницький національний технічний університет;

Дорош М. С., доктор технічних наук, доцент, НУ «Чернігівська політехніка»;

Єременко В. С., доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського»;

Зайцев С. В., доктор технічних наук, доцент, НУ «Чернігівська політехніка»;

Казимир В. В., доктор технічних наук, професор, НУ «Чернігівська політехніка»;

Криворучко О. В., доктор технічних наук, професор, Київський національний торговельно-економічний університет;

Мелешко Е. В., доктор технічних наук, доцент, Центральнотериторіальний національний технічний університет;

Павленко П. М., доктор технічних наук, професор, Національний авіаційний університет;

Семенов С. Г., доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

Цюцюра С. В., доктор технічних наук, професор, Київський національний університет будівництва і архітектури.

Енергетика, електротехніка та електромеханіка

Вініков Д., доктор технічних наук, професор, Таллінський університет технологій (Естонія);

Волков І. В., доктор технічних наук, професор, Інститут електродинаміки НАН України;

Галкін І., доктор технічних наук, професор, Ризький технічний університет (Латвія);

Гусев О. О., кандидат технічних наук, доцент, НУ «Чернігівська політехніка»;

Денисов Ю. О., доктор технічних наук, професор, НУ «Чернігівська політехніка»;

Приступа А. Л., кандидат технічних наук, доцент, НУ «Чернігівська політехніка»;

Ромеро-Кадавал Е., доктор технічних наук, професор, Університет Естремадури (Іспанія);

Степенко С. А., кандидат технічних наук, доцент, НУ «Чернігівська політехніка».

Хімічні та харчові технології

Буяльська Н. П., кандидат технічних наук, доцент, НУ «Чернігівська політехніка»;

Самохвалова О. В., кандидат технічних наук, професор, Харківський державний університет харчування та торгівлі;

Сиза О. І., доктор технічних наук, професор, Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т. Г. Шевченка;

Трус І. М., кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського»;

Цибуля С. Д., доктор технічних наук, професор, НУ «Чернігівська політехніка»;

Челябієва В. М., кандидат технічних наук, доцент, НУ «Чернігівська політехніка».

Будівництво та геодезія

Білик С. І., доктор технічних наук, професор, Київський національний університет будівництва і архітектури;

Крочок С. Д., кандидат технічних наук, доцент, НУ «Чернігівська політехніка»;

Михайловський Д. В., доктор технічних наук, доцент, Київський національний університет будівництва і архітектури;

Палаяніца Б. Б., кандидат технічних наук, доцент, НУ «Львівська політехніка»;

Савенко В. І., кандидат технічних наук, професор, Київський національний університет будівництва і архітектури;

Шульц Р. В., доктор технічних наук, професор, Київський національний університет будівництва і архітектури;

Юрченко В. В., доктор технічних наук, доцент, Київський національний університет будівництва і архітектури.



ISSN 2411-5363 (print)
ISSN 2519-4569 (online)

**MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
CHERNIHIV POLYTECHNIC NATIONAL UNIVERSITY**



TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

SCIENTIFIC JOURNAL

ISSUE № 4(26)

Chernihiv 2021

Published by the decision of the Academic Council of the Chernihiv Polytechnic National University (protocol № 13 dated 28.12.2021). Scientific journal "Technical sciences and technologies" is included into the list of scientific specialized editions of Ukraine, approved by the Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine dated July 11, 2019 № 975, according to which magazine is assigned a category «B».

Technical sciences and technologies : scientific journal / Chernihiv Polytechnic National University. – Chernihiv : Chernihiv Polytechnic National University, 2021. – № 4(26). – 170 p.

This journal contains articles devoted to theoretical and experimental research in the scientific direction "Technical Sciences" by specialties: applied mechanics, materials science and machine building, information and computer technologies, electric power engineering, electrical engineering and electromechanical engineering, chemical and food technologies, construction and geodesy. The articles are reviewed by leading scientists in relevant fields of knowledge.

Journal "Technical sciences and technologies" will be useful for the scientific and technical workers, postgraduates, master students and students of higher technical educational establishment.

UDC 62:67.05

Editor in chief:

Kazymyr V. V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Chernihiv Polytechnic National University.

Deputy Editor in chief:

Sapon S. P., PhD in Technical Sciences, Associate Professor; Chernihiv Polytechnic National University.

Members of the Editorial Board:

Applied mechanics, materials science and machine building

Boyko S. V., PhD in Technical Sciences, Associate Professor; Chernihiv Polytechnic National University;

Bolotov H. P., Doctor of Technical Sciences, Professor; Chernihiv Polytechnic National University;

Dmytriiev D. O., Doctor of Technical Sciences, Professor, Kherson National Technical University;

Yeroshenko A. M., PhD in Technical Sciences, Associate Professor; Chernihiv Polytechnic National University;

Kalchenko V. V., Doctor of Technical Sciences, Professor; Chernihiv Polytechnic National University;

Kalchenko V. I., Doctor of Technical Sciences, Professor; Chernihiv Polytechnic National University;

Markov O. Ye., Doctor of Technical Sciences, Professor, Donbaska derzhavna mashynobudivna akademii;

Novomlynets O. O., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor; Chernihiv Polytechnic National University;

Pilipenko O. I., Doctor of Technical Sciences, Professor, leading scientific coworker, State Research Institute of Tests and Certification of Armament and Military Technique;

Povstianyi O. Yu., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Lutsk National Technical University;

Fedorynenko D. Yu. Doctor of Technical Sciences, Professor, Tohoku University, Japan;

Yushchenko S. M., PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Chernihiv Polytechnic National University».

Information and computer technologies

Azarov O. D., Doctor of Technical Sciences, Professor, Vinnytsia National Technical University;

Dorosh M. S., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Chernihiv Polytechnic National University»;

Yeremenko V. S., Doctor of Technical Sciences, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky»;

Zaitsev S. V., Doctor of Technical Sciences, Chernihiv Polytechnic National University.

Kazymyr V. V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Chernihiv Polytechnic National University;

Kryvoruchko O. V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Kyiv National University of Trade and Economics;

Meleshko Ye. V., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Central Ukrainian National Technical University;

Pavlenko P. M., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Aviation University;

Semenov S. H., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»;

Tsiutsiura S. V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Kyiv National University of Construction and Architecture.

Power engineering, electrical engineering and electromechanical engineering

Vinnikov D., Doctor of Science, Senior Researcher, Head of Power Electronics R&D Group, Tallinn University of Technology, Tallinn, Estonia;

Volkov I. V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine;

Galkin I., Doctor of Science, Professor, Riga Technical University, Riga, Latvia;

Husev O. O., PhD in Technical Sciences, Associate Professor; Chernihiv Polytechnic National University;

Denysov Yu. A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Chernihiv Polytechnic National University;

Prystupa A. L., PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Chernihiv Polytechnic National University;

Romero-Cadaval E., Doctor of Science, Professor, University of Extremadura, Badajoz, Spain;

Stepenko S. A., PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Chernihiv Polytechnic National University.

Chemical and food technologies

Buialska N. P., PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Chernihiv Polytechnic National University;

Samokhvalova O. V., PhD in Technical Sciences, Professor, Kharkiv State University of Food Technology and Trade;

Syza O. I., Doctor of Technical Sciences, Professor, Taras Shevchenko National University «Chernihiv Collegium»;

Trus I. M., PhD in Technical Sciences, Associate Professor, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky»;

Tsybulia S. D., Doctor of Technical Sciences, Professor; Chernihiv Polytechnic National University;

Cheliabieva V. M., PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Chernihiv Polytechnic National University.

Construction and geodesy

Bilyk S. I., Doctor of Technical Sciences, Professor, Kyiv National University of Construction and Architecture;

Kriachok S. D., PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Chernihiv Polytechnic National University;

Mykhailovskiy D. V., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Kyiv National University of Construction and Architecture;

Palianysia B. B., PhD in Technical Sciences, PhD in Technical Sciences, Lviv Polytechnic National University;

Savenko V. I., PhD in Technical Sciences, Professor, Kyiv National University of Construction and Architecture;

Shults R. V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Kyiv National University of Construction and Architecture;

Yurchenko V. V., Doctor of Technical Sciences, PhD in Technical Sciences, Kyiv National University of Construction and Architecture.



ЗМІСТ

РОЗДІЛ I. ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА, МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО
ТА МАШИНОБУДУВАННЯ

<i>Kovalevskyy S., Kovalevska O.</i> New opportunities for processing materials in strong magnetic field.....	7
<i>Скляр В.</i> Аналіз методів обробки шатунних шийок колінчастих валів орієнтованим інструментом	15
<i>Олексієнко С., Ющенко С., Руденко М., Гречка В.</i> Проєкт конструкції призматичного бункера та оцінка ефективності прийнятих рішень	33
<i>Цисар М., Загора А., Бабак А., Івахненко С., Заневський О., Льницька Г., Загора Є.</i> Залежність статичної міцності крупних кристалів синтетичного алмазу типу Ib октаєдричного габітусу, після хіміко-термічної обробки, від їхнього розміру	43
<i>Guliyev S.</i> Assessment of rolling pills operating conditions	49
<i>Мастенко І., Сапон С., Стельмах Н.</i> Machine vision як невідемна частина інтелектуальних технологічних систем	58

РОЗДІЛ II. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Риндич Є., Боровик А., Боровик О.</i> Дослідження технологій тунелювання в сучасних комп'ютерних мережах.....	67
<i>Матус Ю., Осипова Т., Гусєв Б., Сагун А.</i> Інформаційні технології для систем підтримки прийняття рішень з інфрачервоного сушіння зерна	75
<i>Мамчуровський В., Павлюк В., Прищеп Д., Трунова О., Дорош М.</i> Нейро-нечітка модель інформаційної технології комплексної оцінки рівня успішності startup-проєктів	87
<i>Рибак О.</i> Застосування еволюційних методів оптимізації для вибору режимів шліфування	97

РОЗДІЛ III. ХІМІЧНІ ТА ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Іванченко А., Сокол О., Єлатонцев Д., Ляпка К., Рєвак О.</i> Застосування кислотного активованого цеоліту в технології очищення стічних вод від барвників	106
<i>Плаван В., Тарасенко Н., Дутчин Т., Будаш Ю.</i> Регулювання сорбційної здатності комбінованих волокнистих матеріалів, наповнених глинистими мінералами.....	113
<i>Романовська О.</i> Комплексна оцінка якості бісквітів	121

РОЗДІЛ IV. ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА
ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

<i>Войтенко В., Єршов Р.</i> Надвисокорівневе програмування системи електроприводів квадрокоптерів та автономних роботів	129
--	-----

РОЗДІЛ V. БУДІВНИЦТВО ТА ГЕОДЕЗІЯ

<i>Іванишин В., Томілець А.</i> Польові й лабораторні інженерно-геологічні дослідження під будівництво двоповерхового житлового будинку на вулиці Авіації, 6а (Олександрівка, м. Чернігів).....	140
<i>Беспалько Р., Казімір І., Гуцул Т.</i> Потреба актуалізації вимог щодо професійної підготовки та кадрового забезпечення у землеустрої.....	147
<i>Ванчура Р., Смолий К., Серант О., Четверіков Б., Вітровий А., Серант О.-М.</i> Проблеми відведення земель прикордонної смуги України	160

ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ТА ПОДАЧІ РУКОПИСІВ НАУКОВИХ СТАТЕЙ	169
---	-----

CONTENT

SECTION I. APPLIED MECHANICS, MATERIALS SCIENCE
AND MACHINE BUILDING

<i>Kovalevskyy S., Kovalevska O.</i> New opportunities for processing materials in strong magnetic field.....	7
<i>Sklyar V.</i> Analysis of methods of processing crankshaft connecting rods oriented tools	15
<i>Oleksiienko S., Yushchenko S., Rudenko M., Grechka V.</i> Project of prismatic bunker structure and estimation of accepted solutions efficiency	33
<i>Tsysar M., Zakora A., Babak A., Ivakhnenko S., Zanevskii O., Ilnitska H., Zakora Ie.</i> Dependence for synthetic diamond large crystals type Ib of octahedral habitus on their size after chemical-thermal processing of static strength	43
<i>Guliyev S.</i> Assessment of rolling pills operating conditions	49
<i>Mastencko I., Sapon S., Stelmakh N.</i> Machine vision as an integral part of the intellectual technological systems.....	58

SECTION II. INFORMATION AND COMPUTER TECHNOLOGIES

<i>Ryndych Ye., Borovyk A., Borovyk O.</i> Research of tunneling technologies in modern computer networks	67
<i>Matus Yu., Osypova T., Gusev B., Sahun A.</i> Information technologies for decision support systems on infrared grain dehydration	75
<i>Mamchurovskiy V., Pavliuk V., Pryshepa D., Trunova O., Dorosh M.</i> Neuro-fuzzy model of information technology of complex assessment of success level of startup projects	87
<i>Rybak O.</i> Applying evolutionary methods of optimization for grinding regimes selection	97

SECTION III. CHEMICAL AND FOOD TECHNOLOGIES

<i>Ivanchenko A., Sokol O., Yelantsev D., Lyapka K., Revak O.</i> Application of acid-activated zeolite in dyes wastewater purification technologies	106
<i>Plavan V., Tarasenko N., Dutchin T., Budash Yu.</i> Regulation of sorption capacity of combined fiber materials filled with clay minerals	113
<i>Romanovska O.</i> Comprehensive assessment of sponge cake quality.....	121

SECTION IV. ELECTRIC POWER ENGINEERING,
ELECTRICAL ENGINEERING AND ELECTROMECHANICS

<i>Voytenko V., Yershov R.</i> Ultra-high-level programming of the system of electric drives of quadcopters and autonomous robots	129
---	-----

SECTION V. CONSTRUCTION AND GEODESY

<i>Ivanyshyn V., Tomilets A.</i> Field and laboratory engineering and geological research for the construction of a two-storey residential building at 6a Aviatsii Street (Oleksandrivka, Chernihiv).....	140
<i>Bespalko R., Kazimir I., Hutsul T.</i> The need for updating requirements for professional training and personnel support in land management.....	147
<i>Vanchura R., Smoliy K., Serant O., Chetverikov B., Vitrovyy A., Serant O.-M.</i> Problems of the Ukraine border strip lands allocation	160

BASIC REQUIREMENTS FOR EXECUTION AND SUBMISSION OF MANUSCRIPTS OF SCIENTIFIC ARTICLES.....	169
---	------------

РОЗДІЛ І. ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА, МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ТА МАШИНОБУДУВАННЯ

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-4(26)-7-14

UDC 621.7:544.56

Sergiy Kovalevskyy¹, Olena Kovalevska²

¹Doctor of Engineering, Professor, Head of the Department of Innovative Technologies and Management
Donbass State Engineering Academy (Kramatorsk, Ukraine)

E-mail: kovalevskii@i.ua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4708-4091>

²Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,
Associate Professor of the Department of Metal Processing in a Vise
Donbass State Engineering Academy (Kramatorsk, Ukraine)

E-mail: olenakovalevska@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5884-0430>

NEW OPPORTUNITIES FOR PROCESSING MATERIALS IN STRONG MAGNETIC FIELD

The article shows the most important results of new studies concerning the possibility of influencing the physical and mechanical indicators of the hardness of steel and carbide materials, presented in the form of dimensional samples and non-sharpened cutting tool inserts. The main differences in the process of volumetric hardening of articles made of magnetically permeable materials are presented - resonant vibrations with amplitudes commensurate with the subatomic dimensions of the hardened materials. Some results of metallographic studies confirming the structural changes in the material of steel samples are presented. The efficiency of resonant processing of materials in a uniform magnetic field of neodymium magnets has been confirmed.

Keywords: volumetric hardening; uniform magnetic field; resonance; vibrations; piezoelectric elements; metallography.
Table: 1. Fig.: 6. References: 12.

Urgency of the research. The problem of increasing the efficiency of technological processes of forming the working surfaces of machine parts remains relevant for mechanical engineering, since a targeted change in the physical and mechanical characteristics of critical surfaces is traditionally accompanied by significant expenditures of resources such as time, materials, energy and labor [1; 2]. This is especially important since virtually all of these resources are non-renewable. Therefore, a multiple reduction in the consumption of these resources makes it possible to make tact technological processes innovative, and products with their use competitive.

Target setting. The most effective effects of technological impact on materials are observed under subatomic and subcrystalline impact with strong interactions for such scales. Well-known thermal and power processes are widely used: heat treatment, plastic deformation [2; 5; 6; 7]. But the cost of resources for such well-known processes with a constant increase in tariffs for their use make the products uncompetitive. It is necessary to find new reserves for creating innovative processes, which are distinguished by high efficiency in the use of the above-mentioned resources.

Actual scientific researches and issues analysis. As already mentioned, the concentration of thermal and power energy aimed at shaping or changing the structure of a material and its physical and mechanical properties in the manufacture of machine parts requires the use of special machines and installations that activate such high-cost energy sources as thermal furnaces, multi-ton presses, etc. [2]. A volumetric change in the properties of the material can be achieved, in particular, by heat treatment, due to which the structure is rearranged throughout the entire volume of the product. At the same time, this type of processing has a number of disadvantages, including large internal stresses and deformations due to uneven cooling over the section of the part. The use of external energy fields (electric, electromagnetic, ultrasonic and microwave) can qualitatively affect the structure and mechanical properties of materials. Many publications are devoted to the study at the atomic-molecular level of the mechanisms of action of electric and magnetic fields on plastic deformation processes. It was found that under the action of pulses of electric current and magnetic flux, electroplastic and magnetoplastic

effects appear in the material [2; 4]. Special installations, in which the magnetic pulse treatment of metals is carried out, is a source of energy. The installations are equipped with a special tool with which all processes are carried out.

For many years, the special attention of scientists has been attracted by the behavior of structural materials in strong magnetic fields in a wide temperature range. The peculiarity of such a combined method of influencing the structure consists in using the energy of an external magnetic field (constant, alternating or pulsed) to influence the thermodynamics, mechanism and kinetics of phase transitions in order to obtain stable changes in structure and properties useful for operation [2; 5; 6].

It is known that in the process of magnetic treatment, a metal exposed to an alternating magnetic field changes the operational properties of the surface layer. The improvement in the properties of ferromagnetic parts during pulsed magnetic processing is explained by the directional orientation of free electrons of a substance in an external magnetic field [7].

Uninvestigated parts of general matters defining. A key aspect of the process under consideration is to achieve a three-dimensional effect: this is important because the presence of a gradient of mechanical properties leads to internal stresses in the material, which negatively affects the reliability of the product. Therefore, treatment in a strong magnetic field by weak amplitude vibrations is required: large amplitudes bring the process closer to magnetic pulse processing, ie the volumetric effect is lost. The increase in the hardness of steel samples as a result of the influence of microamplitude oscillations in a constant (homogeneous) strong magnetic field has been experimentally proven. The effect spread throughout. In addition, it was found that the formation of reinforcing mesh of lamellar perlite was observed in the volume of the material during the processing of eutectoid steel samples. The dependences of the value of hardness and the time of reaching its constant value on the amplitude of oscillations of the piezoresonator and, accordingly, the samples were extreme.

Magnetic fields allow to realize direct non-contact influence on dynamics of structural defects of various level, on their behavior and, as a result, to change macroproperties of material and operational characteristics of details. They can significantly change the kinetics of the crystallization process, initiate phase transitions, affect the final structure and other properties in the processing of materials. Under certain processing modes, pulsed magnetic fields can be used like intense plastic deformation to create the desired microstructure, but retain the original size and shape of the product [2; 8].

The research objective is new opportunities for processing materials in a strong magnetic field.

The statement of basic materials. The study of the effect of a constant magnetic field on samples of quick-change cutting tool inserts vibrating in the microamplitude range was carried out for the schemes shown in Fig.1a and 1b.

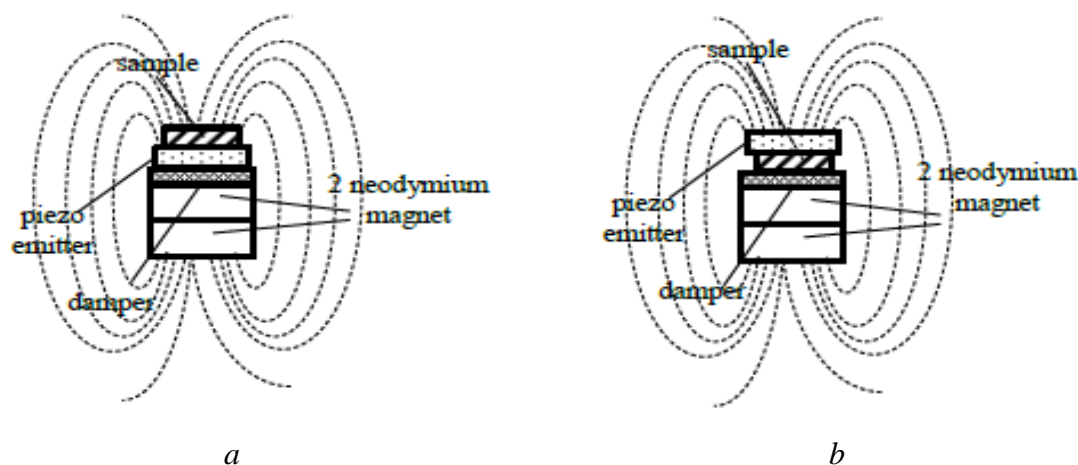


Fig. 1. Arrangement of samples above (a) and below 1b) a source of vibration “white noise”

Resonant microvibrations of the samples make it possible to increase the hardness of the samples at a rate of 5 ... 6 HB per minute. However, it was found that in the range of microvibration amplitudes received from a vibrating exciter based on a piezoelectric element with a diameter of 30 mm. The exciting signal was generated by a "white noise" generator.

Table shows options for the mutual arrangement of samples, as well as vibration exciters based on piezoelectric elements and neodymium magnets, which form a constant uniform magnetic field, which were subjected to experimental verification in order to confirm the proposed idea of the prospects of magnetic resonance processing of materials in a strong constant magnetic field.

Table

Options of technological adjustments of piezoelements for experimental samples

№	Piezoelectric Elements - Emitters and Sensors	Loading scheme
1	2	3
1.	PD-1; PV-2	NM-PD-S-PV-NM
2.	PD-1; PV-1	
3.	PD-2; PV-2	
4.	PD-1; PV-1	PD-S-PV-NM

Table 1 shows setup options for investigating the best positioning of specimens in the form of non-regrind cutting tool inserts. The designation "1" refers to a piezoelectric element with a diameter of 30 mm and a weight of 10 mm. The designation "2" refers to deposited on a substrate with a diameter of 30 mm, a layer with a diameter of 20 mm and a thickness of 0.5 mm. The designation PD refers to the sensory role of piezoelectric elements "1" and "2". Accordingly, PV refers to the role of piezoelectric elements as causative agents of "white noise". The designation NM-PD-S-PV-NM reflects the layout of the experimental setup: neodymium magnet-sensor-sample-vibration source-neodymium magnet. The designation PD-S-PV-NM reflects the layout of the experimental setup: sensor-sample-vibration source-neodymium magnet. Figure 2 shows the results of the magnetic resonance treatment of the sample.

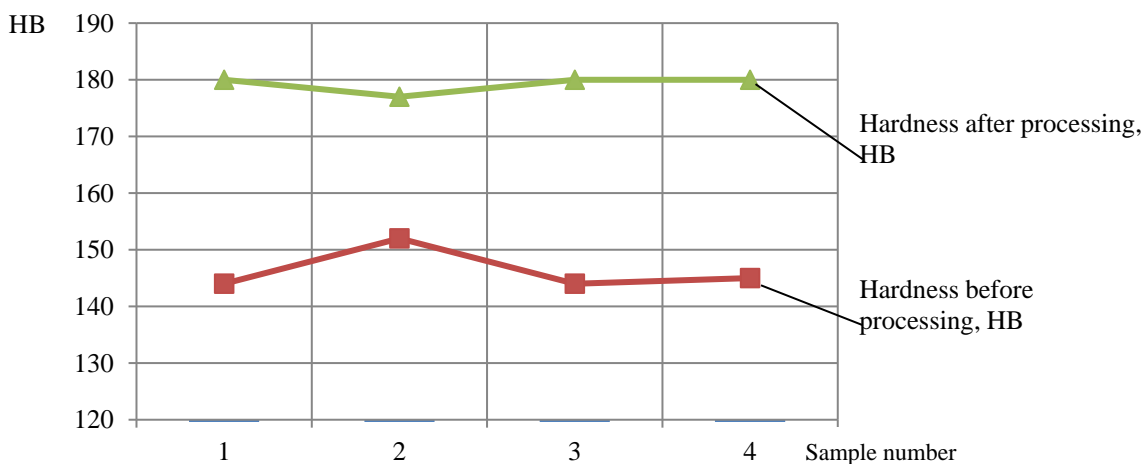


Fig. 2. The results of the magnetic resonance treatment of the sample

Microvibrations of the samples in a magnetic field created by strong neodymium magnets, in the resonant mode, first lead to an increase in hardness, followed by stabilization of their hardness.

Of particular interest is the possibility of local strengthening of a part of the samples (parts) by using the interaction of the magnetic field created by the poly-frequency packet of electric current and the local field of a constant strong magnetic field, using the Biot-Savart-Laplace law [2; 9; 10]. In this scheme, there is no microvibration exciter, but the hardening effect will be present (Fig. 3a and 3b).

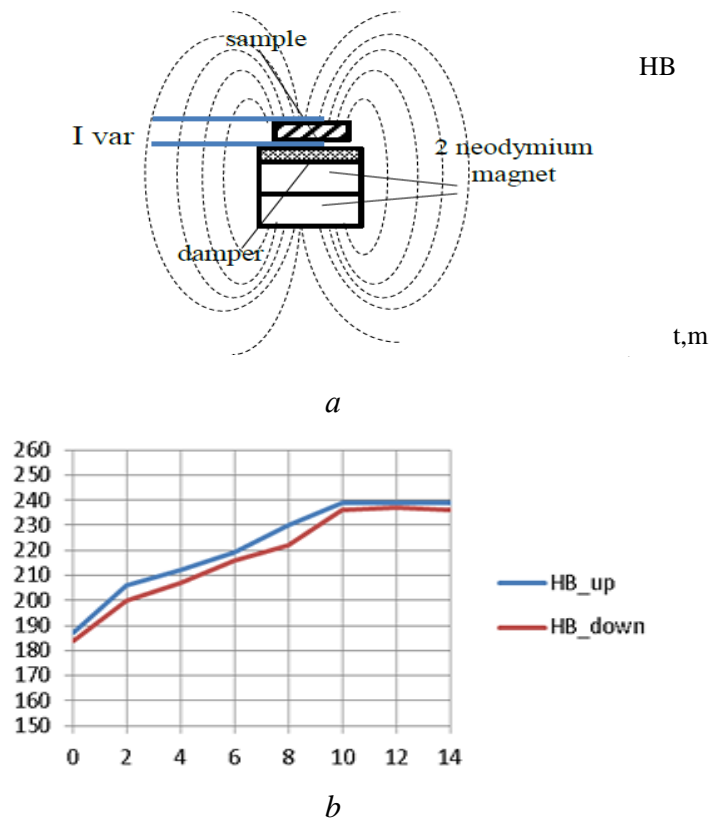


Fig. 3. Diagram of the layout of the experimental setup for studying the volumetric hardening of an unregulated cutting tool insert under the action of a current modulated by an alternating broadband current of small amplitude (a) and the results of changing the hardness of the sample along its upper and lower surfaces (b)

The increase in hardness of the sample material also increased by 30-40 % over a period of 10-12 minutes. The consumed power did not exceed 2-3 watts.

Surface plastic deformation or heat treatment of shaft journals requires significant energy consumption to increase the hardness of the working surfaces of machine parts within 1-3 kW [2; 11; 12]. The results of experimental studies of non-contact surface treatment of machine parts according to the scheme in Fig. 4a are shown in Fig. 4b.

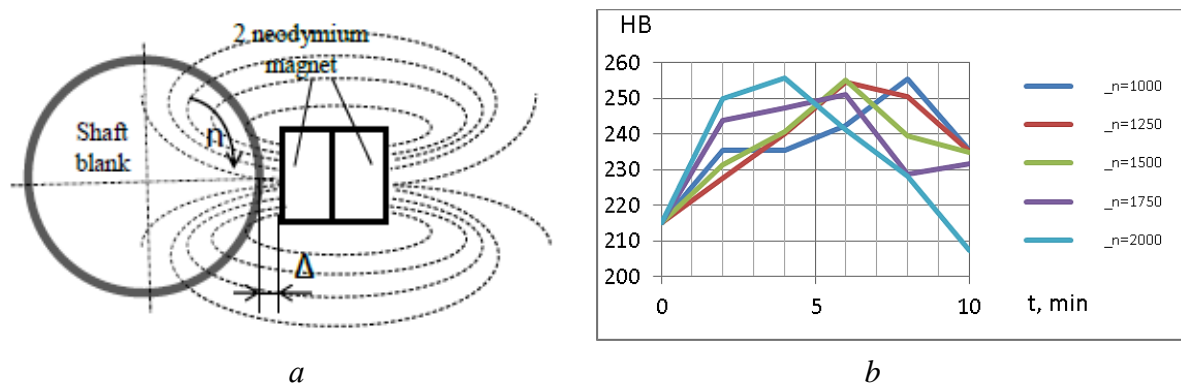


Fig. 4. The layout of the experimental setup to study the non-contact effect of a strong uniform magnetic field on the surface hardening of a rotating shaft installed in the centers of the lathe at a distance of 0.1 mm from the surface of a neodymium magnet (a) and the change in the hardness of this shaft for 10 minutes (b)

Device for magnetic reinforcement of the work surface of the axes: a) schematic diagram; b) the dynamics of the work surface armature HB from time t to the influence of the magnetic field for different values of the machine spindle speed; $\Delta = 0.1$ mm.

Experimental verification of the performance of the proposed scheme for processing a shaft with a diameter of 79 mm revealed the effect of increasing the hardness of the contactless surface treatment of a sample made of Ck45 steel. An increase in the hardness of the treated surface with a decrease in the gap between the neodymium magnet and the surface to be hardened was quite predictable. Also, an increase in the hardness of the treated surface with an increase in the rotation frequency of the workpiece is explained by an increase in the rate of intersection of a uniform magnetic flux by the rotating part of the sample.

However, the nature of the influence of microvibrations of a neodymium magnet on the nature of the hardening effect on the surface and volume of the sample completely coincided with the results of microvibrations of the samples with a frequency of 20...20000 Hz in a uniform magnetic field of permanent magnets.

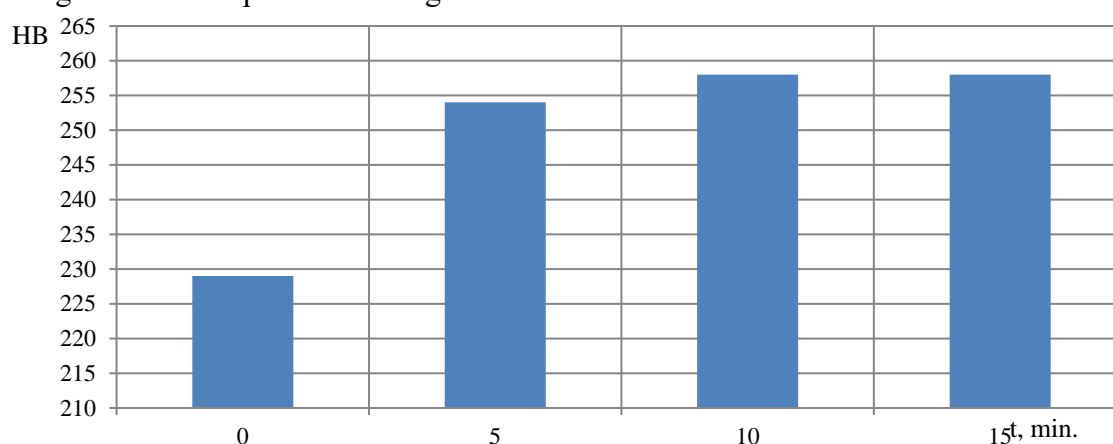


Fig. 5. The results of a broadband resonance effect for 15 minutes of a strong magnetic field of a neodymium magnet on a shaft mounted on a lathe and rotating at 2000 rpm

The results of studying the microstructure of samples before and after magnetic resonance treatment are presented in Fig. 6.

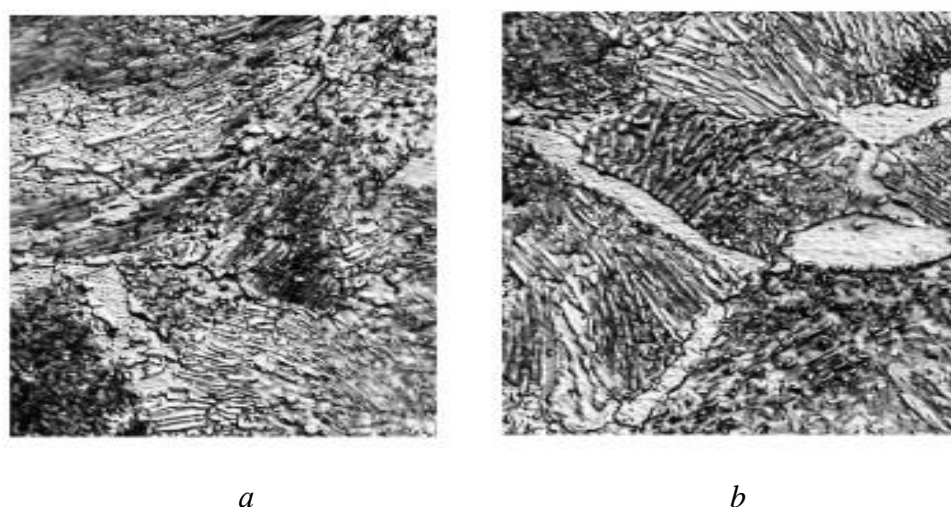


Fig. 6. Structure of steel samples (eutectoid steels: C = 0.8 %; Si = 0.15 %; Mn = 0.15 %; P = 0.012 %; S = 0.017 %; Cr = 0.10 %; Al = 0.009 %; Cu = 0.10 %):
 a – before magnetic resonance treatment, HB = 145;
 b – after magnetic resonance imaging treatment, HB = 197

Photos of microsections were obtained using standard processing of microsections - etching with an alcoholic solution of nitric acid. The developed grain boundaries made it possible to establish the features of the pearlite structure of the reinforcing nature. The influence of microvibrations of the sample in a uniform magnetic field created by one or two neodymium magnets has been established. Moreover, in the course of research, an extreme influence of the magnitude of the amplitude of microvibrations in a constant magnetic field was found. In addition, microvibrations generated in the resonant frequency range of the sample not only contribute to the volumetric hardening of the material, but also increase the ability of the samples to deform. This explains the difference between the bulk hardness of the sample and the density of the material, which also changes, representing four options for reducing or increasing the density of the material of the samples with an increase or decrease in their hardness (in some cases, a decrease in the hardness of the samples was observed with an increase in the density of their material). However, these features of the processes of magnetic resonance processing have yet to be further investigated.

Conclusions. Expanding the list of technological effects on various materials possessing the properties of magnetic conductivity of a uniform magnetic field makes it possible to significantly increase the variety of technological operations of volume hardening of machine parts and technological tools. Achieved results of magnetic resonance processing convincingly confirm this conclusion. Rational modes of magnetic resonance treatment of materials with extreme effects of microamplitude vibrations with a broadband spectrum of oscillations of the hardened sample were found. Prospects of piezoresonators application for formation of pearlite mesh in the volume of steel products processed in the magnetic field are shown. This is confirmed by metallographic studies.

References

1. Sidorchuk, O.M., Hohaiev, K.O., Radchenko, O.K., Mironyuk, L.A., & Mironyuk, D.V. (2020). Termichna obrobka shtampovoyi stali pidvishenoyi stijnosti [Thermal processing of die steel with increased resistance]. *MOM*, (2), 29–37. doi:10.15407/mom2020.02.029.
2. Kovalevskyy, S.V., Kovalevska, O.S. (2021). *Nanoamplitude resonance vibrations of samples in a strong uniform magnetic field*. <http://www.savremenimaterijali.info/sajt/doc/file/SM2021/Poster/2.pdf>.
3. Minko, D.V. (2020). Analiz perspektiv primeneniya elektroplasticheskogo efekta v processah obrabotki metallov davleniem [Analysis of the prospects for the use of the electroplastic effect in metal forming processes]. *Literatura i metallurhiia – Literature and metallurgy*, (4), 125-13.
4. Hohaiev, K.O., Radchenko, O.K., Sidorchuk, O.M., Mironyuk, D.V. Shtampova stal [Stamped steel]. Pat. 141447 Ukraine: MPKS22S38 / 00 201u2019 09670.
5. Su Eun Chung, Wook Park, Sunghwan Shin, Seung Ah Lee, Sunghoon Kwon (2008). Guided and fluidic self-assembly of microstructures using railed microfluidic channels. *Nature Materials*, 7, 581.
6. Eliseev, A.A., Lukashin, A.V., Tretyakov, Yu.D. (Ed.). (2010). *Funktsionalnye nanomaterialy [Functional nanomaterials]*. Fizmatlit.
7. Miyazawa, S., Mukaida, M. (1996). Formation of stacking-faults in atomic graphoepitaxial alpha-axis YBa₂Cu₃O_x, thin films on (100) SrLaGaO₄ substrates. *Jap. J. Appl. Phys.*, (35(9B)), L1177–L1180.
8. Kovalevskii, S.V., Kovalevska, O.S. (20320). Sposib zmini fiziko-mehanichnih vlastivostei zrazkiv z magnitnih ta nemagnitnih materialiv [Method of changing the physical and mechanical properties of samples of magnetic and non-magnetic materials]. Patent 143057 Ukraina MPK B23H 7/38 (2006.01).
9. Onufriyenko, V.M. (1999). Physical and Geometric Interpretation of Electromagnetic Field's Characteristics. *Telecommunication and Radio Engineering*, 53(4-5), 136-139.
10. Onufriyenko, V.M. (2004). Potentsialy fraktalnykh shariv zariativ i strumiv u shtuchnomu seredovyshchi [Potentials of fractal layers of charges and current to the artificial environment]. *Radioelektronika. Informatika. Upravlinnya – Radioelektronika. Computer Science. Management*, (1(1)), 18-21.

11. Kovalevskiy, S., Kovalevska, O., Dasych, P. (2020). Vibratsiino-impulsna obrobka [Vibration-pulse processing]. *Neiromerezhni tehnologii ta yikh zastosuvannia NMTiZ-2020: zbirnik naukovih prats XIX Mizhnarodnoyi naukovoyi konferentsii «Neiromerezhni tehnologii ta yikh zastosuvannia NMTiZ-2020» – Neural limit technologies and their application NMTiZ-2020: coll. Science. works of the XIX International. Science and Technology Conf.* (pp. 82–84). DDMA.

12. Kovalevskii, S.V., Borovoi, I.B. (2020). Obiemna obrobka materialiv v rivnomirnomu magnitnomu poli [Volume processing of materials in a uniform magnetic field]. *Novi i netradytsiini tehnologii v resurso- i enerhosberezhennii: materialy mezhdunarodnoi naukovo-tehnichnoi konferentsii*, (pp. 80–85). ONPU.

Список використаних джерел

1. Термічна обробка штампової сталі підвищеної стійкості / О. М. Сидорчук, К. О. Гогаєв, О. К. Радченко, Л. А. Миронюк, Д. В. Миронюк // *МОН*. – 2020. – № 2. – С. 29–37.

2. Kovalevskyy S.V. Nanoamplitude resonance vibrations of samples in a strong uniform magnetic field [Electronic resource] / S. V Kovalevskyy, O. S. Kovalevska. – Accessed mode: <http://www.savremenimaterijali.info/sajt/doc/file/SM2021/Poster/2.pdf>.

3. Минько Д. В. Анализ перспективы применения электропластического эффекта в процессах обработки металлов давлением / Д. В. Минько // *Литература и металлургия*. – 2020. – № 4. – С. 125-130.

4. Штампова сталь: пат. 141447 Україна: МПКС22С38/00 №u2019 09670 / К. О. Гогаєв, О. К. Радченко, О. М. Сидорчук, Д. В. Миронюк; заявл. 05.09.2019; опубл. 10.04.2020. Бюл. № 7. 2020. – 2 с.

5. Guided and fluidic self-assembly of microstructures using railed microfluidic channels / Su Eun Chung, Wook Park, Sunghwan Shin, Seung Ah Lee, Sunghoon Kwon // *Nature Materials*. – 2008. – Vol. 7. – R. 581.

6. Елисеєв А. А. Функціональні наноматеріали / А. А. Елисеєв, А. В. Лукашин ; под ред. Ю. Д. Третякова. – Москва : Физматлит, 2010. – 456 с.

7. Miyazawa S. Formation of stacking-faults in atomic graphoepitaxial alpha-axis YBa₂Cu₃O_x, thin films on (100) SrLaGaO₄ substrates [Electronic resource] / S. Miyazawa, M. Mukaida // *Japanese Journal of Applied – 1996. – Physics 35(9B): September. – L1177-L1180.*

8 Патент 143057 Україна МПК В23Н 7/38 (2006.01). Спосіб зміни фізико-механічних властивостей зразків з магнітних та немагнітних матеріалів / С. В. Ковалевський, О. С. Ковалевська ; власник Донбасу. держ. машинобуд. акад. – № u202000120; заявл. 08.01.2020; опубл. 10.07.2020, Бюл. № 13.

9 Onufriyenko, V.M. Physical and Geometric Interpretation of Electromagnetic Field's Characteristics / V. M. Onufriyenko // *Telecommunication and Radio Engineering*. – 1999. – Vol. 53; № 4-5. – Pp. 136-139.

10 Онуфрієнко, В. М. Потенціали фрактальних шарів зарядів і струму штучному середовищі / В. М. Онуфрієнко // *Радіоелектроніка. Інформатика. Управління*. – 2004. – № 1(1). – С. 18-21.

11 Ковалевський, С. Вібраційно-імпульсна обробка / С. Ковалевський, О. Ковалевська, П. Дасич // *Нейромежні технології та їх застосування НМТiЗ-2020 : зб. наук. праць XIX Міжнар. наук-тех конф.* – Краматорськ : ДДМА, 2020. – С. 82-84.

12 Ковалевський, С. В. Об'ємна обробка матеріалів у рівномірному магнітному полі / С. В. Ковалевський, О. С. Ковалевська, І. Б. Боровой // *Нові і нетрадиційні технології в ресурсо- і енергозбереженні : матеріали міжнар. наук.-тех. 25 наук. конф.* – Одеса : ОНПУ, 2020. – С. 80-85.

Отримано 08.12.2021

УДК 621.7:544.56

Сергій Ковалевський¹, Олена Ковалевська²

¹доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інноваційних технологій і управління
Донбаська державна машинобудівна академія (Краматорськ, Україна)

E-mail: kovalevskii@i.ua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4708-4091>

ResearcherID: [S-7619-2019](https://orcid.org/0000-0002-4708-4091). SCOPUS Author ID: [57201214151](https://orcid.org/0000-0002-4708-4091)

²кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри обробки металів тиском

Донбаська державна машинобудівна академія (Краматорськ, Україна)

E-mail: olenakovalevskaya@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5884-0430>

ResearcherID: [S-8871-2019](https://orcid.org/0000-0001-5884-0430). SCOPUS Author ID: [57201211726](https://orcid.org/0000-0001-5884-0430)

**НОВІ МОЖЛИВОСТІ ДЛЯ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ
У СИЛЬНОМУ МАГНІТНОМУ ПОЛІ**

Використання магнітного поля як основної сили впливу призводить до значної економії енергоресурсів. Значний інтерес викликає можливість розширення переліку технологічних впливів на робочі поверхні деталей машин, поряд із поверхневим пластичним деформуванням та термообробкою.

Однією з основних проблем є підвищення зносостійкості пластин ріжучого інструменту, підвищення довговічності елементів механічних деталей і конструкцій.

Магнітно-імпульсна обробка металів є ефективним методом, тому він дуже популярний серед сучасних виробників; це підвищує такі показники, як стійкість, міцність та корозійна стійкість [2; 6].

На основі проведеного аналізу було виявлено, що треба дослідити вплив наноамплітудних коливань сталевих зразків у постійному та однорідному сильному магнітному полі на деякі їхні фізико-механічні характеристики.

Завдання - виявити нові можливості для обробки матеріалів у сильному магнітному полі.

Розглянуто різні технологічні схеми, в яких застосовується широкосмугове збудження зразків за допомогою п'єзоелектричних збудників, що перетворюють електричний сигнал постійної амплітуди в діапазоні від 20 Гц до 20 кГц у вигляді "білого шуму" резонансний спектр власних механічних коливань зразків. Результати таких впливів на зразки в лабораторних умовах підтверджуються стандартними випробуваннями на твердість зразків, їхній хімічний склад та металографію.

Для зразків з евтектоїдної сталі з вмістом вуглецю 0,8 % магнітно-резонансна обробка зразків джерелом електричного сигналу потужністю всього 3 Вт протягом 50 хвилин дозволила домогтися зміни твердості Брінеллю до 35 %. Збільшення амплітуди коливань п'єзорезонатора приводить до збільшення твердості матеріалу.

Ключові слова: об'ємне загартування; однорідне магнітне поле; резонанс; вібрації; п'єзоелектричні елементи; металографія.

Табл.: 1. Рис.: 6. Бібл.: 12.

Василь Скляр

аспірант кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)

E-mail: uslhj@meta.ua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0563-6887>

ResearcherID: [J-1138-2016](https://orcid.org/0000-0003-0563-6887)

**АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОБРОБКИ ШАТУННИХ ШИЙОК КОЛІНЧАСТИХ ВАЛІВ
ОРІЄНТОВАНИМ ІНСТРУМЕНТОМ**

Колінчасті вали виготовляються на автомобілебудівних, суднобудівних, машинобудівних та ін. підприємствах. До даних деталей висуваються високі вимоги точності та якості оброблених поверхонь. Розглянуто відомі методи шліфування та фрезерування колінчастих валів. Фрезерування може бути як інструментом, у якого різальні пластинки знаходяться на зовнішній стороні диска, так і на внутрішній. Багато фірм виготовляють верстати для обробки колінчастих валів. Обробка шатунних шийок колінчастих валів може проходити із застосуванням спеціальних пристроїв або по програмі на верстатах з ЧПК. Стаття є оглядовою.

Ключові слова: обробка колінчастого вала; шатунні шийки; шліфування; фрезерування.

Рис.: 23. Бібл.: 22.

Актуальність теми дослідження. Колінчасті вали є геометрично складними деталями, вони виготовляють на машинобудівних, суднобудівних та інших підприємствах. Шатунні шийки колінчастого вала розташовані не на осі самого вала, тому процес їх обробки є більш складним. Забезпечення високої точності та продуктивності обробки шатунних шийок є актуальним завданням.

Постановка проблеми. Для забезпечення конкурентоспроможності виробництв необхідно забезпечення високої продуктивності обробки, не втрачаючи при цьому точності оброблюваних робочих поверхонь деталей. Аналіз методів обробки шатунних шийок колінчастих валів допоможе визначити, які є труднощі при обробці, що в подальшому дозволить вдосконалити процес обробки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У статті [1] описано спосіб шліфування колінчастого вала орієнтованим інструментом, а також тривимірне моделювання процесу обробки.

У патентах [2; 3] описано способи шліфування колінчастих валів за один установ, а також верстати для здійснення цих способів. Обробку можна здійснювати як однієї шийки, так і декількох одночасно.

Верстат для обробки колінчастих валів описаний у [4], при шліфуванні шатунних шийок центр зміщують, щоб деталь оберталась відносно цих шийок, обробка проходить як звичайної циліндричної поверхні.

У патенті [5] наведено спосіб шліфування колінчастого вала чотирициліндрового двигуна, при якому спочатку одночасно шліфуються всі корінні шийки, потім – по дві шатунні.

Спосіб шліфування колінчастого вала за один установ із вимірюванням розмірів деталі під час обробки наведено в [5]. Спочатку здійснюють обробку корінних шийок, потім – шатунних.

У [7] описано процес фінішної обробки колінчастого вала фрезою, яку встановлено перпендикулярно до твірної поверхні, що оброблюється. Зміцнення поверхневого шару шийки вала відбувається за рахунок наклепу, що утворюється під час обробки.

У патенті [8] описано спосіб фрезерування колінчастих валів. За рахунок використання спеціальної фрези, а також забезпечення необхідного співвідношення частот обертання інструмента та деталі забезпечується підвищення точності обробки.

На ПАТ «Харківський верстатобудівний завод» [9] та на відокремленому підрозділі «Лубенський верстатобудівний завод» ПАТ «МОТОР СІЧ» [10] виготовляють спеціальні верстати для шліфування колінчастих валів.

Фірма Junker [11] виготовляє високоточні шліфувальні верстати JUCRANK з ЧПК для обробки колінчастих валів.

Компанії Sandvik [12] та Walter Tools [13] виготовляють фрези зі змінними пластинами для обробки колінчастих валів.

Фірма HELLER [14] виготовляє верстати для фрезерування колінчастих валів.

Компанія Hegenscheidt MFD [15] виготовляє верстати та інструменти для обробки колінчастих валів.

У публікації [16] розглянуто виробництво автоматичної лінії для обробки колінчастих валів. Аналізується та обирається обладнання для підвищення продуктивності обробки.

У статті [17] наведено осцилюючий верстат для шліфування колінчастих валів.

У [18] розглянуто фрезерування периферією, торцем фрези, а також обробку різцем.

У роботі [19] розглянуто внутрішнє фрезерування шийок колінчастих валів.

У публікації [20] описана обробка шатунної шийки колінчастого вала, наведена залежність зміни швидкості при обробці шатунної шийки від повороту колінчастого вала.

У статі [21] розглядається зміцнення поверхні колінчастого вала після механічної обробки.

У роботі [22] описується процес шліфування колінчастих валів. Їх обробку здійснюють на спеціально розроблених для цього верстатах.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Відсутній аналіз відомих методів обробки шатунних шийок колінчастих валів.

Мета статті. Метою статті є аналіз методів обробки колінчастих валів, що дозволить виділити найбільш оптимальні, а також знайти їхні переваги та недоліки.

Виклад основного матеріалу. У статті [1] запропоноване модульне тривимірне моделювання процесу шліфування колінчастих валів. На рис. 1 зображено схему обробки колінчастого вала 1 орієнтованим на невеликий кут ψ вузьким шліфувальним кругом 2. Корінні та шатунні шийки 3 обробляються за один установ. Чорнове та чистове шліфування відбувається за один прохід за рахунок того, що чорновий припуск знімається торцевою поверхнею круга, а чистова обробка відбувається периферією інструмента.

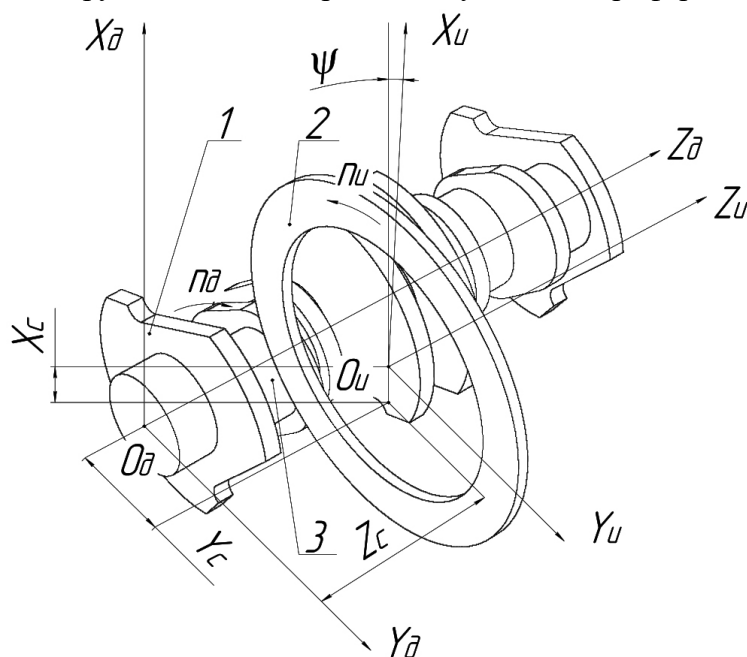


Рис. 1. Схема обробки колінчастого вала [1]

На рис. 2 зображено схему шліфування шатунної шийки 4 у початковому положенні (рис. 2, а), коли міжосьова відстань Y_c колінчастого вала 1 та шліфувального круга 2 найбільша та положення, коли шатунна шийка повернута на кут β (рис. 2, б), при цьому точка контакту 3' не збігається з точкою 3. Стабілізація зняття припуску та подачі по контуру відбувається за рахунок синхронних вертикального та поперечного рухів інструмента.

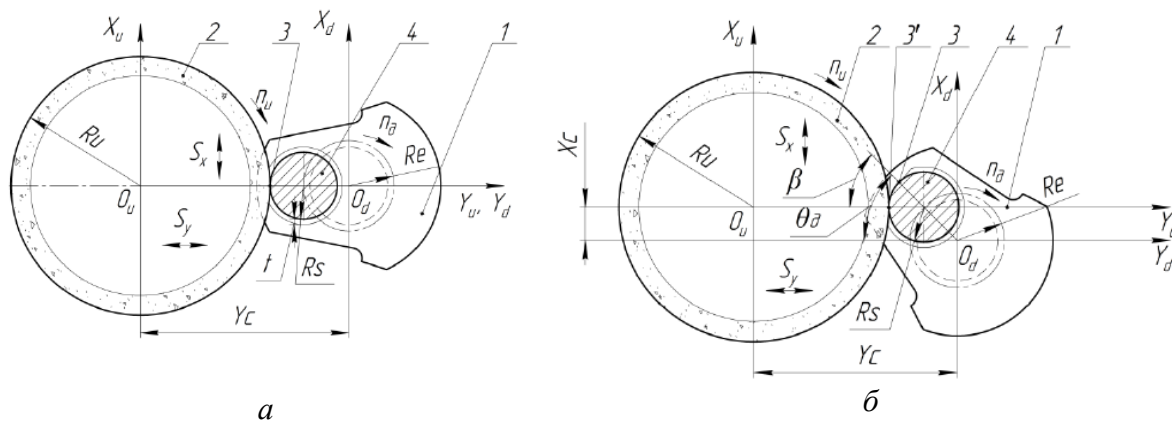


Рис. 2. Схема шліфування шатунних шийок [1]

У патенті [2] описано спосіб шліфування колінчастого вала за один установ та верстат для здійснення цього способу. Спочатку здійснюють чорнове шліфування корінних шийок (або і корінних, і шатунних шийок), а потім – чистове шліфування шатунних шийок. Оскільки деталь не потрібно знімати з одного верстата й закріплювати на іншому, зменшується час обробки, а також не виникає похибки від переустановки. З іншого боку, за рахунок наведеної послідовності обробки при шліфуванні досягається те, що напруження в матеріалі зменшується і не виникає зміни форми після обробки колінчастого вала.

Краще здійснювати шліфування кругами CBN зі швидкістю різання 80-120 м/с. При обробці довгих колінчастих валів використовують люнет.

Є варіант обробки одним шліфувальним кругом або двома. Два круги можуть розташовуватись із різних сторін, що додатково зменшує час обробки

На рис. 3, а зображено встановлений колінчастий вал 1. Він встановлений у затискному патроні 2, що встановлений у шпинделі 3. У центрі затискного патрона 2 знаходиться перший центр 4, на якому встановлений колінчастий вал 1.

Радіальний затиск колінчастого вала 1 здійснюється затискними кулачками 5 затискного патрона 2, які затискають по зовнішній периферії фланця 6 колінчастого вала 1. Другий кінець колінчастого вала 1 опирається на другий центр 7 задньої бабки 9. Другий центр 7 задньої бабки встановлений на пінолі 8, що рухається в осьовому напрямку. Задня бабка 9 може бути замість заднього центру 7 оснащена другим затискним патроном, як і бабка заготовки. У такому випадку затискні кулачки цього затискного патрона затискають циліндричний кінець 21 колінчастого вала 1. Привід колінчастого вала 1 виконується згідно з показаним на рис. 3, а варіантом виконання так, що колінчастий вал 1 приводиться в обертання навколо корінної шийки 11 шпинделем 3 заготовки із затискним патроном 2. Привід виконаний у вигляді ЧПК-осі (стрілка С1). В іншому варіанті виконання задня бабка 9 може бути виконана не з другим центром 7, а з приводною піноллю задньої бабки (ЧПК-вісь С2). Показано шліфувальний шпиндель 30 зі шліфувальним кругом 31. Шліфувальний шпиндель 30 встановлений у корпусі шліфувальної бабки, який може переміщатися в напрямку осі X за допомогою ЧПК-осі. Бабка заготовки із затискним патроном 2 і задня бабка 9 змонтовані на столі шліфувального верстата, який може переміщатися в напрямлення Z. Колінчастий вал установлений так, щоб його середня вісь 13 знаходилася точно на одній лінії із середніми осями шпинделя 3 і пінолі 8 задньої бабки. Люнет 10

закріплений на столі шліфувального верстата, його встановлюють на заданій корінній шийці 11. Шліфування колінчастого вала 1 можна виконувати при різних варіантах розташування шліфувального шпинделя (можливі різні варіанти виконання верстата).

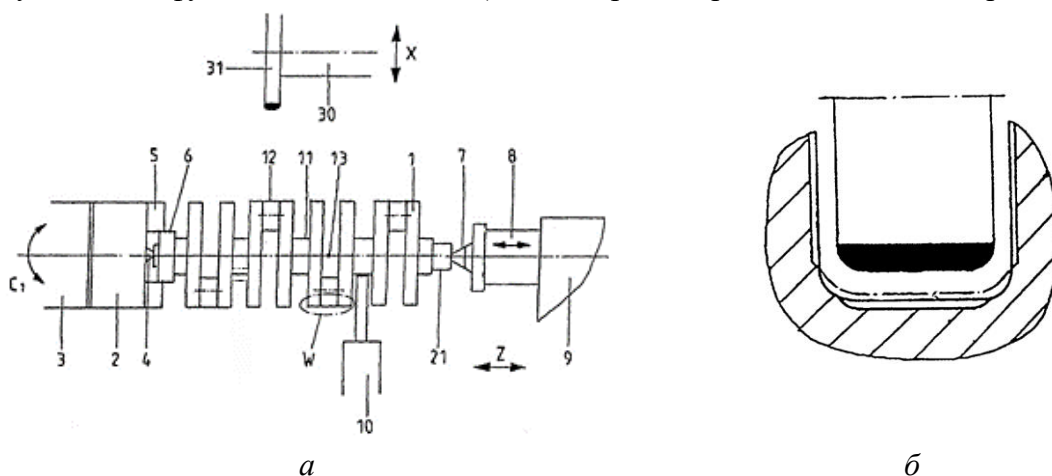


Рис. 3. Шліфування колінчастого вала [2]

Шліфувальний круг 31 врізається в колінчастий вал 1. Здійснюється чорнове та чистове шліфування. На рис. 3, б показано шатунну шийку з боковими радіусами і шліфованими боковими поверхнями. Шатунна шийка 12 має бокові радіуси, які також попередньо шліфуються, при кінцевій обробці радіус шліфується вже не повністю, оскільки він не прилягає до вкладиша підшипника в корпусі двигуна при встановленому колінчастому валу.

На рис. 4, а схематично показаний верстат 43 для шліфування колінчастих валів. На станині 41 встановлений стіл, на якому змонтована бабка 40 виробу і задня бабка 9. Шліфувальна бабка 42 служить для розміщення шліфувального шпинделя 30, вона виконана з можливістю переміщення по осі X.

На рис. 4, б показано другий верстат 44 для шліфування колінчастих валів, який має дві бабки. Кожна шліфувальна бабка має незалежні ЧПК-осі. Це означає, що кожний круг можна використовувати незалежно від іншого згідно з програмою ЧПК. Таке розташування при одночасному шліфуванні має переваги, що діють на колінчастий вал протилежно направлені сили взаємно урівноважити одна одну. Просторове розташування оброблюваного центра може бути також таким, що безпосередньо напроти однієї шліфувальної бабки з однієї сторони колінчастого вала знаходиться шліфувальна бабка з протилежної сторони колінчастого вала.

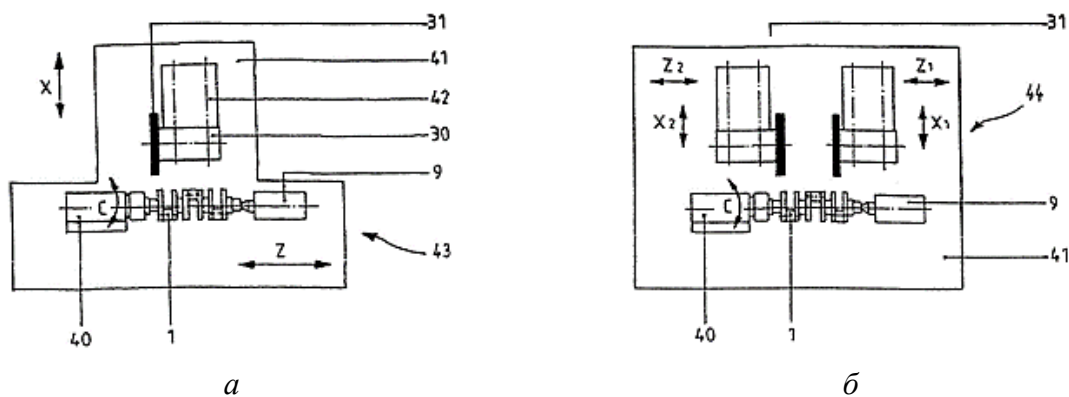


Рис. 4. Схема шліфування колінчастого вала [2]

У [3] описано пристрій та спосіб шліфування колінчастого вала. У цьому способі спочатку здійснюють обробку корінних шийок, після чого вал повертається до положення, коли вісь корінних шийок і вісь однієї із трьох шатунних шийок утворюють горизонтальну площину. Інструментальна головка переміщується в горизонтальній площині перпендикулярно осі колінчастого вала на величину ексцентриситету осі шатуна. Обертання колінчастого вала навколо осі групи шатунних шийок здійснюється за допомогою фіксаторного перемикача. здійснюється обробка групи шатунних шийок, після чого верстат знову налагоджують на обробку іншої групи шатунних шийок.

У [4] описано верстат (рис. 5) для шліфування шийок колінчастого вала. На відміну від звичайних круглошліфувальних верстатів, він включає патрони-центрозмішувачі, які урівноважують пристрій зі зміщеними відносно осі обертання вантажами, які призначені для шліфування шатунних шийок колінчастого вала.

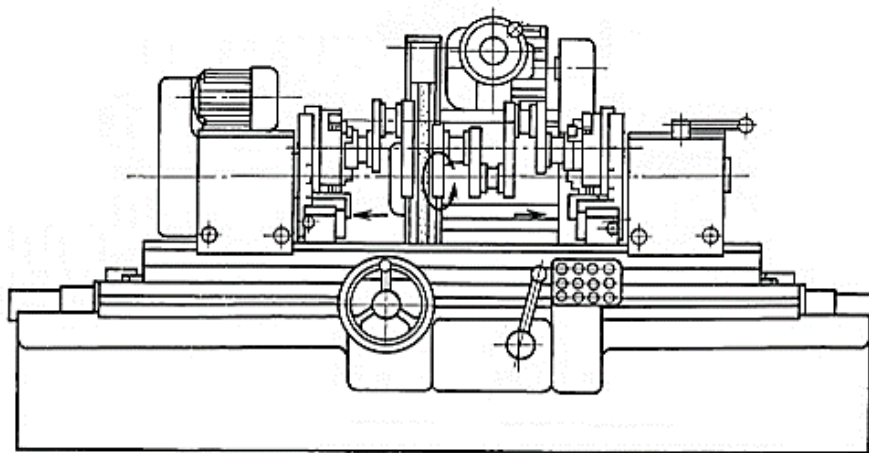


Рис. 5. Верстат для шліфування колінчастих валів [4]

У способі [5] описано процес обробки колінчастого вала чотирициліндрового двигуна, при якому одночасно оброблюють всі корінні шийки колінчастого вала. Також оброблюються фланці та плоскі сторони щік. Шатунні шийки оброблюються по дві одночасно одним із двох методів або здійснюється обертання відносно шатунних шийок і здійснюється обробка як при шліфуванні циліндричної поверхні або використовується поперечна подача для можливості обробки шатунної шийки, також відбувається поздовжня подача і контроль (корегування) зняття матеріалу й радіального биття оброблюваних шийок.

У патенті [6] описано спосіб, згідно з яким шліфування колінчастого вала здійснюється за один установ. Шліфування всіх корінних шийок відбувається одночасно (рис. 6), при обробці шатунних шийок одночасно шліфуються дві шатунні шийки. При цьому на відміну від обробки корінних шийок є можливість обробки двома методами або здійснюється обертання відносно шатунних шийок і здійснюється обробка як при шліфуванні циліндричної поверхні або використовується поперечна подача для можливості обробки шатунної шийки. Під час обробки постійно здійснюють вимірювання розмірів деталі, що дозволяє майже миттєво визначити і ввести корекцію процесу шліфування. Одночасно здійснюється обробка двох валів.

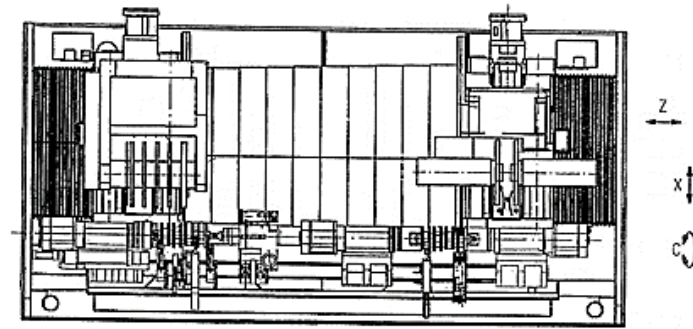


Рис. 6. Шліфування колінчастих валів [6]

У [7] описано процес фінішної обробки колінчастого вала, при якому заготовку колінчастого вала встановлюють на токарному верстаті, фрезу встановлюють перпендикулярно до твірної поверхні, що оброблюється. Зміцнення поверхневого шару шийки вала відбувається за рахунок наклепу при різанні при використанні торцевої шаберної фрези.

Колінчастий вал 1 (рис. 7, а) закріплюють в патроні 3 та центрі 4 задньої бабки токарного верстата 2. Шпиндельна головка 6 з торцево-шаберною фрезою 7 (рис. 7, б) встановлена на супорті 5. При встановленні потрібно зорієнтувати фрезу так, щоб її вісь обертання була перпендикулярна твірній циліндричній поверхні оброблюваної шийки колінчастого вала 1, а також необхідно забезпечити зміщення осі обертання відносно твірної на величину e (рис. 7, б). Величина зміщення визначається залежно від діаметра оброблюваної шийки. Після всіх налаштувань відбувається обробка, обертання колінчастому валу 1 надається шпинделем передньої бабки верстата 2, обертання фрези 7 надає привод голівки 6 шпинделя. Супортом 5 та кареткою 8 верстата 2 забезпечуються радіальна подача для забезпечення врізання фрези 7 і поздовжня подача вздовж твірної циліндричної поверхні шийки.

Обробка за методом зняття тонких шарів металу по переривчастій гвинтовій лінії здійснюється за рахунок зміщення осі обертання фрези в тангенційному напрямку. При поздовжній подачі інструмента у зворотному напрямку також формується переривчаста гвинтова лінія з подібним мікроперериванням (0,5...0,9 мкм). Це покращує змащування мастилом при експлуатації колінчастого вала. Фінішну обробку колінчастого вала виконують починаючи з корінних шийок. При обробці шатунних шийок здійснюють зміщення центрів, щоб обертання вала було відносно шатунних шийок, а не корінних.

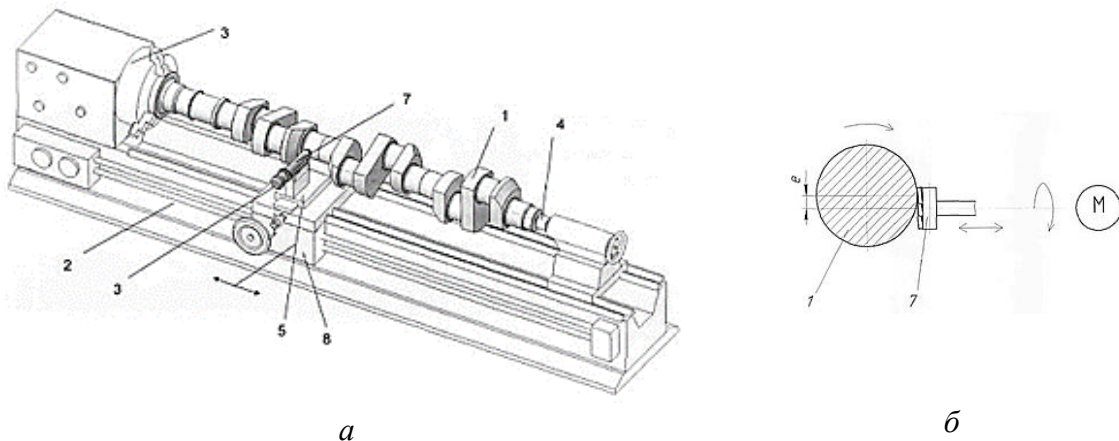


Рис. 7. Шліфування колінчастого вала [7]

У патенті [8] описано спосіб обробки деталей типу колінчастий вал. Колінчастий вал 2 (рис. 8) встановлюють на верстаті, надають обертання навколо оброблюваної шийки зі швидкістю ω_d , у шпинделі фрезерної головки встановлюють фрезу 1 з числом зубців Z , надають обертання зі швидкістю ω_n . Фреза виконана так, щоб висота різальної кромки завжди була менше попередньої, а кут між різальними кромками сусідніх зубців більше. Частота обертання деталі повинна бути більша, ніж частота обертання інструмента.

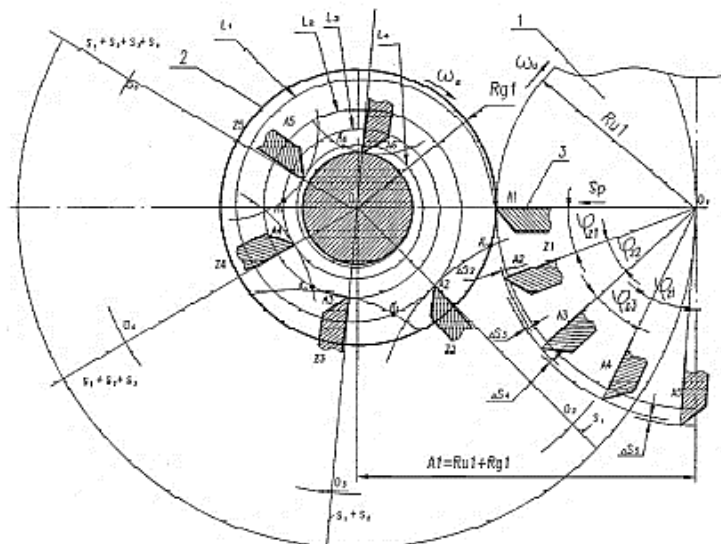


Рис. 8. Фрезерування колінчастого вала [8]

Для забезпечення безперервності і правильності протікання процесу повинно правильно виконуватися співвідношення параметрів ω_d , ω_n , S_p .

Кутову швидкість фрези та деталі потрібно обирати зі співвідношення

$$\frac{\omega_n}{\omega_d} = \frac{\varphi_{zi}}{2\pi \left(1 - \frac{\Delta S_i}{S_p}\right)} \quad (1)$$

де ω_n , ω_d – кутові швидкості інструмента та деталі, рад/с;

φ_{zi} – кут між різальними кромками інструмента, рад;

ΔS_i – радіальна зміна висоти установки i -тої різальної кромки щодо попередньої, мм;

S_p – швидкість радіальної подачі інструмента, мм/об.

На ПАТ «Харківський верстатобудівний завод» [9] виготовляють верстати з ЧПК для шліфування корінних та шатунних шийок колінчастих валів, а також для перешліфування (ремонт). Напівавтомати виготовляють налагодженими на обробку певного виробу і використовуються в умовах серійного та масового виробництва.

Обробка колінчастих валів здійснюється на верстатах (ХШ2-70МФ20, ХШ2-76МФ20, ХШ2-80Ф20, ХШ2-86Ф20) методом врізного шліфування з приладом активного контролю в напівавтоматичному циклі. Для обробки шатунних шийок використовують верстати моделей ХШ2-80Ф20 (рис. 9), ХШ2-86Ф20.



Рис. 9. Спеціальний верстат (а) для шліфування шатунних шийок колінчастого вала та схема їх обробки (б) [9]

При обробці шатунних шийок оброблюваний колінчастий вал базується крайніми корінними шийками у призмах патронів передньої і задньої бабок. Поворот колінчастого вала при переході з шийки на шийку й орієнтація наступної шатунної шийки вісь обертання здійснюється автоматично механізмом ділення. Для зменшення прогину колінчастих валів встановлюють рухомий люнет. Правка шліфувального круга здійснюється автоматично.

На відокремленому підрозділі «Лубенський верстатобудівний завод» ПАТ «МОТОР СІЧ» [10] виготовляють верстати для перешліфування колінчастих валів. Верстати спеціальні круглошліфувальні моделей 3411, 3Д4230, 3В423, 3Д4231, ЛТ-235 (рис. 10) призначені для перешліфовки корінних та шатунних шийок колінчастих валів і інших деталей типу кривошипа. При шліфуванні шатунних шийок здійснюють зміщення колінчастого вала так, щоб колінчастий вал обертався відносно шатунних шийок, балансування здійснюється рухомими вантажами, що розміщені ззаду бабок виробів у неробочій зоні. Разом із верстатом постачаються прилади для правки шліфувальних кругів, вимірювальні пристрої, люнет.



Рис. 10. Верстат для перешліфовки колінчастих валів моделі 3Д4231 (а) та 3411 (б) [10]

Фірма Junker [11] виготовляє високоточні шліфувальні верстати JUCRANK з ЧПК (рис. 11) для обробки колінчастих валів. Чорнове та чистове шліфування колінчастих валів відбувається за один установ. Для забезпечення високої точності обробки колінчастих валів встановлюють рухомий люнет. Під час обробки здійснюють контроль точності.

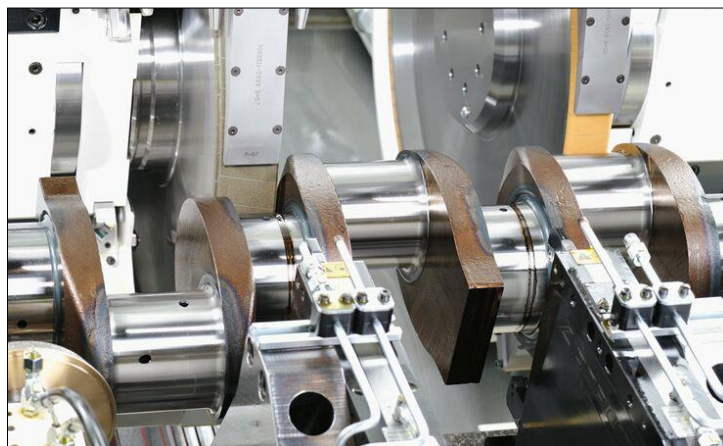


Рис. 11. Шліфування колінчастого вала на верстаті фірми Junker [11]

При обробці на верстаті маятниковим методом колінчастий вал обертається навколо центральної осі (осі корінних шийок), шліфувальний круг рухається за шатунною шийкою (рис. 12).

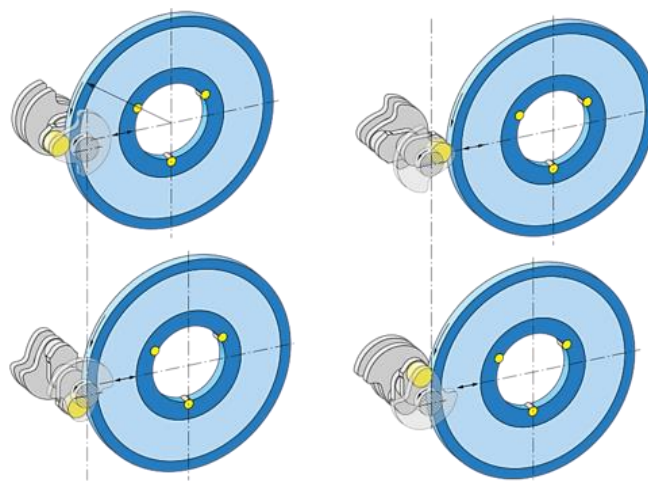


Рис. 12. Шліфування колінчастого вала маятниковим методом [11]

При обробці з паралельними осями заготовки і інструменти встановлені з паралельними осями, завдяки цьому шийки оброблюються врізним шліфуванням (рис. 13).

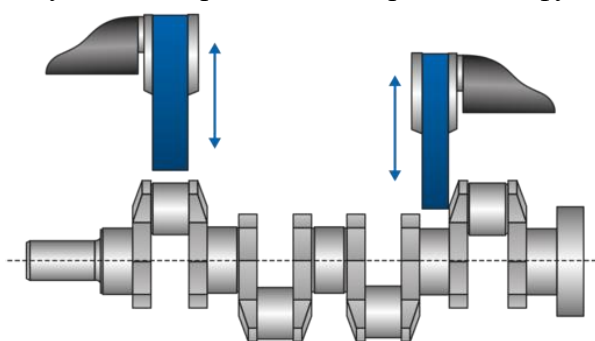


Рис. 13. Шліфування колінчастого вала з паралельними осями заготовки та інструмента [11]

Схему методу шліфування з орієнтованими шліфувальними кругами зображено на рис. 14. Вузькі шліфувальні круги повертаються на невеликий кут, при цьому кожна корінна та шатунна шийка отримує власну форму профілю з компенсацією конусності й без заміни кругів.

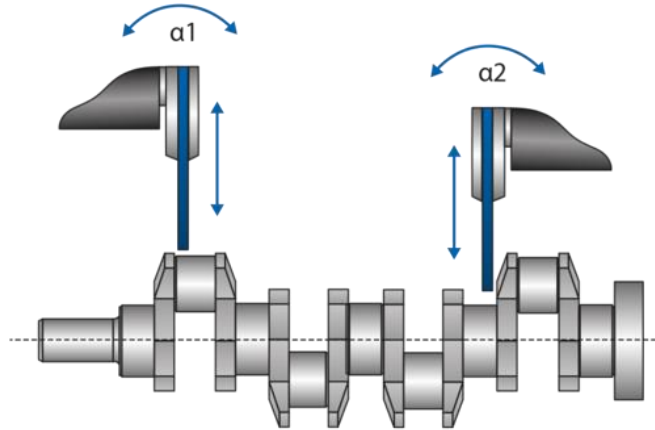


Рис. 14. Шліфування колінчастого вала орієнтованими кругами [11]

Компанія Sandvik [12] виготовляє фрези зі змінними пластинами (рис. 15, а) для обробки колінчастих валів. Фреза складається з диска, до якого кріпляться касети з пластинами різної форми. Є фрези з розташування пластин на зовнішній та внутрішній (рис. 15, б) поверхні диска.

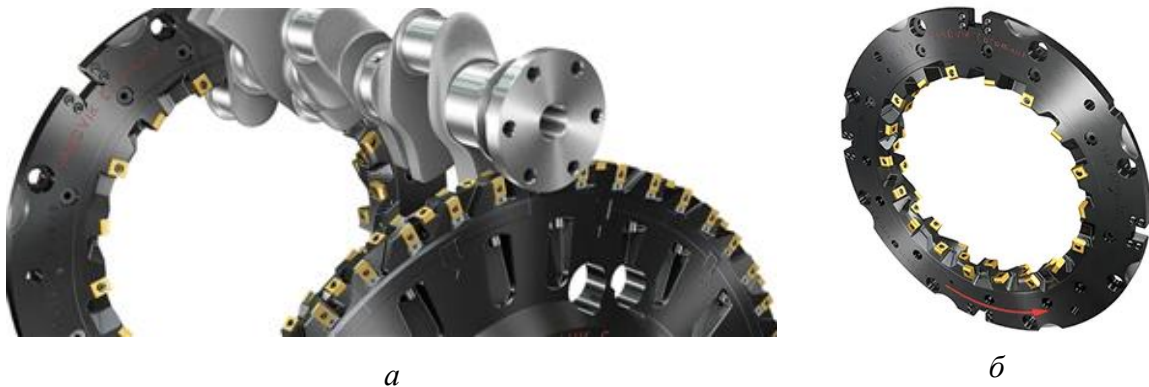


Рис. 15. Фрезерування колінчастих валів (а) та фреза (б) [12]

М641 і М642 – це дві дискові фрези для обробки колінчастих валів з тангенціально (М641) та радіально розташованими пластинами (М642). Розроблена фреза CoroMill 745, у якій з'явився новий спосіб розташування пластин на фрезах. На М642 це дозволило збільшити об'єм стружечної канавки і кількість ефективних зубців в порівнянні з традиційними фрезами з тангенційним розташуванням пластин. Ця нова заявлена на патент конструкція зменшила час обробки і покращила відвід стружки. Перевагами охоплюючого інструмента є висока стабільність та продуктивність, зменшення затрат завдяки меншій кількості пластин у різальному інструменті, система швидкої зміни і знижена вага інструмента.

Компанія Walter Tools [13] виготовляють фрези для обробки корінних та шатунних шийок колінчастих валів. Фрези виготовляють з розташуванням пластин із зовнішньої сторони диска (рис. 16, а, б) та внутрішньої (рис. 16, в). Перевагами використання цих фрез є тривалий термін служби інструменту, висока надійність та точність.

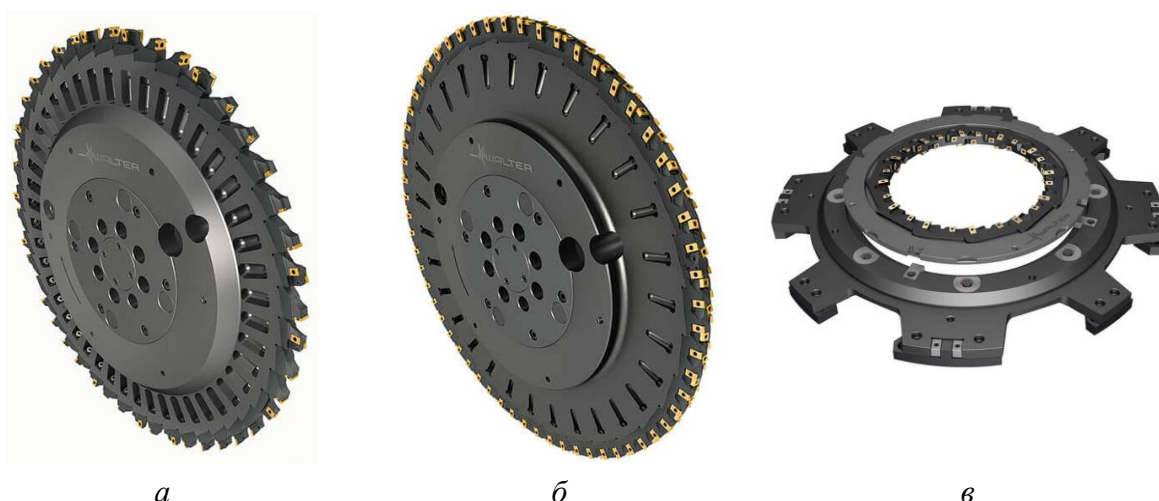


Рис. 16. Фрези для обробки колінчастих валів [13]

Фірма HELLER [14] виготовляє верстати для фрезерування колінчастих валів. Зовнішнє фрезерування (рис. 17, а) є гнучким і продуктивним методом. Системи виробництва валів RFK від HELLER призначені для високопродуктивної обробки корінних та шатунних шийок, поверхонь щік і зовнішніх діаметрів щік, а також спеціальних контурів за один установ. Можливе використання групових фрез, а також одночасне фрезерування корінних та шатунних шийок. Можливе встановлення лонету для обробки довгих колінчастих валів.

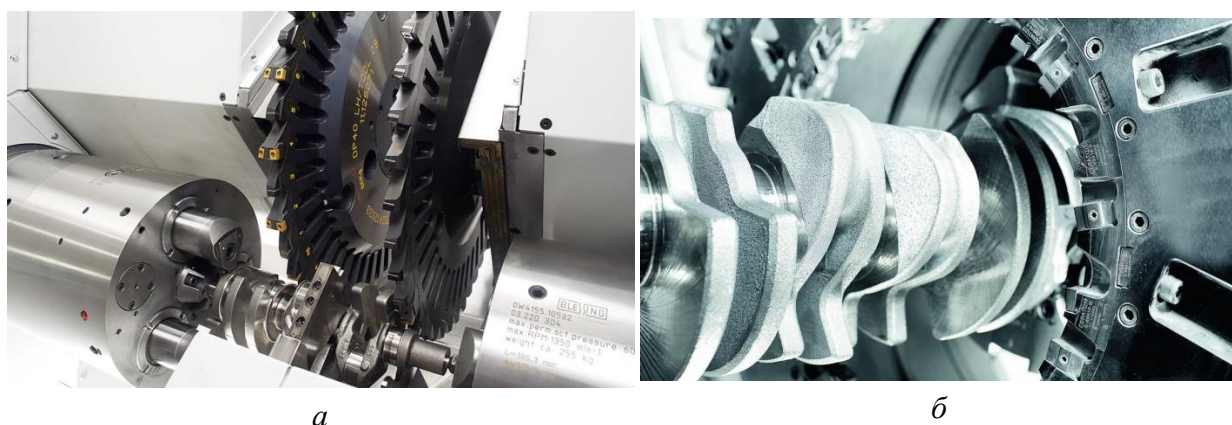


Рис. 17. Фрезерування колінчастих валів фрезою з розташуванням пластин ззовні (а) та всередині (б) [14]

Компанія Hegenscheidt MFD [15] виготовляє верстати та інструменти для обробки колінчастих валів. Є верстати як для масового виробництва, так і гнучкі системи для різних типорозмірів колінчастих валів. Чорнова та чистова обробка на фрезерних центрах NILES-SIMMONS N20 CM і N30 CM (рис. 18) здійснюється за один установ.



Рис. 18. Фрезерування колінчастих валів компанія Hegenscheidt MFD [15]

У публікації [16] обирається метод обробки колінчастого вала. Для розглянутого виробництва обираються верстати автоматичної лінії, забезпечуючи скорочення часу простою між операціями.

У статті [17] описаний розроблений осцилюючий шліфувальний верстат для обробки колінчастих валів. Ця технологія використовується фірмами Landis and Junker, вона є таємною.

Конструкція осцилюючого шліфувального верстата наведена на рис. 19. Всього 7 осей ЧПК X_1 , X_2 , Z_1 , Z_2 , C_1 , C_2 та W . Для високоефективного шліфування колінчастого вала необхідно забезпечити такі параметри: швидкість подачі шліфувального круга повинна бути 60 м/хв і більше, високу точність та жорсткість.

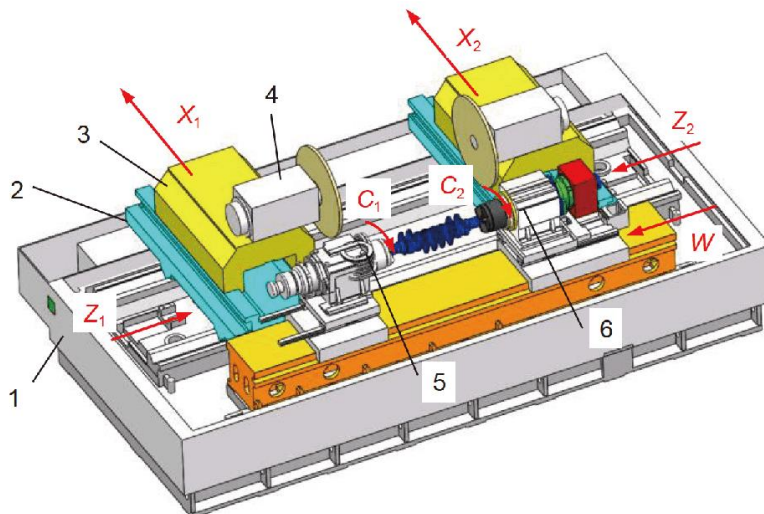


Рис. 19. Осцилюючий шліфувальний верстат:

1 – станина, 2 – супорт, 3 – каретка інструмента,
4 – шпindel шліфувального круга, 5 – передня бабка, 6 – задня бабка [17]

У роботі [18] описано різні методи обробки лезовим інструментом. Від якості обробки залежить термін служби колінчастого вала. Розглянуто обробку периферією фрези (рис. 20, а), її торцем (рис. 20, б), а також обробку різцем (рис. 20, в). Шатунні шийки та їхні галтелі складніше всього обробити. При обробці фрезою зуби фрези врізаються, при цьому процес обробки не є плавним, що негативно впливає на оброблену поверхню. При токарній обробці шатунної шийки можна використовувати ексцентриковий пристрій або програму, яка буде забезпечувати переміщення інструмента при обертанні колінчастого вала.

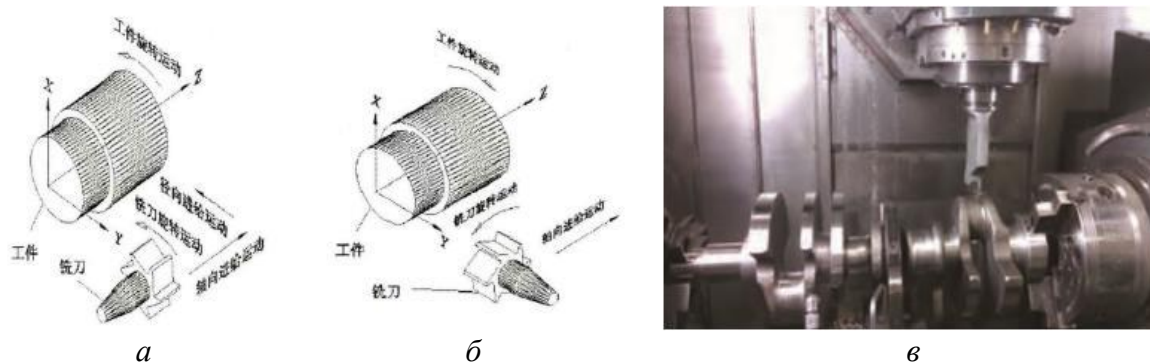


Рис. 20. Обробка колінчастого вала периферією фрези (а), її торцем (б) та різцем (в) [18]

Моделювання оброблюваної поверхні дозволяє отримати траєкторію руху інструмента при обробці шийки та галтелі. Після написання програми її перевіряють.

У [19] розглядається внутрішнє фрезерування корінних та шатунних шийок колінчастого вала. На рис. 21 наведена схема фрезерного верстата для шліфування чотирициліндрового колінчастого вала. У цій публікації наведена принципова схема обробки колінчастого вала на верстаті з ЧПК (рис. 21). У статі наведені графіки потужності при фрезеруванні колінчастого вала. Мета роботи – зменшення потужності обробки, її вдалося досягнути за рахунок оптимізації параметрів.

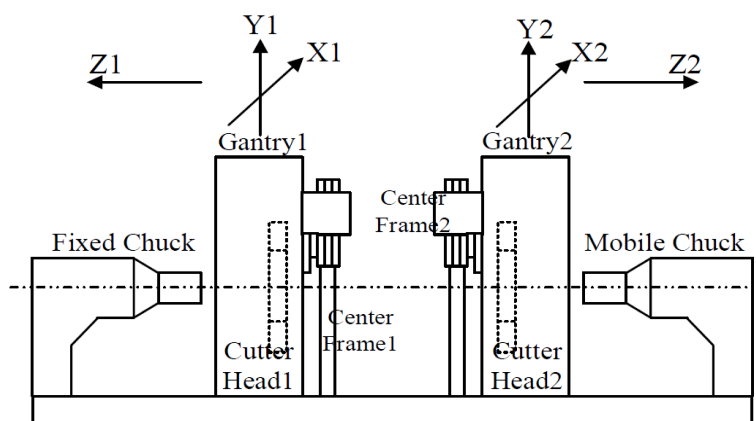


Рис. 21. Фрезерний верстат для шліфування колінчастого вала [19]

У публікації [20] описана обробка шатунної шийки колінчастого вала. Оскільки шатунна шийка знаходиться на певній відстані від осі колінчастого вала, то умови обробки змінюються. Колінчастий вал закріплений у центрах передньої та задньої бабки. Кут φ дорівнює 0 коли O_1, O_3, O_2 знаходяться на одній лінії (рис. 22).

$$\beta = \arcsin \frac{R_o \sin \varphi}{R_p + R_s}; \tag{2}$$

$$\delta = \arctan \frac{R_s \sin \beta}{R_o \cos \varphi + R_p \cos \beta}. \tag{3}$$

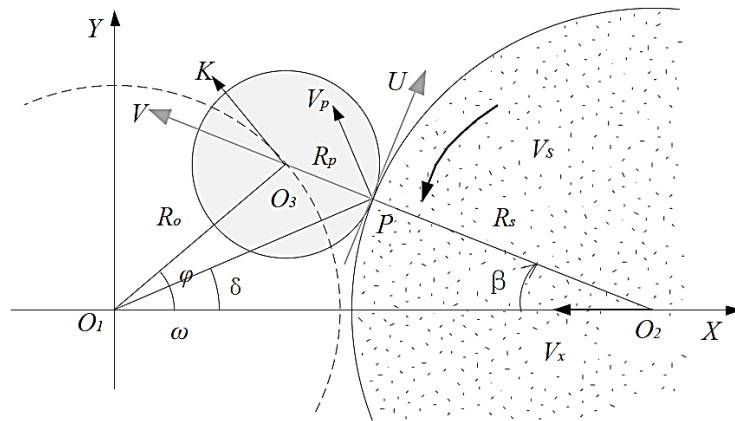


Рис. 22. Траєкторія руху шатунної шийки колінчастого вала та круга [20]

$$O_1P = \sqrt{(R_o \cos \varphi + R_p \cos \beta)^2 + (R_s \sin \beta)^2} \quad (4)$$

$$V_{wu}(\varphi) = \omega O_1P \cos(\delta + \beta) \quad (5)$$

$$V_{su}(\varphi) = V_x \sin \beta + V_s \quad (6)$$

де φ – кут повороту;

R_o – ексцентриситет шатунної шийки;

R_s – радіус шліфувального круга;

R_p – радіус шатунної шийки;

V_{wu} – тангенціальна швидкість по осі U;

V_{su} – тангенціальна швидкість шліфувального круга по осі U;

ω – кутова швидкість обертання колінчастого вала;

V_s – швидкість шліфувального круга.

Швидкість змінюється залежно від кута повороту шатунної шийки. Пропонується при обробці колінчастого вала зменшити його частоту обертання, зменшити глибину різання та збільшити частоту обертання шліфувального круга при обробці з керованою траєкторією.

У статі [21] розглядається зміцнення поверхні колінчастого вала після механічної обробки. При шліфуванні певних сталей перетворюється структура поверхневого шару певної глибини. Розроблена модель технологічного процесу шліфування кругом CBN для прогнозування температури як функції глибини. Існує оптимальна швидкість різання, що забезпечує необхідну твердість обробленої поверхні.

У роботі [22] описується процес шліфування колінчастих валів. Колінчасті вали обробляються на спеціально розроблених для цього верстатах, одними з основних виробників таких верстатів є Jtekt Corporation, Fives Landis Ltd. и Junker Group. При обробці шатунних шийок колінчастих валів є такі складності, як вісь корінних та шатунних шийок не збігаються, складна геометрична форма шатунної шийки, яка складається з опорної, бокової поверхонь і радіуса. Пропонується розглянути такі варіанти обробки як врізне шліфування під кутом (рис. 23, а), при цьому необхідно щоб подача і частоти обертання шліфувального круга і заготовки мали певні значення, а також потрібно використовувати охолоджуючу рідину; метод шліфування, при якому зменшується контакт між заготовкою та шліфувальним кругом, з метою покращення видалення стружки та зниження імовірності навантаження круга (рис. 23, б); метод, при якому шліфувальний круг переміщається між боковими стінками, що дозволяє охолоджувальній рідині досягати прошліфованих зон, коли шліфувальний круг уже не контактує із заготовкою.

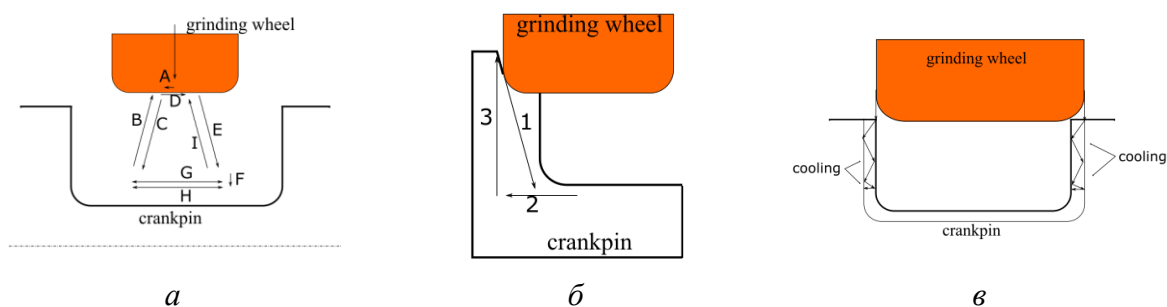


Рис. 23. Шліфування шийки колінчастого вала [22]

Висновки. Колінчасті вали є досить розповсюдженими деталями, тому вдосконаленню процесу їх обробки присвячено багато робіт. Також багато фірм, які виготовляють верстати та інструменти для обробки, постійно вдосконалюють свої конструкції для забезпечення високої точності та продуктивності обробки. У цій роботі був проведений аналіз методів обробки шатунних шийок колінчастих валів. В Україні частіше виконують шліфування колінчастих валів, закордонні фірми шліфують, фрезерують, а також використовують токарну обробку колінчастих валів. Фрезерування є точним та продуктивним способом обробки, багато закордонних фірм фрезерують колінчасті вали. Фрезерування може здійснюватись інструментом із зовнішнім і внутрішнім розташуванням пластин на диску.

Список використаних джерел

1. Кальченко В. І. Модульне 3D-моделювання інструментів, процесу зняття припуску та формоутворення при шліфуванні зі схрещеними осями колінчастого вала і круга / В. І. Кальченко, Д. В. Кальченко // Резание и инструмент в технологических системах. – 2014. – Вып. 84. – С. 107-114.
2. Предварительное и окончательное шлифование коленчатого вала за одно закрепление: пат. 2240218 Российская Федерация. – Заявл. 20.04.2002; опубл. 20.11.2004.
3. Устройство для обработки в центрах тел с параллельно смещенными осями вращения: пат. 2049597 Российская Федерация. Заявл. 18.01.1993; опубл. 10.12.1995.
4. Станок для шлифования шеек коленчатых валов: пат. 2050249 Российская Федерация. – Заявл. 24.12.1992; опубл. 20.12.1995.
5. Шлифовальный центр и способ одновременного шлифования нескольких подшипников и концевых поверхностей коленчатых валов: пат. 2467863 Российская Федерация. – Заявл. 24.12.1992; опубл. 20.12.1995.
6. Шлифовальный многоцелевой станок и способ для одновременного шлифования множества шеек коленчатого вала: пат. 2470758 Российская Федерация. – Заявл. 20.05.2008; опубл. 27.12.2012.
7. Спосіб фінішної обробки поверхонь обертання деталей: пат. 90648 Україна. – u200911969; заявл. 23.11.2009; опубл. 11.05.2010, Бюл. № 9.
8. Способ обработки деталей типа коленчатых валов: пат. 2198766 Российская Федерация. – 2000122400/02; заявл. 29.08.2000; опубл. 20.02.2003.
9. Полуавтоматы для обработки шеек валов [Электронный ресурс] / Харьковский станкостроительный завод – Режим доступа: <http://harverst.com.ua/products/special/Semi-automatic%20grinders%20for%20cams%20of%20crankshafts.php>.
10. Полуавтомат круглошлифовальный с ЧПУ Sinumerik-810 D модель 3V130F3 (для шлифования криволинейных продольных и поперечных профилей) [Электронный ресурс] / Обособленное подразделение «Лубенский станкостроительный завод» АО «МОТОР СИЧ». – Режим доступа: <http://lsz.motorsich.com/58-Poluavtomat-krugloshlifovalnyiy-s-CHPU-Sinumerik-810D-model-3V130F3-dlya-shlifovaniya-krivolineynyih-prodolnyih-i-poperechnyih-profiley.html>.
11. Grinding machines [Electronic resource] / JUCRANK: JUNKER. – Access mode: <https://www.junker-group.com/grinding-machines/products/jucrank/>.

12. Crankshaft [Electronic resource] / Sandvik. – Access mode: <https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/industrysolutions/automotive/engine/pages/crankshafts.aspx>.
13. Crankshaft [Electronic resource] / Walter Tools. – Access mode: <https://www.walter-tools.com/bg-bg/industry-solutions-walter/industries-automotive/industries-automotive-crankshaft/pages/default.aspx>.
14. Crankshaft/camshaft production systems RFK/DRZ/MCC 15/RFN [Electronic resource] / HELLER. – Access mode: <https://www.heller.biz/en/machines-and-solutions/crankshaft-camshaft-production-systems/>.
15. Machines used in crankshaft production [Electronic resource] / Hegenscheidt MFD. – Access mode: <https://www.hegenscheidt-mfd.com/en/automotive-technology/machines-used-in-crankshaft-production/>.
16. A simulation based study on increasing production capacity in a crankshaft line considering limited budget and space / G. Wang, S. Song, Y. W. Shin, D. H. Moon // Journal of Korean / Institute of Industrial Engineers. – 2014. – № 40 (5). – P. 481–491.
17. Development of an oscillating grinding machine tool based on error analysis / L. Wang, D. Wang, B. Wang, W. Li // Science China Technological Sciences. – 2020. – Vol. 63(6). – Pp. 912-922.
18. Fu F. Large Crankshaft Connecting Rod Journal Fillet Multi-axis Linkage Machining Method Research and Finite Element Analysis / F. Fu, X. Y. Bao // Proceedings of the 3rd Annual International Conference on Mechanics and Mechanical Engineering (MME 2016). – 2017. – Vol. 105. – Pp. 975-980.
19. Analysis and Optimization of Milling Process for Crankshaft Pin Based on Energy Consumption. / H. L. Li, L. U. O. Min, Z. C. Chen, J. Y. Xu, L. Y. Liu // 2nd International Conference on Informatics, Control and Automation (ICA 2019). – 2019 – Pp. 355-361.
20. Zhang M. Optimization of roughness and residual stresses in path controlled grinding of crankpin / M. Zhang, Z. Yao, S. Xu // Procedia CIRP. – 2015. – 36. – Pp. 117-122.
21. Fricker D. C. Predicting the occurrence of grind hardening in cubic boron nitride grinding of crankshaft steel / D. C. Fricker, T. R. A. Pearce, A. J. L. Harrison // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. – Part B: Journal of Engineering Manufacture. – 2014. – № 218(10). – Pp. 1339-1356.
22. Macerol N. Development of Multi-grit cBN Grinding Wheel for Crankshaft Grinding [Electronic resource] / N. Macerol. – Gothenburg : Chalmers University of Technology (Sweden), 2019. – 52 p. – Access mode: https://research.chalmers.se/publication/512199/file/512199_Fulltext.pdf.

References

1. Kalchenko, V.I. & Kalchenko, D.V. (2014). 3D-modeliuvannia instrumentiv, protsesu zniattia pryprusku ta formoutvorenna pry shlifuvanni zi skhreshchenymy osiamy kolinchatoho vala i kruha [3D modeling of tools, the process of removing the allowance and shaping when grinding with crossed axes of the crankshaft and wheel]. *Rezaniye i instrument v tekhnologicheskikh sistemakh – Cutting and tooling in technological systems*, 3, 107–114.
2. IuNKER Ervin (2004). *Predvaritelnoe i okonchatelnoe shlifovanie kolenchatogo vala za odno zakreplenie [Preliminary and final grinding of the crankshaft in one fixing]* (Russian Federation № 2240218). <https://www.freepatent.ru/patents/2240218>.
3. Semenchenko, V.K., Kadykov, A.L., Burdyga, V.A., Ushanov, S.M., Nizev, S.G., Astakhov, V.V., Kirianov, V.P., Maksimov, N.E., & Vinogradov, A.P. (1995). *Ustroistvo dlia obrabotki v tcentrakh tel s parallelno smeshchennymi osiami vrashcheniia [A device for processing in the centers of bodies with parallel offset axes of rotation]* (Russian Federation № 2049597). <https://www.freepatent.ru/patents/2049597>.
4. Diatel, N.N., Ralf, G.K., Snisarenko, I.N., & Siniagovskii, I.I. (1995). *Stanok dlia shlifovaniia sheek kolenchatykh valov [Crankshaft Neck Grinding Machine]* (Russian Federation № 2050249). <https://www.freepatent.ru/patents/2050249>.
5. IuNKER Ervin (1995). *Shlifovalnyi tcentr i sposob odnovremennogo shlifovaniia neskolkikh podshipnikov i kontsevykh poverkhnostei kolenchatykh valov [Grinding center and method for simultaneous grinding of multiple bearings and end surfaces of crankshafts]* (Russian Federation № 2467863). <https://www.freepatent.ru/patents/2467863>.

6. IuNKER Ervin (2012). *Shlifovalnyi mnogotcelevoi stanok i sposob dlia odnovremennogo shlifovaniia mnozhestva sheek kolenchatogo vala [Grinding multipurpose machine and method for simultaneous grinding of multiple journals of a crankshaft]* (Russian Federation № 2467863). <https://www.free-patent.ru/patents/2470758>.
7. Usenko, V.V., & Kurylo, M.F. (2010). Sposib finishnoi obrobky poverkhon obertannia detalei [Method of finishing surfaces of parts rotation] (Ukraine № 90648). <https://uapatents.com/4-90648-sposib-finishno-obrobki-poverkhon-obertannya-detalej.html>.
8. Poletaev, V.A., & Volkov, D.I. (2003) Sposob obrabotki detalei tipa kolenchatykh valov [Method of processing parts such as crankshafts] (Russian Federation № 2198766). RUSSIAN PATENT AND TRADEMARK AGENCY <https://www.freepatent.ru/patents/2198766>.
9. Poluavtomaty dlia obrabotki sheek valov: Kharkovskii stankostroitelnyi zavod «Kharverst». Kharkov [Semiautomatic machines for processing shaft necks: Kharkov machine-tool plant "Harverst". Kharkov]. <http://harverst.com.ua/products/special/Semi-automatic%20grinders%20for%20cams%20of%20crankshafts.php>.
10. Poluavtomat krugloshlifovalnyi s ChPU Sinumerik-810 D model 3V130F3 (dlia shlifovaniia krivolineinykh prodolnykh i poperechnykh profilei): Obosoblennoe podrazdelenie «Lubenskii stankostroitelnyi zavod» AO «MOTOR SICH» [Semi-automatic circular grinding with CNC Sinumerik-810 D model 3V130F3 (for grinding curved longitudinal and transverse profiles): Separate subdivision "Lubensky machine-tool plant" JSC "MOTOR SICH"]. <http://lsz.motorsich.com/58-Poluavtomat-krugloshlifovalnyi-y-s-CHPU-Sinumerik-810D-model-3V130F3-dlya-shlifovaniya-krivolineinykh-prodolnykh-i-poperechnykh-profilei.html>.
11. Grinding machines. JUCRANK: JUNKER. <https://www.junker-group.com/grinding-machines/products/jucrank/>.
12. Crankshafts: Sandvik. <https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/industrysolutions/automotive/engine/pages/crankshafts.aspx>.
13. Crankshaft: Walter Tools. <https://www.walter-tools.com/bg-bg/industry-solutions-walter/industries-automotive/industries-automotive-crankshaft/pages/default.aspx>.
14. Crankshaft/camshaft production systems RFK/DRZ/MCC 15/RFN: HELLER. <https://www.heller.biz/en/machines-and-solutions/crankshaft-camshaft-production-systems/>.
15. Machines used in crankshaft production: Hegenscheidt MFD. <https://www.hegenscheidt-mfd.com/en/automotive-technology/machines-used-in-crankshaft-production/>.
16. Wang, G., Song, S., Shin, Y. W., & Moon, D. H. (2014). A simulation based study on increasing production capacity in a crankshaft line considering limited budget and space. *Journal of Korean Institute of Industrial Engineers*, 40(5), 481–491.
17. Wang, L., Wang, D., Wang, B., & Li, W. (2020). Development of an oscillating grinding machine tool based on error analysis. *Science China Technological Sciences*, 63(6), 912–922.
18. Fu, F., & Bao, X. Y. (2017). Large Crankshaft Connecting Rod Journal Fillet Multi-axis Linkage Machining Method Research and Finite Element Analysis. 3rd Annual International Conference on Mechanics and Mechanical Engineering (MME 2016). *Advances in Engineering Research (AER)*, 105, 975–980.
19. Li, H. L., Min, L.U.O., Chen, Z.C., Xu, J.Y., & Liu, L.Y. (2019). Analysis and Optimization of Milling Process for Crankshaft Pin Based on Energy Consumption. 2019 2nd International Conference on Informatics, Control and Automation (ICA 2019) (pp. 355–361).
20. Zhang, M., Yao, Z. & Xu, S. (2015) Optimization of roughness and residual stresses in path controlled grinding of crankpin. *Procedia CIRP*, 36, 117-122.
21. Fricker, D.C., Pearce, T.R.A., & Harrison, A.J.L. (2014). Predicting the occurrence of grind hardening in cubic boron nitride grinding of crankshaft steel. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 218(10), 1339-1356.
22. Macerol, N. (2019). Development of Multi-grit cBN Grinding Wheel for Crankshaft Grinding. Doctoral dissertation, Chalmers University of Technology (Sweden).

Отримано 28.11.2021

UDC 621.9:62-233.1

Sklyar VasylPhD Student of Department Automobile Transport and Sectoral Machine Building
Chernihiv Polytechnic National University (Chernigiv, Ukraine)E-mail: uslhj@meta.ua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0563-6887>ResearcherID: [J-1138-2016](https://orcid.org/0000-0003-0563-6887)**ANALYSIS OF METHODS OF PROCESSING CRANKSHAFT
CONNECTING RODS ORIENTED TOOLS**

Crankshafts are quite common parts made in the automotive, shipbuilding, machine-building and other industries. They have a complex shape, also it is necessary to ensure high accuracy and productivity during processing. Analysis of crankshaft machining methods is an urgent task.

Analysis of known processing methods, identification of their advantages and disadvantages will pay more attention to unresolved issues and further improve of the processing process.

Known methods of processing connecting rod necks of crankshafts are considered. Nowadays grinding and milling are most often used. Milling can be a tool in which the cutting inserts are on the outside of the disk and on the inside. Many companies manufacture machines that are self-adjusting for processing, as well as flexible systems for processing various crankshafts. Most often, machines are designed to process the crankshaft for one institution.

Lack of analysis of known methods of processing connecting rod necks of crankshafts.

Analyze the known methods of processing connecting rod necks of crankshafts.

This article is a review. Methods of crankshaft processing are considered. Processing of connecting rod necks takes more time, and is also more difficult in comparison with processing of radical necks as axes of these necks are not on a shaft axis. Processing of a cranked shaft for one fastening is more productive than for several fastenings. Processing of connecting rod necks of cranked shafts can take place with use of special devices or according to the program on CNC machines.

The analysis of the known methods of grinding and milling of crankshaft necks was carried out in the article.

Keywords: crankshaft processing; connecting rod necks; grinding; milling.

Fig.: 23. References: 22.

Сергій Олексієнко¹, Світлана Ющенко², Михайло Руденко³, Володимир Гречка⁴

¹кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технологій зварювання та будівництва

Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)

E-mail: sv.oleks@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5475-4439>

ResearcherID: [F-8197-2014](https://orcid.org/0000-0001-5475-4439). SCOPUS Author ID: [57190370561](https://orcid.org/0000-0001-5475-4439)

²кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технологій зварювання та будівництва

Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)

E-mail: rasssveta@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0863-9020>

ResearcherID: [F-7741-2014](https://orcid.org/0000-0003-0863-9020). SCOPUS Author ID: [57190373626](https://orcid.org/0000-0003-0863-9020)

³старший викладач кафедри технологій зварювання та будівництва

Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)

E-mail: rudenko_bear@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9542-7792>

ResearcherID: [G-6235-2014](https://orcid.org/0000-0001-9542-7792). SCOPUS Author ID: [57190378153](https://orcid.org/0000-0001-9542-7792)

⁴асистент кафедри технологій зварювання та будівництва

Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)

E-mail: vovagrechka87@gmail.com

ПРОЄКТ КОНСТРУКЦІЇ ПРИЗМАТИЧНОГО БУНКЕРА ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ

Недоліком конструкцій призматичних бункерів для сипучих продуктів є їх обвалення при експлуатації внаслідок відриву воронки в місці її приєднання до вертикальної частини. Для забезпечення надійної роботи призматичних бункерів запропоновано конструктивне рішення, за яким вертикальні ребра жорсткості плоских панелей воронки з'єднуються із замкнутим по периметру опорним ребром із профільної труби. Використання блочної конструкції бункерів перетворює процес спорудження на монтажному майданчику із будівництва на складання із блоків із підвищеним ступенем заводської готовності, що дозволяє зменшити вартість монтажних робіт.

Ключові слова: призматичний бункер; розрахункова схема; проектування; напружений стан; металоємність; блочна конструкція; монтаж.

Рис.: 9. Табл.: 1. Бібл.: 11.

Актуальність теми дослідження. Стальні бункери з плоскими стінками призначені для зберігання і вивантаження сипучих матеріалів та відрізняються різноманіттям об'ємно-планувальних та конструктивних рішень. Їх проектують з урахуванням навантажень від тиску сипучого матеріалу, власної маси конструкції, а також снігового, вітрового та тимчасових навантажень на перекриття. На сьогодні пошук найкращих конструктивних форм таких виробів, більш точний облік характеру і значень діючих навантажень, використання більш точних методів розрахунку дозволяють конструктору економити метал, усуваючи залишковий запас міцності, зменшуючи масу металу в невантажених частинах виробу.

Водночас виконання монтажних робіт зі спорудження бункерів на будівельних майданчиках ускладнюється необхідністю виконання висотних робіт, погодними умовами, недостатністю необхідного обладнання тощо. Таким чином, забезпечення якісних і кількісних показників при спорудженні бункерних ємностей, до яких можна віднести мінімальну металоємність конструкції, підвищення ступеня заводської готовності, транспортельності елементів конструкції, підвищення працездатності зварної конструкції, зниження трудомісткості її виготовлення та монтажу і, як наслідок, розміри необхідних капіталовкладень, цілком визначаються якістю проєкту як самої конструкції, так і проєкту технологічного процесу її виготовлення.

Постановка проблеми. Пірамідально-призматичний бункер (рис. 1) складається з верхньої призматичної частини та нижньої частини, яка має форму усіченої піраміди [1]. Вертикальні стінки бункера утворюються переважно бункерними несучими балками та мають горизонтальні та вертикальні ребра жорсткості. Обшивка воронки укріплюється звичайно тільки горизонтальними ребрами жорсткості.

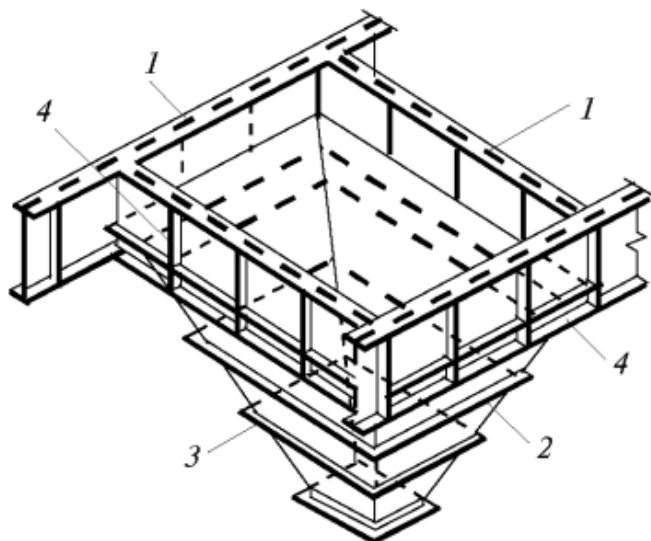


Рис. 1. Пірамідально-призматичний бункер:

1 – вертикальна стінка бункера (бункерна балка); 2 – воронка; 3 – ребра жорсткості воронки; 4 – вертикальні і горизонтальні ребра жорсткості бункерної балки

Джерело: [1].

Питання проектування і підходи до вирішення конструктивного оформлення бункерів детально висвітлено в роботах численних авторів, зокрема [1-4]. Але очевидним недоліком таких конструкцій є з'єднання бічних панелей під прямим кутом, що викликає нерівномірність напружено-деформованого стану і, як наслідок, виникнення аварійних ситуацій, причини яких детально проаналізовані в роботі [5]. Разом з тим у практиці проектування використовується прийом, коли розмірні параметри елементів конструкції, наприклад, товщина листової обшивки, приймається, виходячи із досвіду проектування [3], а решта конструктивних елементів виявляються «прив'язаними» до неї: кількість поясів орєбрення, розміри профілів і т. ін. Це, у свою чергу, залишає поза увагою вирішення питання зниження металоємності конструкції.

Разом з цим при проектуванні конструкцій бункерів зовсім поза увагою також залишаються питання, які безпосередньо пов'язані з роботами зі спорудження на будівельних майданчиках та з транспортуванням до них складових конструктивних елементів від заводу-виробника.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Разом із зазначеними вище роботами, присвяченими питанням проектування конструкцій призматичних бункерів, концепція проектування сталевих ємнісних конструкцій для сипких матеріалів уточнюється і надалі [6]. Однак досвід експлуатації таких споруд супроводжується наявною статистикою їх відмов та аварій.

З цього погляду особливу увагу на себе звертають роботи Д. Баннікова, який провів узагальнення причин аварійних ситуацій [7-9]. З погляду інженерної діяльності інтерес насамперед становлять технічні причини, що передбачають надалі втручання у конструктивну схему бункерів для підвищення їхньої експлуатаційної надійності.

Автор зазначає, що одна з основних специфічних причин відмови та аварій сталевих ємнісних конструкцій для сипких матеріалів пов'язана з неправильним визначенням навантажень на конструкцію. При цьому він розглядає приклад обвалення бункера ємністю близько 150 м³ для зберігання цементу, що трапилося після кількох днів його експлуатації: при черговому завантаженні стався відрив воронки в місці її приєднання до вертикальної частини.

Другою основною помилкою виготовлення сталевих ємнісних конструкцій для сипких матеріалів, на переконання ученого, є відступ від проєкту та виконання ряду вузлів або елементів конструкції не за проєктом.

Розробки, які дозволили суттєво покращити конструктивно-технологічні показники бункерних ємнісних конструкцій, представлені в роботі [10]. Дослідником пропонується використання багатошарової складної конструкції та передбачається використання сталевих гофрованих листів, що направлено на вирішення питання зниження металоємності. При проведенні досліджень автором використовувався метод комп'ютерного моделювання на основі одного із сучасних чисельних методів будівельної механіки – методу скінчених елементів.

Картини напружено-деформованого стану ємності, що розглядалась у роботі [10], представлені на рис. 2. Темнішим ділянкам відповідає вищий рівень напружень.

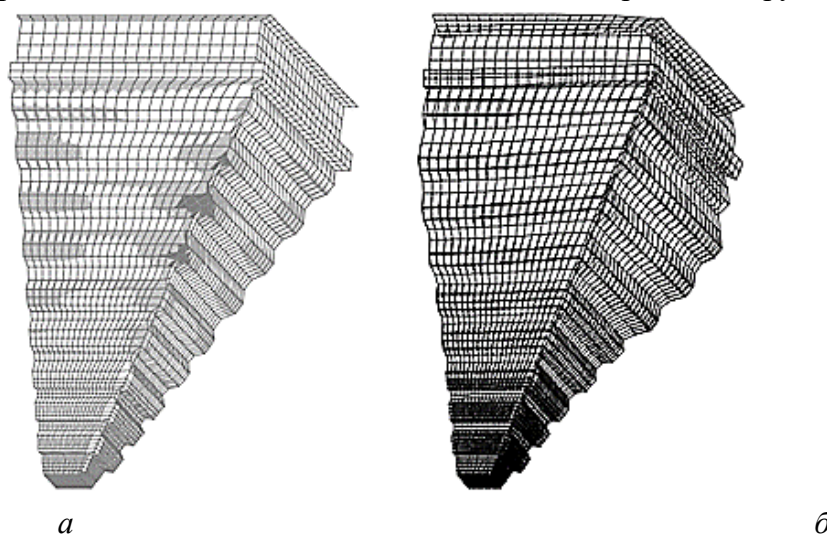


Рис. 2. Напружений (а) та деформований стан (б) бункерної ємності [10]

У зазначеній роботі вказано, що металоємність споруди може бути зменшена за теоретичними підрахунками на величину до 1,5 раза.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Таким чином, незважаючи на велику кількість наукових робіт, присвячених розробці проєктів конструкцій призматичних бункерів, та наявність статистичних даних про основні причини руйнування таких конструкцій, на сьогодні досі відсутній комплексний підхід до вирішення питання забезпечення надійної роботи конструкції за рахунок пошуку кращих конструктивних форм, технологій її виготовлення та монтажу.

Мета роботи. У зв'язку з цим, метою цієї роботи є розробка конструкції призматичного бункера, яка дозволяє забезпечити експлуатаційну надійність, виробничу технологічність та мінімальні супутні витрати, пов'язані зі спорудженням конструкції на будівельному майданчику.

Виклад основного матеріалу. Робота виконувалась у межах співпраці з ТОВ “КРОК-УКРЗАЛІЗБУД” при реалізації проєкту реконструкції зерносушильного комплексу в смт Мала Дівиця Прилуцького району Чернігівської області.

Тиск сипучого матеріалу залежить від висоти його стовпа у сховищі, фізико-механічних властивостей та кута нахилу до горизонту площини, що розглядається. Вертикальний q^H і горизонтальний p^H нормативний тиск сипучого матеріалу в бункерах визначається за формулами [1]:

$$q^H = \gamma u; \quad (1)$$

$$p^h = k\gamma y, \quad (2)$$

де y – відстань від поверхні сипучого матеріалу до перерізу, що розглядається;

k – відношення горизонтального тиску до вертикального, $k = \operatorname{tg}^2(45^\circ - \varphi/2)$;

γ – питома вага матеріалу, для зерна $\gamma = 800 \text{ кг/м}^3$ [1];

φ – кут природного укосу, $\varphi = 25^\circ$ [1].

Основний нормативний тиск сипучого матеріалу, який діє перпендикулярно похилій поверхні воронки p_n^α (рис. 3), визначається за формулою:

$$p_n^\alpha = m_0 q^h, \quad (3)$$

де $m_0 = \cos^2 \alpha + k \sin^2 \alpha$.

Розрахункові навантаження від тиску сипучих матеріалів визначаються множенням нормативних тисків на коефіцієнт надійності за навантаженням γ_f , який для бункерів рівний 1,2 [5].

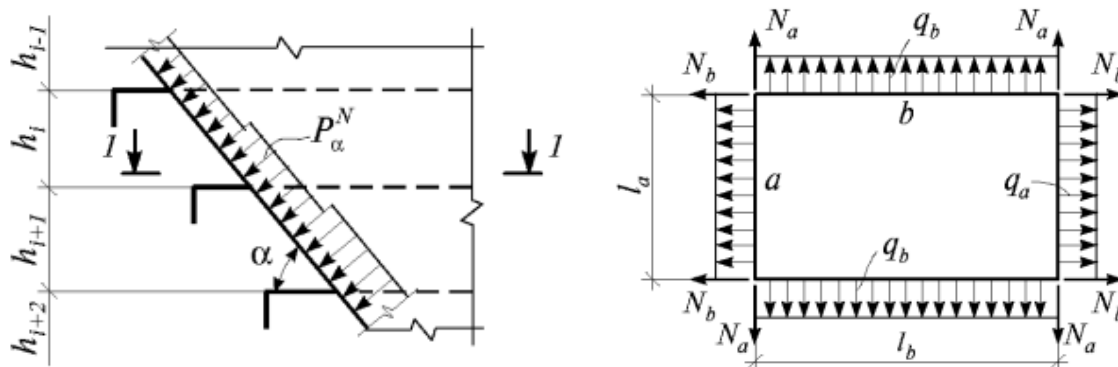


Рис. 3. Розрахункова схема воронки з ребрами жорсткості

Джерело: [1].

Бункер, що проектується, має висоту призматичної частини 3400 мм, розміри в плані, враховуючи припуски на виготовлення та зазори при монтажі на повздовжні та поперечні балки опорної рами (з метою зниження металоємності бункера [5]), міжосьова відстань між якими має розміри 2500×4300 мм, по внутрішньому обміру 2185×3985 мм, висоту воронки 1600 мм, випускний отвір 600×600 мм (рис. 4).

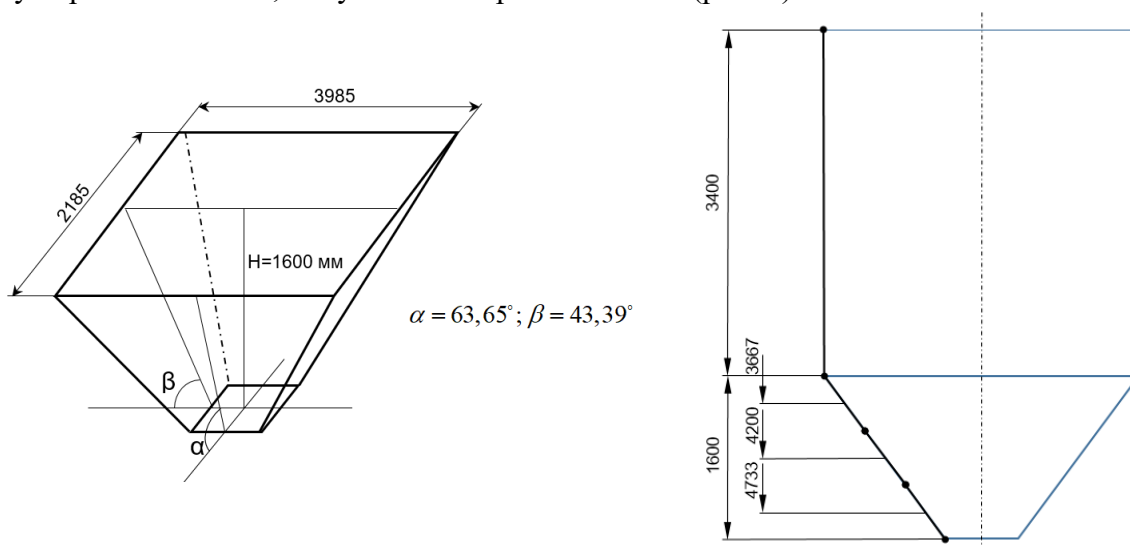


Рис. 4. Розмірні параметри бункера

Плоскі стінки бункерів розраховуються як однопролітні пластинки, розрахункові навантаження у яких визначають, виходячи із припущення їх шарнірного закріплення на нерухомих опорах (ребрах), під дією рівномірно розподіленого навантаження (рис. 5).

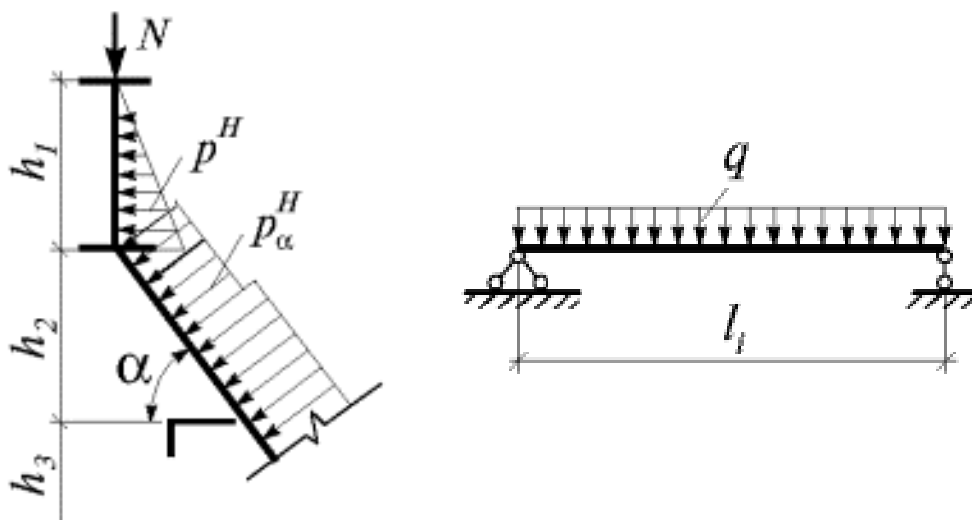


Рис. 5. Розрахункова схема навантажень на стінки бункера

Джерело: [1].

Для скорочення підрахунків зусилля визначимо тільки для нижньої (третьої) панелі:

$$q^H = 1,2 \cdot 800 \cdot 4,733 = 4543,68 \text{ кгс/м}^2;$$

$$k = \operatorname{tg}^2(45^\circ - 25^\circ/2) = 0,406;$$

$$m_0^\alpha = \cos^2 63,65^\circ + 0,406 \cdot \sin^2 63,65^\circ = 0,523;$$

$$m_0^\beta = \cos^2 43,39^\circ + 0,406 \cdot \sin^2 43,39^\circ = 0,720.$$

Основні нормативні тиски сипучого матеріалу, які діють перпендикулярно похилій верхній воронки широкої сторони p_n^α та похилій поверхні воронки вузької сторони p_n^β :

$$p_n^\alpha = m_0^\alpha q^H = 0,523 \cdot 4543,68 = 2376,34 \text{ кгс/м}^2;$$

$$p_n^\beta = m_0^\beta q^H = 0,720 \cdot 4543,68 = 3271,45 \text{ кгс/м}^2.$$

На лінії з'єднання призматичної частини з воронкою:

$$p^H = 1,2 \cdot 0,406 \cdot 800 \cdot 3,4 = 1325,18 \text{ кгс/м}^2.$$

Отримані значення навантажень використали для моделювання напруженого стану в конструкціях бункерів за допомогою програмних продуктів ANSYS та Autodesk Inventor. Бралася до уваги також і власна вага конструкції. Проектування здійснювалось відповідно до вимог ДБН В.2.6-198:2014 "Сталеві конструкції. Норми проектування" [11].

Так, шляхом моделювання напруженого стану в конструкціях бункерних ємностей виявили місця концентрації напружень, встановили значення величин деформування елементів конструкцій, визначили оптимальні варіанти конструктивного оформлення, зокрема, розмірні параметри та схему розташування вертикальних і поперечних ребер жорсткості.

Для прикладу, за одним із розглянутих варіантів конструкції бункера з розташуванням панелей у призматичній частині під кутом 90° одна до одної має місце значне перевищення напружень у вузлах (рис. 6). При цьому забезпечується нормальна робота плоских панелей, які складаються з листової обшивки та приварених до неї вертикальних та горизонтальних ребер жорсткості.

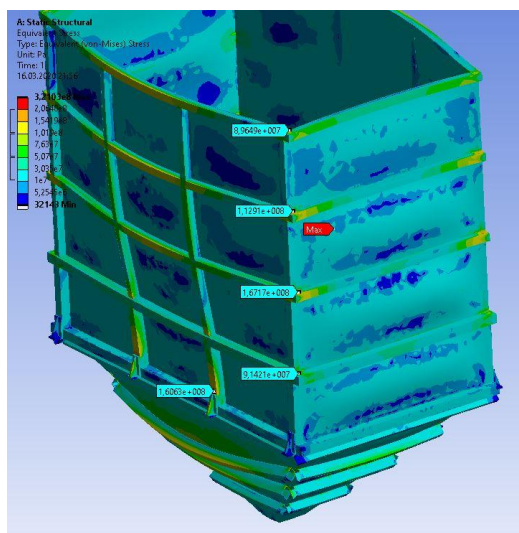


Рис. 6. Моделювання напруженого стану в конструкції бункера відходів (ANSYS)
Джерело: розроблено авторами.

При дослідженні варіантів конструктивного оформлення бункерних ємностей остаточно прийняли варіант конструкції, зображений на рис. 7. За прийнятим варіантом у призматичній частині всі плоскі панелі з каркасом оребрення, виконаного із профільної труби, з'єднуються в кутах зі скругленням радіусом 500 мм. Аналогічно виконується з'єднання панелей воронки.

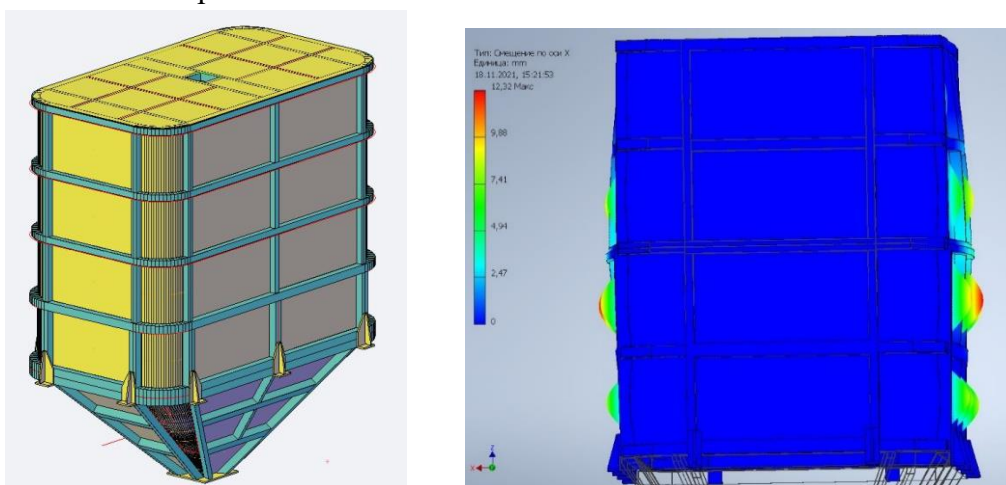


Рис. 7. Компонування конструкції бункера прийнятого варіанта та напружений стан
Джерело: розроблено авторами.

У розробленій конструкції, виконаній зі сталі С245, товщина листової обшивки воронки 4 мм, вертикальні ребра жорсткості з труби прямокутної 100×60×4 мм, 100×50×5 мм, горизонтальні ребра жорсткості з труби квадратної 100×5 мм, опорне ребро з труби квадратної 100×8 мм.

Нижній блок призматичної частини має товщину листової обшивки першого ярусу 4 мм, другого – 3 мм. Вертикальні ребра жорсткості з труби прямокутної 100×50×5 мм, 80×40×3 мм, горизонтальні ребра – з труби квадратної 100×5 мм та 80×3 мм.

Верхній блок вертикальної частини має товщину листової обшивки 3 мм. Вертикальні ребра жорсткості з труби прямокутної 80×40×3 мм, горизонтальні ребра – з труби квадратної 80×3 мм.

Таким чином, використання різнорозмірної труби для каркаса жорсткості та листа різної товщини дозволило знизити металоемність конструкції.

Як зазначалось вище, ретельної уваги вимагає опрацювання конструкції вузла спряження призматичної частини та воронки, щоб запобігти відриву останньої під вагою сипучого матеріалу.

Для запобігання такого явища в запропонованій конструкції воронки використовується конструктивне рішення, за яким вертикальні ребра жорсткості плоских панелей з'єднуються із замкнутим по периметру опорним ребром з профільної труби (рис. 8).

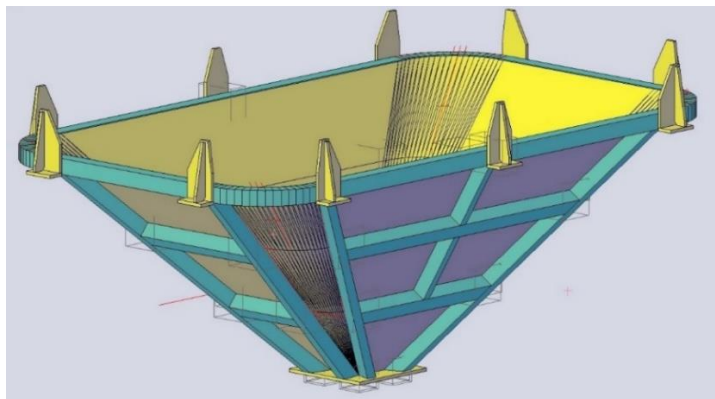


Рис. 8. Конструкція воронки

Джерело: розроблено авторами.

До ребра, у свою чергу, приварені опорні лапи, за рахунок яких на першопочатковому етапі спорудження бункера здійснюється монтаж воронки на повздовжні та поперечні балки опорної рами.

Призматичний бункер, спроектований відповідно до рекомендацій традиційного підходу [3] має об'єм 35 м^3 та масу $4,25 \text{ т}$, що в сукупності на комплекс блока відвантаження зерносушильного комплексу становить $12,75 \text{ т}$. Якщо врахувати масу двотаврових балок (двотавр №24у загальною масою $876,96 \text{ кг}$) опорної рами та вагу кожного бункера за прийнятим варіантом ($3,433 \text{ т}$), то отримуємо масу $11,176 \text{ т}$, що на 12% менше. Загальний вигляд блока відвантаження та схема його монтажу зображені на рис. 9.



Рис. 9. Схема монтажу (а) та загальний вигляд спорудженого блока відвантаження (б)

Джерело: розроблено авторами.

Ще однією специфічною особливістю розробки є використання блочної конструкції бункерів. Такий підхід перетворює процес спорудження на монтажному майданчику з будівництва у складання з блоків із підвищеним ступенем заводської готовності.

Розглянутий вище варіант стосується бункерів, які мають розміри, що дозволяють здійснити їхнє перевезення на автомобільному транспорті без будь-яких обмежень.

У випадку, якщо розміри окремих блоків будуть більшими за габаритні обмеження транспортних засобів, на монтажному майданчику після загального контрольного складання на заводі-виробнику укрупнювальне складання як призматичної частини, так і воронки може бути виконане з окремих плоских панелей, розміри яких визначаються із міркувань габаритних обмежень транспортних засобів.

Визначення основних показників, які використовуються при порівняльній оцінці ефективності інженерних рішень, методами техніко-економічного аналізу досить ускладнене [12]. Звичайно, поза увагою не повинен залишатись аспект розмірів капіталовкладень не тільки на реалізацію виробництва, але й на монтаж конструкції.

Крім того, істотним фактором, який впливає на кінцеву вартість металокопункцій будівель і споруд, є територіальна віддаленість об'єкта від заводу-виробника. Витрати на доставку металокопункцій в умовах завищених цін на перевезення автомобільним і залізничним транспортом нерідко спричиняють суттєві збитки. Додатково виникають витрати на доставку необхідного устаткування, інструментів, матеріалів, а також робітників, що виробляють роботи вахтовим методом на віддаленому об'єкті.

Кількісне оцінювання якості проекту ми пропонуємо здійснити за витратами ресурсів на монтаж, оскільки очевидно, що при меншій масі конструкції вона має і меншу вартість, але за прийнятим варіантом конструкції виникають додаткові витрати на спорудження опорної рами з балок двотаврового перерізу. Порівняльний розрахунок вартості монтажу проведено у програмному комплексі «Будівельні технології: Кошторис 8». Результати розрахунку наведені в таблиці.

Таблиця

Порівняння вартості монтажу бункера за традиційним та запропонованим підходом

№ з/п	Обґрунтування (шифр норми)	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Кількість	Загальна вартість, грн			Витрати праці робітників, не зайнятих обслуговуванням машин, люд/год	
					Всього	заробітної плати	експлуатації машин	тих, що обслуговують машини	
								на одиницю	всього
Призматичний бункер, спроектований відповідно до рекомендацій традиційного підходу									
1	E9-4-4	Монтаж бункерів і силосів стаціонарних	т	12,75	154535	42316	98952	48,4800	618,12
							44143	42,0813	536,54
		Разом прямих витрат на монтаж			154535	42316	98952		618,12
							44143		536,54
Розроблена конструкція призматичного бункера									
1	E9-18-1	Монтаж балок на відмітці до 25 м масою до 1 т	т	0,877	3499	1239	1880	22,8800	20,07
							755	10,7232	9,40
2	E9-4-4	Монтаж бункерів і силосів стаціонарних	т	10,299	124828	34182	79930	48,4800	499,30
							35657	42,0813	433,40
		Разом прямих витрат на монтаж			128327	35421	81810		519,37
							36412		442,80

Як видно з представлених у таблиці результатів, загальна вартість монтажу блока відвантаження із трьох призматичних бункерів за прийнятим варіантом конструкції на 26208 грн менше. Разом з тим зменшуються і витрати праці, що скорочує тривалість робіт.

Висновки. Аналіз існуючих досліджень у сфері спорудження призматичних бункерів та основних задач при їх проектуванні, виготовленні та монтажу дозволив виділити напрями покращення експлуатаційних характеристик таких конструкцій та вдосконалення їх з погляду технологічності виробництва.

Для забезпечення експлуатаційної надійності бункерних ємностей розроблено рішення, що передбачає використання в конструкції воронок бункерів вертикальних ребер жорсткості, які забезпечують спільну роботу її листової частини з каркасом жорсткості.

Використання блочного принципу спорудження бункерних ємностей дозволяє підвищити ступінь заводської готовності відправочних елементів і зменшити витрати праці на монтажних майданчиках.

Список використаних джерел

1. Металлические конструкции : справ. проект. : в 3 т. / под ред. В. В. Кузнецова. – М. : Изд-во АСВ, 1998. – Т.2 : Стальные конструкции зданий и сооружений. – 512 с.
2. Металлические конструкции. Общий курс : учебник для вузов / под общ. ред. Е. И. Беленя. 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1986. – 560 с.
3. Лихтарников, Я. М. Расчет стальных конструкций : справ. пособ. / Я. М. Лихтарников, В. М. Клыков, Д. В. Ладыженский. – К. : Изд-во “Будівельник”, 1975. – 350 с.
4. Руководство по расчету и проектированию железобетонных, стальных и комбинированных бункеров. – М. : Стройиздат, 1983. – 200 с.
5. Аугустин, Я. Аварии стальных конструкций : пер. с польск. / Я. Аугустин, Е. Шледзевский. – М. : Стройиздат, 1978. – 183 с.
6. Ягофаров Х. Основы теории проектирования листовых металлических конструкций. Пирамидально-призматический бункер / Х. Ягофаров, Н. Н. Собакин. – Екатеринбург : УрГУПС, 2006. – 234 с.
7. Банников Д. О. Основные причины аварий жестких стальных бункеров и низких силосов / Д. О. Банников, М. И. Казакевич // Металеві конструкції. – 2002. – Т. 5, № 1. – С. 59-66.
8. Банников Д. О. Сопоставительный анализ конструктивных схем стальных бункерных емкостей / Д. О. Банников, М. И. Казакевич // Металеві конструкції. – 2007. – Т. 13, № 3. – С. 163-172.
9. Банников Д. О. Анализ причин аварий стальных емкостных конструкций для сыпучих материалов / Д. О. Банников // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2011. – № 5. – С. 91-95.
10. Банников Д. О. Проективання сталевих бункерних ємностей за панельною конструктивною схемою / Д. О. Банников // Металеві конструкції. – 2011. – Т. 17, № 2. – С. 107-104.
11. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування. – [Чинний від 2015-01-01]. – Вид. офіц. – Київ, 2014. – 201 с.
12. Лихтарников, Я. М. Металлические конструкции. Методы технико-экономического анализа при проектировании / Я. М. Лихтарников. – М. : Стройиздат, 1968. – 264 с.

References

1. Kuznetsov, V. V. (Ed.) (1998). *Metallicheskie konstruksii (Spravochnik proektirovshchika): [Metal structures (Designer's guide)]. Stalnye konstruksii zdaniy i sooruzhenii [Steel structures of buildings and structures]* (Vol. 2). ASV.
2. Belenya, Ye. I. (ed.) (1986). *Metallicheskie konstruksii. Obshchii kurs: uchebnik dlia vuzov [Metal structures. General course: textbook]*. Stroiizdat.
3. Lihtarnikov, Ya. M., Klykov, V. M., & Ladyzhenskiy, D. (1975). *Raschet stalnyh konstruksiy. Spravochnoe posobie [Design of steel structures. Reference guide]*. Budivelnik.
4. *Rukovodstvo po raschetu i proektirovaniu zhelezobetonnyh, stalnyh i kombinirovannyh bunkerov [Guidelines for the calculation and design of reinforced concrete, steel and combined bunkers]* (1983). Stroiizdat.
5. Augustin, Ya., & Shledzevskiy, E. (1978). *Avarii stalnyh konstruksiy [Damages of steel structures]*. (Transl.). Stroiizdat.
6. Yagofarov, H., & Sobakin, N. N. (2006). *Osnovy teorii proektirovaniya listovyh metallicheskikh konstruksiy. Piramidalno-prizmaticheskii bunker [Fundamentals of the theory of designing sheet metal structures. Pyramidal-prismatic bunker]*. Ekaterinburg.
7. Bannikov, D.O., & Kazakevich, M.I. (2002). *Osnovnye prichiny avariyy zhestkiy stalnyh bunkerov i nizkiy silosov [The main causes of breakdown rate in strong steel bunkers and small silos]. Metalevi konstruksii – Metal structures, 5(1), 59–66.*

8. Bannikov, D.O., & Kazakevich, M.I. (2007). Sopostavitelnyi analiz konstruktivnyh shem stalnyh bunkernykh emkostey [Comparative analysis of structural schemes of steel bunker tanks]. *Metalevi konstruktsii – Metal structures*, 13(3), 163-172.

9. Bannikov, D.O. (2011). Analiz prichin aviariy stalnykh emkostnykh konstruktivnykh dlya sypuchih materialov [Analysis of the causes of damages in steel tank structures for bulk materials]. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost – Metallurgical and mining industry*, (5), 91-95.

10. Bannikov, D.O. (2011). Proektuvannya stalevuh yemnostei za panelnoiu konstruktivnoiu shemoiu [Design of steel bunker tanks according to the panel constructive scheme]. *Metalevi konstruktsii – Metal structures*, 179(2), 107-104.

11. Ministry of Regional Development of Ukraine. (2014). *Steel structures. Design norms* (DBN V.2.6-198:2014).

12. Lihtarnikov, Ya.M. (1968). *Metallicheskie konstruktsii. Metody tehniko-ekonomicheskogo analiza pri proektirovanii* [Metal structures. Methods of technical and economic analysis in the designing]. Stroizdat.

Отримано 25.11.2021

UDC 624.954

Serhii Oleksiienko¹, Svitlana Yushchenko², Mykhailo Rudenko³, Volodymyr Grechka⁴

¹PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Welding Technologies and Construction Department Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: sv.oleks@ukr.net. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5475-4439>

ResearcherID: [F-8197-2014](https://orcid.org/0000-0001-5475-4439). **SCOPUS Author ID:** [57190370561](https://orcid.org/0000-0001-5475-4439)

²PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Welding Technologies and Construction Department Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: rasssveta@ukr.net. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0863-9020>

ResearcherID: [F-7741-2014](https://orcid.org/0000-0003-0863-9020). **SCOPUS Author ID:** [57190373626](https://orcid.org/0000-0003-0863-9020)

³Senior Lecturer of Welding Technologies and Construction Department Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: rudenko_bear@ukr.net. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9542-7792>

ResearcherID: [G-6235-2014](https://orcid.org/0000-0001-9542-7792). **SCOPUS Author ID:** [57190378153](https://orcid.org/0000-0001-9542-7792)

⁴Assistant of Welding Technologies and Construction Department Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: vovagrechka87@gmail.com

PROJECT OF PRISMATIC BUNKER STRUCTURE AND ESTIMATION OF ACCEPTED SOLUTIONS EFFICIENCY

The ensuring of the minimum metal consumption of the structure, the reducing the labour-intensiveness of its manufacture and assembly in the construction of steel prismatic bunkers, designed for storage and unloading of free-flowing materials, are entirely determined by the quality of the design structure.

The disadvantage of bunker designs is the connection of the side panels at right angles, which causes the unevenness of the stress-strain state and, as a consequence, the occurrence of emergencies.

Some studies suggest that one of the main specific causes of bunker breakdowns and damages is related to incorrect determination of structural loads. A number of authors propose the use of multilayer complex design with the utilization of corrugated steel sheets, which directed to address the issue of reducing metal consumption.

Today there is still no complex approach to solving the problem of ensuring the reliable operation of the structure owing to searching the best structural forms, technologies for its manufacture and assembly.

In this connection, the purpose of this work is to develop the design of the prismatic bunker, which allows to ensure operational reliability, production manufacturability and minimal attended costs associated with the construction of the structure on the building site.

By means of modeling the stress state in the structures of bunker tanks, the optimal constructive design options were determined, particularly, dimensional parameters and layout of vertical and stiffening plates.

To ensure the operational reliability of bunker tanks, a solution has been developed that provides for the use of stiffening plates in the design of bunker funnel, which ensure the combined work of its sheet part with the stiffening frame. Use of the block principle of construction of bunker tanks allows to increase a degree of factorial readiness of dispatch elements and to reduce labour-intensiveness on assembly sites.

Keywords: prismatic bunker; calculated scheme; projecting, stress state; metal consumption; block structure; assembly.

Fig.: 9. **Table:** 1. **References:** 12.

**Максим Цисар¹, Анатолій Загора², Антон Бабак³, Сергій Івахненко⁴,
Олег Заневський⁵, Галина Ільницька⁶, Євгенія Загора⁷**

¹кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля (Київ, Україна)
E-mail: ts_maxim@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4494-9109>
SCOPUS Author ID: 54406108100

²кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля (Київ, Україна)
E-mail: apz146@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9380-3042>

³кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)
E-mail: sopromat_dpm@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5088-5578>

⁴доктор технічних наук, провідний науковий співробітник
Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля (Київ, Україна)
E-mail: sioz@ismv13.kiev.ua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4796-3416>

⁵кандидат хімічних наук, старший науковий співробітник
Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля (Київ, Україна)
E-mail: sioz@ismv13.kiev.ua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6751-866X>

⁶кандидат технічних наук старший науковий співробітник
Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля (Київ, Україна)
E-mail: gil-ism@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5124-1646>

⁷провідний інженер
Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля (Київ, Україна)
E-mail: jaz6591@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0724-8941>

ЗАЛЕЖНІСТЬ СТАТИЧНОЇ МІЦНОСТІ КРУПНИХ КРИСТАЛІВ СИНТЕТИЧНОГО АЛМАЗУ ТИПУ Ib ОКТАЕДРИЧНОГО ГАБІТУСУ, ПІСЛЯ ХІМІКО-ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ, ВІД ЇХНЬОГО РОЗМІРУ

У статті приділено увагу проблемі використання крупних монокристалів синтетичного алмазу типу Ib в буровому інструменті. Продемонстровано, що в результаті хіміко-термічної обробки на поверхні штучних монокристалів формуються мікрочастинки у формі октаєдрів та кубів. На відміну від класичного підходу, коли для виробництва бурового обладнання використовуються кристали Ib, нами представлені кристали Ib оскільки вони найближче до природного алмазу за фізико-механічними властивостями. Було показано, що кристали розміром 2000...2100 мкм мають більш високе значення статичної міцності, ніж кристали розміром 2200 мкм і більше.

Ключові слова: монокристал; синтетичний алмаз типу Ib; октаєдричний габітус; статична міцність; алмазний інструмент.

Рис.: 4. Табл.: 1. Бібл.: 10.

Актуальність теми дослідження. Перспективним напрямом підвищення експлуатаційних характеристик бурових коронок є використання крупних монокристалів синтетичних алмазів підвищеної міцності. Одним із методів вирощування таких кристалів є НР-НТ технологія, що за останні декілька десятиріч в ІНМ ім. В. М. Бакуля сягнула значного прогресу [1]. Розміром зерна, поряд з їхньою міцністю, визначається величина виступу алмазу з матриці. Це забезпечує такі характеристики робочого інструменту (коронки), як кількість робочих різців, рівень заглиблення та зазор між матрицею та породою. Збільшення розміру кристалів при однаковому рівні насичення дозволяє: оптимізувати конструкцію бурової коронки, знизити енергоємність буріння [2]. Така оптимізація запобігає повному руйнуванню окремих кристалів за рахунок збільшення площі контакту і відповідного зменшення зусилля взаємодії з оброблюваною породою [2]. Проте більш крупні алмази можуть мати більшу кількість дефектів, що відповідно зменшує їхню міцність, тому підбір відповідних монокристалів є чи не основною перешкодою при їх використанні [3; 4]. Однак використання будь-яких монокристалів

алмазу в буровому інструменті пов'язана з певними необхідними умовами. У промислових умовах методом спонтанного синтезу вдалось виростити крупні монокристали октаедричного габітусу типу Ib з мінімальною кількістю включень металу-розчиннику та ростових дефектів. Проте такі кристали повинні бути не лише візуально досконалі, вони повинні витримувати експлуатаційне навантаження та технологічні режими виготовлення коронок. Дослідженню впливу одного з таких технологічних етапів, а саме хіміко-термічній обробці і присвячена наукова робота.

Постановка проблеми. Використання в технологічному процесі виготовлення бурових коронок є хіміко-термічна обробка кристалів, що дозволяє очистити їхні поверхні від залишків металу-розчинника, отримати більш розвинену поверхню, що покращує взаємодію зі зв'язкою, частково стравити дефектний поверховий шар, що сприяє зміцненню кристалу. Проте вплив цієї технологічної операції на фізико-механічні властивості монокристалів алмазу фактично є малодослідженим, особливо для кристалів нового покоління.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При виборі інструменту для буріння різноманітних гірських порід із різним значенням характеристик тріщиностійкості слід зауважити, що чим більш крихкою та твердою є порода, тим вищої якості повинні бути алмази, що використовуються. Питанню вибору конструктивних характеристик залежно від властивостей гірських порід присвячено велику кількість наукових праць [1-6].

Забезпечення високого рівня ефективності алмазного буріння може дати лише впровадження новітніх алмазозберігаючих технологій. Однак такі технології можуть бути реалізовані лише за рахунок використання відповідного типу та розміру монокристалів алмазів, що мають достатній рівень фізико-механічних властивостей, а саме міцності та твердості.

Багаторазове збільшення працездатності коронок при використанні алмазів підвищеної міцності відмічалось не лише при бурінні твердих порід XI...XII категорії, але й більш м'яких порід X категорії, це дозволяє збільшити глибину одного проходу і досягти швидкості виробітки до 100 мкм/об [2].

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Таким чином, є необхідність дослідити вплив хіміко-термічної обробки на міцність, як основний показник працездатності таких кристалів у буровому інструменті.

Метою статті є дослідження статичної міцності та отримання залежності цього показника від розмірів кристалу після хіміко-термічної обробки.

Виклад основного матеріалу. Монокристали синтетичного алмазу типу Ib були отримані в апараті високого тиску типу «тороїд» шляхом спонтанної розчин-розплавної кристалізації. Дослідну партію монокристалів було отримано в декілька завантажень. Після витравлення з матриці (рис. 1) їх було поділено на групи відповідно до розмірів, форми та наявності металевих включень. Первинний візуальний огляд [7; 8] монокристалів алмазу типу Ib, що мають малі розміри, був зроблений із використанням біологічного мікроскопу фірми Skydust модель XSP-1406 із максимальним збільшенням 1200 оснащений цифровою приставкою 5МП.

Виготовлена партія кристалів становила 166 штук. Візуальний огляд показав, що кристали мають форму дуже близьку до октаедра. На поверхні було виявлено наступні дефекти: притуплення вершин гранями куба, притупленні або здвоєні граней, сходинок росту та нерівності поверхні, що мають хвилястий характер (рис. 1). Якщо перша група дефектів пов'язана з режимами синтезу, то останній ймовірно пов'язаний із процесом відокремлення кристалу від матриці розплавом.

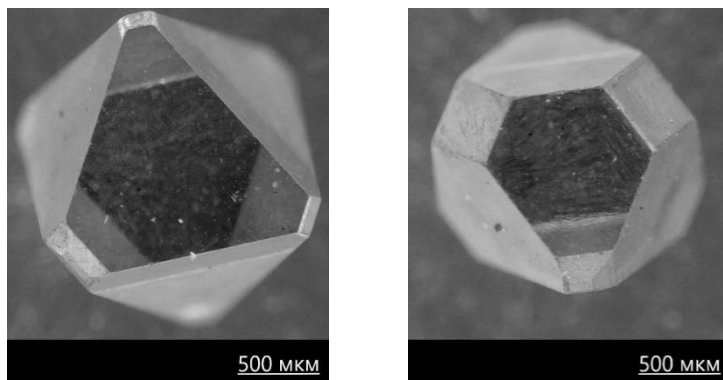


Рис. 1. Зображення кристалів типу Ib октаедричного габітусу з дослідної партії
Джерло: розроблено авторами.

Для аналізу геометричних розмірів монокристалів в ІНМ ім. В. М. Бакуля розроблено відповідне СТП, згідно з яким лінійні розміри кристалів, плоско паралельність граней, вимірюються за допомогою цифрових мікрометрів або цифрових штангенциркулів із ціною поділки не менше 0,01 мм. У цій роботі вимірювання проводились за допомогою цифрового штангенциркуля фірми UKS моделі DCzag81520773 з точністю вимірювання, що відповідає вимогам стандарту та похибкою $\pm 0,01$ мм [7].

Для уникнення впливу фактору тремору рук було прийнято рішення використовувати додаткову апаратуру для фіксації алмазу в процесі вимірювання. Якщо для вимірювання за допомогою мікрометра використовується спеціальний столик або скоба, то в нашому випадку використовувався затискач із плоскими губками власного виробництва. Вимірювання проводились безпосередньо на тих гранях, що виступали над губками затискача, тому не було необхідності у високій точності виготовлення його частин. Як прошарок між металевими губками та кристалом розташовувався технічний бархат [9], вирізаний відповідної прямокутної форми.

На жаль, нині стандартної методики визначення границі міцності при стиску для алмазів не існує. Проте є ДСТУ 3292-95 [10] для визначення показника статичної міцності для алмазних порошків. Статична міцність визначається як максимальне навантаження, при якому відбувається руйнування алмазного зерна, що розташовано між двома паралельними пластинами з твердого сплаву ВК6.

Згідно з ДСТУ 3292-95 [10] з виготовленої партії в 166 штук монокристалів довільним шляхом було відібрано 10 штук, що є в межах 5...10 % від партії. Як уже зазначалось раніше, довжина ребра для кристалу є величиною не сталою. У того самого кристалу ця величина може змінюватись в межах 0,91...1,29 мм, тому було прийнято рішення за базову величину довжини ребра брати середнє значення за восьма вимірами. Значення розміру ребра октаедра розраховувалось за формулою:

$$a = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 + a_6 + a_7 + a_8}{8},$$

де $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8$ – значення вимірів ребра октаедра. Дані за вимірами занесені до таблиці.

Хіміко-термічна обробка здійснювалась у муфельній печі в лужному середовищі при температурі 600 °С. У результаті обробки на поверхні кристалів почали формуватися нерівності у формі виступаючих граней октаедра та куба (рис. 2). Візуальний аналіз зміни стану поверхні здійснювався за допомогою біологічного мікроскопа, оснащеного цифровою камерою.

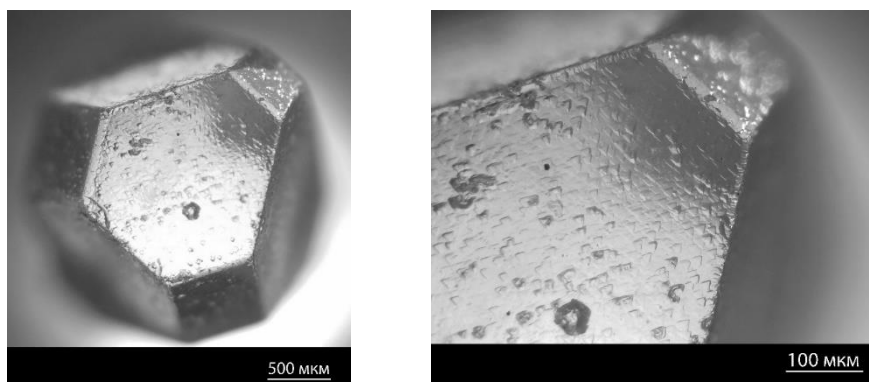


Рис. 2. Штучні алмази після хіміко-термічної обробки

Джерло: розроблено авторами.

Характер руйнування зразків крихкий. Повне руйнування монокристалу на дрібні уламки відбувається майже миттєво. Слід зазначити, що для кристалів, які витримують навантаження 4000...10000 Н, зменшується розмір уламків (рис. 3).

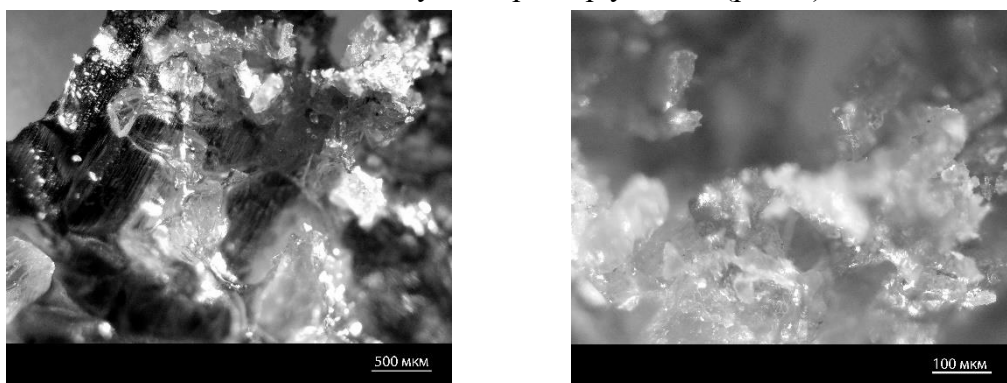


Рис. 3. Штучні алмази зруйновані в результаті експерименту з визначення статичної міцності 5800 Н

Джерло: розроблено авторами.

Згідно з ДСТУ [10] статична міцність – це зусилля, при якому відбувається руйнування кристала. Значення вимірювання навантаження руйнування для дослідних монокристалів типу Ib октаедричного габітусу, підданих термічній обробці, наведені в таблиці.

Таблиця

Результати випробувань із визначення статичної міцності монокристали типу Ib

№	Бічна грань a, мм	Зусилля, Н	Характер руйнування
1	0,86	4850	Крихкий, повністю зруйновано
2	0,94	3000	Крихкий, повністю зруйновано
3	1,177	4850	Крихкий, повністю зруйновано
4	1,192	4350	Крихкий, повністю зруйновано
5	1,202	3700	Крихкий, повністю зруйновано
6	1,23	6500	Крихкий, повністю зруйновано
7	1,25	5800	Крихкий, повністю зруйновано
8	1,33	5650	Крихкий, повністю зруйновано
9	1,502	3000	Крихкий, повністю зруйновано
10	1,553	3250	Крихкий, повністю зруйновано

На основі даних таблиці ми побудували графік розподілення величини критичного навантаження стискання або статичної міцності від розміру монокристала (рис. 4).

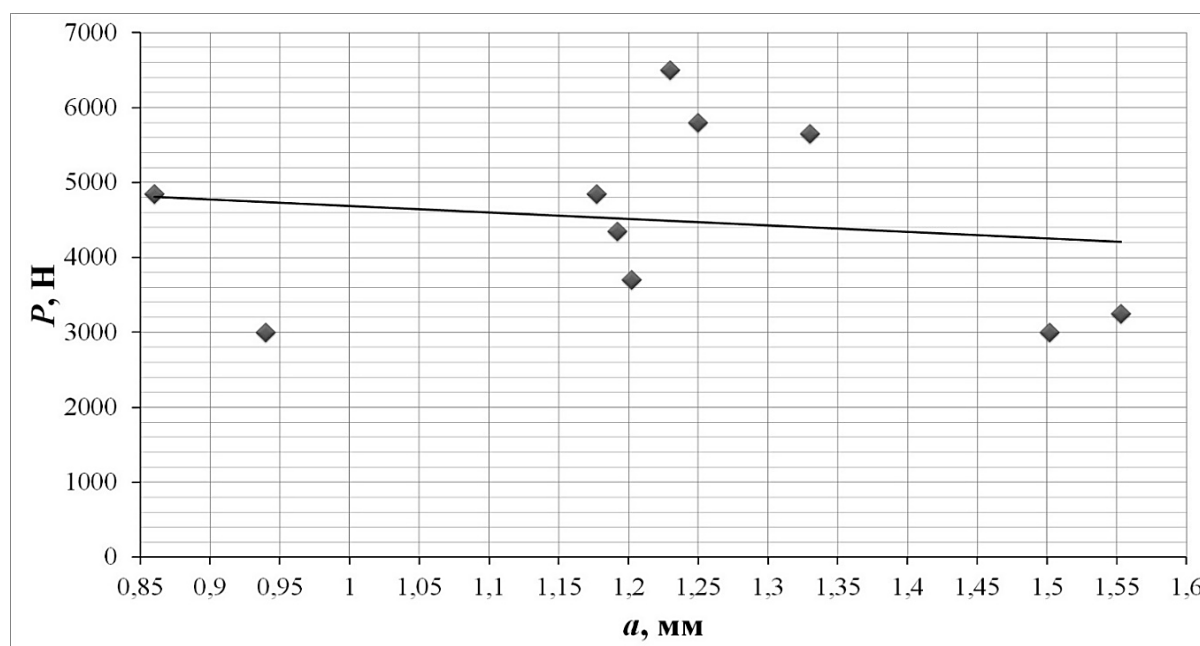


Рис. 4. Залежність статичної міцності від довжини бічної грані монокристалів алмазу типу Ib

Джерло: розроблено авторами.

Згідно з рис. 4 статична міцність має зворотну лінійну залежність від довжини бічної грані. Найбільшу статичну міцність мають кристали, довжина бічної грані для яких не перевищує 1,25 мм. Значення статичної міцності для відібраних кристалів суттєво змінюється від кристалу до кристалу, однак того слід зазначити, що і для кристалів, довжина бічної грані яких менша за 1,25 мм є кристали з нижчим значенням статичної міцності. Метод оптичного спостереження та аналізу стану поверхні не дає відповідь на питання, з чим пов'язано такі зміни. Таким чином, для кристалів типу Ib того самого габітусу потрібен додатковий спосіб контролю якості, що дасть змогу оцінити міцність кристалів неруйнівним методом і розподілити такі кристали по групах.

Висновки. Висока статична міцність синтетичних алмазів типу Ib октаедричного габітусу розміром 1100/1600 після хіміко-термічної обробки робить ці кристали придатними для виготовлення бурового та правлячого інструменту. Як і для вихідних кристалів, так і для кристалів після хіміко-термічної обробки статична міцність починає зменшуватись зі збільшенням розміру кристала. Експериментально підтверджено, що кристали 1000...1200 мкм мають більше значення критичного навантаження, ніж кристали, лінійний розмір яких 1300 мкм і більше. Серед недоліків таких кристалів, отриманих методом НР-НТ спонтанного синтезу, можна назвати суттєвий розкид значень статичної міцності навіть для кристалів, які мають однакові розміри. Для кристалів типу Ib відсутність неруйнівних методів контролю якості. Якщо характеристики міцності кристалу типу Ib, алмазні порошки, що набули широкого застосування у виробництві бурового та правлячого інструменту, гарно корелюються з результатами вимірювання магнітного сприйняття, то для кристалів Ib таку залежність отримати не можна, оскільки вони є немагнітними. Питання неруйнівного контролю для таких алмазів є і досі актуальним.

Список використаних джерел

1. Change of dislocations density in single crystals of various types diamonds depending on the growth temperature and rate / O. M. Suprun, G. D. Pnitskaya, V. A. Kalenchuk, O. A. Zanevskii, S. N. Shevchuk, V. V. Lysakovskii // Functional materials. – 2016. – V. 23, № 4. – Pp. 552-556.

2. Влияние свойств микропорошков алмаза на прочность и долговечность изготовленных на их основе поликристаллических сверхтвердых материалов / М. Г. Лошак, А. А. Шульженко, Л. И. Александрова и др. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления : сб. науч. трудов. – К. : Изд-во ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2008. – Вып. 11. – С. 218-221.
3. Физические свойства алмаза : справочник / Н. В. Новиков, Ю. А. Кочержинский, Л. А. Шульман и др. ; под ред. Н. В. Новикова. – К. : Наукова думка, 1987. – 189 с.
4. Механические характеристики алмазных композиционных материалов, полученные с использованием алмазов различных размеров / А. А. Шульженко, М. Г. Лошак, Л. Н. Девин и др. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления : сб. науч. трудов. – К. : Изд-во ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2006. – Вып. 9. – С. 139-145.
5. Дронова Н. Д. Характеристика и оценка алмазного сырья / Н. Д. Дронова, И. Е. Кузьмина. – М. : МГГУ, 2004. – 400 с.
6. Епифанов В. И. Технология обработки алмазов в бриллианты : учеб. пособие / В. И. Епифанов, А. Я. Песина, Л. В. Зыков. – М. : Высшая школа, 1987. – 337 с.
7. Кадомський С. В. Взаємозамінність, стандартизація та технічні вимірювання деталей машин / С. В. Кадомський. – Київ : НУХТ, 2016. – 169 с.
8. ISO 15253:2000 Ophthalmic optics and instruments – Optical devices for enhancing low vision [Electronic resource]. – Accessed mode: <https://www.iso.org/standard/26286.html>.
9. ISO 4506:2018 Hardmetals – Compression test [Electronic resource]. – Accessed mode: <https://www.iso.org/standard/69221.html>.
10. ДСТУ 3292-95. Порошки алмазні синтетичні. Загальні технічні умови [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=54145.

References

1. Suprun, O.M., Ilnitskaya, G.D., Kalenchuk, V.A., Zanevskii, O.A., Shevchuk, S.N., & Lysakovskii, V.V. (2016). Change of dislocations density in single crystals of various types diamonds depending on the growth temperature and rate. *Functional materials*, 23(4), 552–556.
2. Loshak, M.G., Shulzenko, A.A., Aleksandrova, L.I., Gargin, V.G., Zaika, N.I., Lisakovskiy, V.S., & Gomelyako, V.M. (2008). Vliianie svoistv mikroporoshkov almaza na proshnost i dolgovechnost izgotovlenih na ih osnove polikristalicheskikh sverhtverdh materialov [Influence of the properties of diamond micropowders on the strength and durability of polycrystalline superhard materials made on their basis]. *Porodorazrushashii i metalloobrabatyvaushii instrument – tekhnika i tehnologiia ego izgotovleniia – Rock destructive tool from superhard materials and technology of its application*, 11, 218–221.
3. Novikov, N.V. (Ed.), Kocherginskiy, U.A., & Shulman L.A. (1987). *Fizicheskie svoistva almaza: spravoshnik [Physical properties of diamond: a reference guide]*. Naukova dymka.
4. Shulzenko, A.A., Loshak, M.G., & Devin, L.N. (2006). Mehanicheskie harakteristiki almaznih kompozitsionnih materialov, poluchenih s ispolzovaniem almazov razlichnih razmerov [Mechanical characteristics of diamond composites obtained using diamonds of various sizes]. *Porodorazrushashii i metalloobrabatvaushii instrument – tekhnika i tehnologiya yego izgotovleniya – Rock destructive tool from superhard materials and technology of its application*, 9, 139–145.
5. Dronova, N.D., & Kuzmina, I.E. (2004). *Harakteristika I otsenka almaznogo sirya [Characterization and evaluation of rough diamonds]*. MGGU.
6. Epifanov, V.I., Pesina, A.Ia., & Zykov, L.V. (1987). *Tehnologiya obrabotki almazov v brillianti: uhebnoe posobie [Technology of processing diamonds into polished diamonds: educational methodological guide]*. High school.
7. Kadomskiy, S.V. (2016). *Vzayemozaminnist, standartizatsiya ta tekhnichni vimiruvannya detaliy mashin [Interchangeability, standardization and technical measurements of machine parts]*. NUHT.
8. ISO 15253:2000 Ophthalmic optics and instruments – Optical devices for enhancing low vision. <https://www.iso.org/standard/26286.html>.
9. ISO 4506:2018 Hardmetals – Compression test. <https://www.iso.org/standard/69221.html>.
10. DSTU 3292-95. *Poroshky almazni syntetychni. Zagalni tekhnichni umovy [Synthetic diamond powders. General technical conditions]*. http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=54145.

Отримано 05.12.2021

**Maksym Tsysar¹, Anatolii Zakora², Anton Babak³, Serhiy Ivakhnenko⁴,
Oleg Zanevskii⁵, Halyna Ilnitska⁶, Ievgeniia Zakora⁷**

¹PhD, Senior Scientist

E-mail: ts_maxim@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4494-9109>

SCOPUS Author ID: 54406108100

²PhD, Senior Scientist

V. M. Bakul Institute for Superhard Materials (Kyiv, Ukraine)

E-mail: apz146@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9380-3042>

³PhD, Lecturer

National Technical University of Ukraine

“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” Department of Dynamics and Strength of Machines (Kyiv, Ukraine)

E-mail: sopromat_dpm@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5088-5578>

⁴PhD, Chief Executive Scientist

V. M. Bakul Institute for Superhard Materials (Kyiv, Ukraine)

E-mail: sioz@ismv13.kiev.ua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4796-3416>

⁵PhD, Senior Scientist

V. M. Bakul Institute for Superhard Materials (Kyiv, Ukraine)

E-mail: sioz@ismv13.kiev.ua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6751-866X>

⁶PhD, Senior Scientist

V. M. Bakul Institute for Superhard Materials (Kyiv, Ukraine)

E-mail: gil-ism@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5124-1646>

⁷Senior Engineer

V. M. Bakul Institute for Superhard Materials (Kyiv, Ukraine)

E-mail: jaz6591@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0724-8941>

DEPENDENCE FOR SYNTHETIC DIAMOND LARGE CRYSTALS TYPE Ib OF OCTAHEDRAL HABITUS ON THEIR SIZE AFTER CHEMICAL-THERMAL PROCESSING OF STATIC STRENGTH

The use of large single crystals of diamond, grown by HP-HT with the latest technologies in drilling tools, can improve the productivity of the drilling process, increase the penetration rate, reduce wear of the main matrix, and provide a safe working environment when drilling solid rocks.

For an informed choice or design of the working part of the drilling equipment, an analysis of the functional purpose is important. The main role here is played by the factor of complexity of geodetic conditions: the angle of drilling, fracture toughness and class of rocks, their changes with the depth of drilling.

Analysis of studies and publications on functional analysis showed that diamonds should not only have high hardness and static strength, they should have a high value of thermal strength and chemical resistance, which will allow them to be used with sufficient efficiency when developing wells in difficult geological conditions. However, the main indicator of the suitability of such single crystals is still strength. It has been experimentally proven that the main type of diamond wear during drilling is partial or complete chipping of the protruding part of the crystals. Thus, the bits are equipped with harder diamonds, they will allow to process harder rocks without chips, reduce wear of the matrix itself, provide higher drilling speeds along with a decrease in energy consumption and consumption of consumables, for example, drilling mud.

The purpose of the article is to analyze the effect of chemical-thermal exposure, as an integral part of the technological process of manufacturing drill bits, on the tensile strength of synthetic diamonds of octahedral habit type Ib obtained by HP-HT technology.

Based on the data obtained experimentally, the work shows the suitability of synthetic diamonds as part of a functional cutting tool for drilling and geological exploration. The optimal size of crystals was determined, at which a sufficient level of strength is provided. The falling dependence of the strength on the edge length of the investigated diamond single crystals is graphically demonstrated.

For the first time, the paper presents a study of the effect of chemical-thermal treatment as part of the technological process of manufacturing a drilling tool on the strength of non-magnetic single crystals of synthetic diamond type Ib. The presented materials can be used for a reasonable choice or design of drill bits impregnated with large single crystals for drilling and geological exploration.

Keywords: single crystal; type Ib synthetic diamond; octahedral habitus; static strength; diamond tool.

Fig.: 4. Table: 1. References: 10.

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-4(26)-50-57

UDC 62-233.2

Sedir GuliyevAssistant of Department of Machine Engineering and Logistics
Azerbaijan Technological University (Ganja, Azerbaijan)E-mail: nizism@mail.ru**ASSESSMENT OF ROLLING BEARINGS OPERATING CONDITIONS**

The article examines the possibilities of ensuring the reliability of the rolling bearings of the equipment used in the process of painting aluminum sheets. It was noted that the fully mechanized production line at the enterprise ensures the production of high quality aluminum sheets. However, the productivity of the technological equipment used in the dyeing process and the rejection of the bearings have a negative impact on the efficiency of production.

Technological machines and equipment work in Azealuminum OJSC in particularly difficult conditions, and therefore there is a need to increase the reliability and longevity of the used roller bearings. The operating conditions of the bearings, the distribution of loads between the rolling elements, as well as the contact stresses in the bearings details were assessed.

Keywords: rolling pads; operating conditions; load distribution; contact voltages; painting process.

Fig.: 2. References: 12.

Urgency of the research. One of the main features of the economic landscape of Azerbaijan in recent years is to ensure the rapid development of the regions. The current regional development strategy is a clear example of this. Azealuminum is one of the leading enterprises in the non-oil sector in the country. The company is a leader in the production of aluminum oxide, primary aluminum and other semi-finished metal products.

The company's main enterprise - Azealuminum OJSC is located in Ganja. The complex includes an Electrolysis Plant, Anode Processes Plant, Metal Casting and Continuous Rolling Plant, Pressure Processing and Dyeing Plant, other workshops, ancillary production areas and infrastructure facilities. The Azealuminum OJSC was founded in March 2008. The company uses modern technologies in the production of long aluminum sheets. Unlike traditional technological processes, a number of operations that limit the efficiency of the production of long sheets of aluminum alloys have been eliminated.

Target setting. At present, a highly efficient production process has been achieved at the OJSC using advanced technological operations. The company implements continuous casting technology of aluminum ingots. It combines several important technological operations. The basis of production is a ball casting process, in which the processes of crystallization and deformation of the liquid metal are carried out simultaneously.

As a result, a number of technological advantages are achieved: low energy capacity and high environmental friendliness of production; low capital and operating costs; application of the temperature of the liquid metal supplied to the rolling shafts to the deformation of the paste; direct purchase of the product by continuous casting of liquid metal. One of the important joints used in the roller casting process is the pads, which are attached to the rolling shafts.

Actual scientific researches and issues analysis. The longevity and reliability of roller shafts largely depend on the service life of the bearings [1; 2]. Observations showed that the reliability of the technological equipment used in the Pressure Processing and Dyeing Plant of Azealuminum OJSC is not high and is mainly due to the bearings joints of the equipment. Pillow joints act as the most responsible knot of technological equipment in the dyeing process. Failure of these nodes leads to disruptions in process equipment and production processes [3; 4].

Uninvestigated parts of general matters defining. Therefore, the Azerbaijan University of Technology (UTECA) has studied the possibilities of increasing the reliability and longevity of the bearings joints of equipment used in the process of painting aluminum sheets at Azealuminum-OJSC. As part of the research, complex research was conducted in the paint shop of the plant.

The research objective. This article examines the following issues: assessing the operating conditions of the bearings and the distribution of loads between the rolling elements; calculation of contact stresses in pillow details; reasons for failure of bearings; technological process of painting aluminum sheets; technical characteristics of bearings in painting equipment.

The statement of basic materials. It is known that the rejection of pillow joints leads to equipment downtime, reduced productivity and increased cost of production. The reliability of pillow joints depends on the service life of its individual elements. Therefore, increasing the longevity of bearings is a topical scientific and technical issue [3; 4].

Our observations in the painting shop of Azeraluminum OJSC showed that the longevity of bearings is related to the degree of wear of their individual elements [5; 6]. During the operation of the bearings, wear occurs due to the friction force on its elements. As a result, the pillow elements change their size, their accuracy decreases and abnormal gaps appear. There are shocks on the pillow elements and they break down in a short time. Therefore, it is important to take effective preventive measures against the wear of pillow elements in the painting shop.

It has been determined that the main types of wear on the elements of roller bearings are as follows [7; 8]: mechanical wear occurs as a result of mechanical impact; mechanical-corrosion erosion occurs as a result of both mechanical and chemical effects; Abrasive corrosion occurs as a result of solid particles falling between friction surfaces and scratching surfaces; erosion is caused by the action of liquid or gas jets; Fatigue is the result of the abrasion of friction surfaces that have been working under load for a long time [9; 10].

It was determined that the wear of rolling pads in the painting shop takes place in two stages: in the first stage, the roughness on the surface of the newly prepared parts is eaten and falls to normal size; in the second stage, wear occurs during subsequent operation of the parts [11; 12].

Aluminum sheets entering from the pressure treatment plant are placed on the slope of the loading cart with a bridge crane. The loading cart is lifted up and brought to the center line of the sheet unloading device. To make a closer contact with the sheet, the shaft is opened, then the loading machine is lowered and stops in the holding position, waiting for the next sheet.

The device is equipped with a clamp that holds the outer diameter tightly to prevent sudden separation of the sheet when cutting the winding tape of the sheet, and makes it easier to send the last sheet to the tension shafts. The traction block is used to send the end of the sheet to the scissors and the sewing machine. The incoming sheet is brought to the reference position on the machine, and when the next sheet is completely emptied, it reaches the seam position of the two strips.

There is a centering block at the end of the entrance storage block. The operating panel with the first control buttons automatically controls the operation of the equipment at the entrance. The sheet entering from the inlet storage cart enters the primary cleaning unit (9) through the traction shafts and the accumulator junction. The block is equipped with a water tank and rotating brushes, where both sides of the sheet are washed with hot alkaline solution.

The second cleaning tank with rotating brushes is used to remove any oil residue stuck to the surface of the sheet. Heated solid alkaline solution and brushes clean both sides of the sheet. Subsequent spray tanks are designed for complete washing. The sheets with oily substances on the surface are washed again with hot water, and the last tank removes various residues from the surface.

The cleaned sheets pass through a drying oven and enter between the chemical shafts, where a galvanic coating of chromium is applied on both sides of the sheets. After passing through the chemical shafts, the sheets again enter the drying oven. The sheets leaving the drying oven are passed through a centering mechanism and sent to the painting machine for painting.

The coloring machine can paint both sides of the sheet, and the painting can be done in the forward and reverse directions. The sheets leaving the dyeing machine pass through the vulcanization furnace. Here the solvents are evaporated, the sheets are heated to a certain temperature and vulcanized. After leaving the oven, the sheets are cooled with a water jet. The cooling system also provides centralized wrapping of the sheets. The cooled sheets are first dried with hot air, then passed through the tension rollers to the primer (19), and then to the primer on the back of the sheet. The painted sheet passes through the drying oven, water and air to the hot air drying position.

The dried sheet is fed to the outlet accumulator by means of traction shafts, and from there by means of traction shafts to the guide table, cutting shears, transmission shafts and finally to the roll winding device. Photoelectric regulators are located between the winding and traction cylinders, where the sensors read the relevant information and send a signal to the control system when an error is detected. Thus, the measurement accuracy of the sheets is fully automated. When the required roll diameter is obtained, the winding machine stops and the cutting machine cuts the sheets to the required length.

Thus, the fully mechanized technological line at Azeraluminum OJSC provides the production of high quality sheets with a thickness of 0.2...1.0 mm and a width of 700...1300 mm. The reliability and longevity of the pads have a direct impact on the productivity and continuous operation of the technological equipment used in the dyeing process. Research conducted at the dyeing plant has led to the following conclusions [7]:

1. One of the most responsible parts of the technological equipment used in the painting process is the pillow joints, the productivity of which is directly determined by the reliability of the bearings. Failure of bearings joints leads to downtime of technological equipment and processes, which reduces production efficiency.

2. The maintenance measures provided to the pillow joints during operation are not sufficient to extend the service life of the bearings. The low quality of the lubricants used also has a negative effect on the longevity of the bearings.

3. Violations in the assembly and installation of roller bearings have a negative impact on longevity. The low quality and improper selection of sealing elements also have a significant negative impact on the reliability of the pads.

4. Technological machines and equipment work in Azeraluminum OJSC in particularly difficult conditions and therefore there is a need to increase the reliability and longevity of the used roller bearings.

The roll opener operates radial spherical bearings 3616 with two rows of rollers. These bearings have a greater carrying capacity than bearings of the appropriate size. These bearings are produced at the pillow factories in Samara (Russia) and Minsk (Belarus).

11311 double-row ball bearing radial pads are used in roll tension shafts. These bearings are produced at the Kharkiv (Ukraine) pillow factory. The roller winding device uses radial spherical pads with two rows of rollers No. 3520. The rollers are placed on the inner rings with two runways and the outer rings with one spherical runway.

The technical characteristics of the rolling pads **3616**, **11311** and **3520** listed above are as follows: Internal diameter of pillow **No. 3616** (d) - 80 mm; outer diameter (D) - 170 mm; width - 58 mm; number of rollers - 28 pieces; dimensions of the roller - 24.5x22.11 mm; weight - 6.6 kg; dynamic lifting capacity - 392 kN; static lifting capacity - 480 kN; rated speed - 2600 rpm.

Internal diameter of pillow number **№ 11311** (d) - 55 mm; outer diameter (D) - 130 mm; width (B / L) - 31/47 mm; weight - 2.37 kg; diameter of the ball - 15,875 mm; number of balls - 32 pieces; dynamic lifting capacity - 57.2 kN; rated speed - 5300 rpm. **№** Internal diameter of pillow number 3520 (d) - 100 mm; outer diameter (D) - 1480 mm; width - 46 mm; weight - 5.15 kg; number of rollers - 38; dimensions of the roller - 20x16.7 mm; dynamic lifting capacity - 330kN; rated speed - 2400 rpm.

It was found that the radial force acting on the rolling pads is unevenly distributed between the rolling elements of the pad (Fig. 1). All loads are accepted by rolling elements located in arcs smaller than 180°. The rotating element in the direction of the radial force is more loaded. Depending on the plane of action of the radial force, the rotating elements symmetrically placed are evenly loaded.

The distribution of force between the elements of rotation is a statically unsolvable problem. The radial force acting on the pad is F_r , the force acting on the heavily loaded rolling element is F_0 , the force acting on the rolling element at an angle γ with respect to the plane of impact of the load is F_2 , and so on; We denote F_n by the force acting on the rolling elements at an angle $n\gamma$.

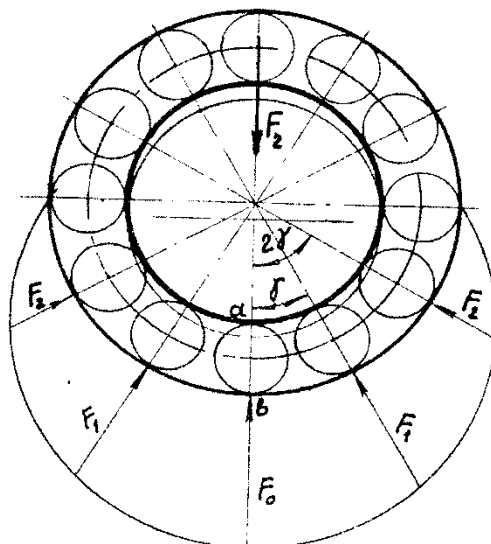


Fig. 1. Distribution of forces acting on the rolling pad

The equilibrium condition of an inner ring loaded with a radial force can be written as follows:

$$F_r = F_0 + 2F_1 \cos \gamma + 2F_2 \cos 2\gamma + \dots + 2F_n \cos n\gamma, \tag{1}$$

where $\gamma = 3600 / z$ is assumed; z is the number of balls; n is half the number of rolling elements in the loaded zone. In addition to the equilibrium equation, we use the displacement equation to solve the problem. Assuming that there are no radial gaps in the pads, it can be assumed that the rolling element and the deformation of the rings are equal to the corresponding projections of the complete displacement of the ring δ_0 :

$$\delta_1 = \delta_0 \cos \gamma; \quad \delta_2 = \delta_0 \cos 2\gamma; \dots; \quad \delta_i = \delta_0 \cos n\gamma; \tag{2}$$

where i is the number of the scroll element. According to the theory of elasticity, there is the following relationship between the displacement of two compressed elastic bodies, ie the balls of the pads and the rings, and the compressive force [5]:

$$\delta = C \cdot F^{2/3} \tag{3}$$

where C is the coefficient of proportionality; F is the compressive force.

If we express the deformations in the displacement equations by force, then

$$F_1 = F_0 \cos^{3/2} \gamma, \quad F_2 = F_0 \cos^{3/2} 2\gamma, \quad \dots \quad F_i = F_0 \cos^{3/2} i\gamma. \tag{4}$$

If we consider these dependencies in the equilibrium equation, then

$$F_r = F_0 (1 + 2 \sum_{i=1}^n \cos^{5/2} i\gamma) \tag{5}$$

By multiplying and dividing the right side of the formula by z , we determine the force F_0 :

$$F_0 = KF_r / z \tag{6}$$

Replaced with $K = \frac{z}{1 + 2 \sum_{i=1}^n \cos^{5/2} iy}$ i here. The number of balls is $K = 4.37 \pm 0.01$ for

bearings with $z = 10 \dots 20$. If we take into account the gap in the pads used in real conditions, we can assume $K = 5$ for single-ball radial pads. Then you can write:

$$F_0 = 5F_r/z. \quad (7)$$

Given the uneven distribution of the load between the rows in two-row spherical pads, the force acting on the heaviest load can be determined as follows:

$$F_0 = 6F_r/(z \cos \alpha). \quad (8)$$

For roller bearings, this problem can be solved in the same way as for ball bearings. However, the line of dependence between the displacement δ and the compressive force F is assumed, ie $\delta = C1 \cdot F$ ($C1$ is the coefficient of proportionality). Similar to ball bearings, the maximum force for roller bearings is expressed as follows:

$$F_0 = KF_r/z. \quad (9)$$

For roller pads between $z = 10 \dots 20$, we assume $K = 4$, $K = 4,6$, taking into account the spacing. For spherical pads with two rows, we assume $K = 5.2$, taking into account the unequal distribution of force between the rows.

Thus, calculations have shown that the balls of radial-bearing pads loaded with radial force are loaded $1 / \cos \alpha$ (α is the angle of inclination of the contact line) 1 times more than those of radial bearing pads. This argument leads to the wider application of roller bearings in technological machines and equipment [5].

After determining the distribution of the radial force acting on the bearings between its elements, it is necessary to determine the contact voltages on the pads. It has been found that the contact voltages at any point on the surfaces of the rings and balls vary with the pulse period. The period of tension at any point on the escape routes of the rings is equal to the time it takes for the next ball to reach a given point.

Such variability of contact stresses leads to fatigue wear of the working surfaces in the pillow details. It has been found that fatigue resistance depends on the rotation of the inner or outer ring of the bearings. The rotation of the inner ring is considered more favorable, because at a value equal to the force F_0 of the load, the voltage at point a of the ring is greater than the voltage at point b. Thus, the ball meets a convex surface at point a and a concave surface at point b. In this case, the equality of the number of cycles of stress leads to the collapse of fatigue, especially at point a. To equalize the operating conditions of the rings, the number of voltage cycles at point a must be reduced compared to point b. This can be achieved by rotating the inner ring. Thus, in the middle of the turn, point a is completely empty, and most of the other half of the inner ring is not fully loaded.

It has been found that tensions in ball bearings occur at the starting point of contact between the ball and the rings. After the load is applied, the contact takes the form of an ellipse, in a small area. The maximum stress on the contact surface of the inner ring with the ball in the contact zone can be determined according to the Hers formula as follows [9]:

$$\sigma_H = m^3 \sqrt{FE^2 \left(\frac{2}{D_w} - \frac{1}{\rho_i} \right)^2}, \quad (10)$$

where F is the load acting on the sphere, N; E - modulus of elasticity of the material, MPa; m is a special coefficient, which is selected depending on the ratio of inverted head curves [8]. To determine the maximum stress on the contact surface of the outer ring with the ball, write ρ_a instead of ρ_i and r_a instead of r_i in the formula. For radial-bearing pads, the radii of curvature r_i and r_a are defined as the ratio of the radius of curvature to $\cos \alpha$ (Fig. 2).

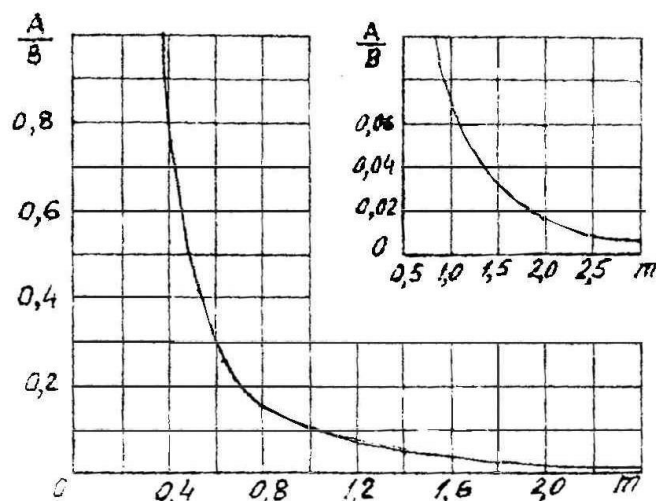


Fig. 2. Correlation between A / B ratio and m coefficient

It has been found that in roller bearings, the initial contact between the roller and the rings occurs in a straight line [7]. The maximum contact voltage between the roller and the inner ring can be determined as follows:

$$\sigma_H = 0,418 \sqrt{\frac{FE}{L_{we}} \left(\frac{2}{D_w} + \frac{1}{r_i} \right)}, \quad (11)$$

where D_{we} and L_{we} are the diameter of the roller and the effective length of the contact line, mm.

When determining the contact voltage between the roller and the outer ring, instead of r_i in the formula, r_a should be written with a negative sign. For bearings materials, the maximum allowable contact voltage is assumed to be 5000 MPa at the point of contact and up to 3000 MPa at the line. Thus, on the basis of analytical calculations, generalization of experimental data and long-term observations of the technological equipment operated by Azeraluminum OJSC, the following characteristic damage was detected in the roller bearings.

Fatigue was observed in bearings that worked normally for a long time. Thus, the sign of the balls rolling in the rings occurs under the influence of changing forces. After a certain number of loading cycles, microcracks appear on the working surfaces. It is in these microcracks that abrasions occur as a result of the ingress of lubricant. Fatigue is the main cause of failure of roller bearings operating under heavy loads, which are well protected from contaminants [8].

It was determined that most of the technological equipment operated at Azeraluminum OJSC operates in abrasive conditions. Despite the use of various sealants and lubricants, the elements of the roller bearings are more prone to corrosion. The effect of centrifugal force and rolling elements on the separator, as well as on axially loaded airbags, is more pronounced.

It has been found that the diameters of the rolling elements are not the same and that they do not rotate at the same speed around their axis, so the separators are affected by different values of force. As a result, the rolling elements not only cause the separator to wear out, but also cause the slide to slip. These effects lead to the collapse of the separators. Disintegration of the separators was mostly observed in high-speed pads. External signs of pillow failure have been identified: poor rotation accuracy, high noise, a sharp increase in roll resistance, and heating of the pillow.

It has been found that the rolling elements of the pads and the splitting of the rings are due to the inaccurate assembly, which causes the rings to bend and rivet, operating under shock and vibration loading. Compression as a result of plastic deformation occurs mainly in slow-moving, heavily loaded pads, and crushing manifests itself in the form of depressions.

Conclusions. Thus, it was determined that the engineering calculations of roller bearings operated by Aeraluminum should be based on static load capacity due to permanent deformation and longevity due to fatigue abrasion. The possibilities of increasing the reliability and longevity of the bearings joints of the equipment used in the process of painting aluminum sheets have been investigated.

The operating conditions of the bearings, the distribution of loads between the rolling elements, as well as the contact stresses in the bearings details were assessed. The process of painting aluminum sheets and the technical characteristics of the pads used in painting equipment are analyzed. The main reasons for the failure of the bearings were clarified, the main types of wear on the pillow elements and their characteristics were identified.

References

1. Baliakyn, V.B., Zhylnikov, E.P. (2007). *Raschet i proektirovanie valov, osei i opor kachenii aviatsionnykh reduktorov* [Calculation and design of shafts, axles and rolling bearings of aviation reducers]. KET.
2. Beizelman, R.D., Tsyapkyn, B.V., & Perel, L.Ia. (1975). *Podshipniki kachenii: Spravochnyk* [Rolling bearings: a Handbook]. Mashynostroeniye.
3. Berezovskiy, Yu.N. (1983). *Detaly mashyn* [Machine parts]. Mashynostroeniye.
4. Braude, V.Y., & Semenov, L.N. (1986). *Nadezhnost podemno-transportnykh mashin* [Reliability of lifting and transport machines]. Mashynostroeniye.
5. Vynogradov, A.N. (2008). *Povyshenie kachestva podshipnikov na osnove formirovaniia ratsionalnykh fiziko-mekhanicheskikh svoystv kontaktnykh poverkhnostei* [Improving the quality of bearings based on the formation of rational physical and mechanical properties of contact surfaces]. [PhD dissertation, MADY].
6. Hadzhyev, A.A. (2006). *Tekhnologicheskoe obespechenie dolgovечnosti podshipnikovyykh uzlov mashin s primeneniem polimernyykh materialov* [Technological support of the durability of bearing units of machines using polymeric materials]. [PhD dissertation].
7. Godzhaev, T.B., & Kuliev, S.S. (2018). *Issledovanie sily treniia, voznikaiushchie v podshipnikakh* [Study of the friction force arising in bearings]. *Hiandzha: nauchnye trudy AHAU – Ganja: Scientific works of ASAU*, (1), 79-83.
8. GOST 188855-94. *Podshipniki kachenii. Dinamicheskaiia raschetnaia gruzopodemnost i raschetnyi resurs* [Rolling bearings. Dynamic design load-carrying capacity and design resource]. Hosstandart.
9. Riakhovskii, O.A. (2014). *Detali mashin* [Machine parts] (4rd ed.). MHTU im. Baumana.
10. Dunaev, P.F. (2004). *Konstruirovaniye uzlov i detalei mashin* [Designing units and parts of machines]. Akademiia.
11. Ermolaev, V.V. (2015). *Razrabotka tekhnologicheskikh protsessov i izgotovleniia detalei mashin* [Development of technological processes and manufacturing of machine parts]. Akademiia.
12. Zharskiy, I.M., & Barshai, I.M. (2005). *Tekhnologicheskii metody obespecheniia nadezhnosti detalei mashin* [Technological methods of ensuring the reliability of machine parts]. Vyshcha shkola.

Список використаних джерел

1. Балякин, В. Б. Расчет и проектирование валов, осей и опор качения авиационных редукторов / В. Б. Балякин, Е. П. Жильников. – Самара : КЭТ, 2007. – 306 с.
2. Бейзельман, Р. Д. Подшипники качения : справочник / Р. Д. Бейзельман, Б. В. Цыпкин, Л. Я. Перель. – М. : Машиностроение, 1975. – 527 с.
3. Березовский, Ю. Н. Детали машин / Ю. Н. Березовский. – М. : Машиностроение, 1983. – 286 с.
4. Брауде, В. И. Надежность подъемно-транспортных машин / В. И. Брауде, Л. Н. Семенов. – Л. : Машиностроение, 1986. – 183 с.
5. Виноградов, А. Н. Повышение качества подшипников на основе формирования рациональных физико-механических свойств контактных поверхностей : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М. : МАДИ, 2008. – 22 с.
6. Гаджиев, А. А. Технологическое обеспечение долговечности подшипниковых узлов машин с применением полимерных материалов : дис. ... д-р техн. наук. – М., 2006. – 390 с.

7. Годжаев, Т. Б. Исследование силы трения, возникающие в подшипниках / Т. Б. Годжаев, С. С. Кулиев // Научные труды АГАУ. – 2018. – № 1. – С. 79-83.
8. ГОСТ 188855-94. Подшипники качения. Динамическая расчетная грузоподъемность и расчетный ресурс. – М. : Госстандарт, 1994. – 21 с.
9. Детали машин : учеб. пособие / под ред. проф. О. А. Ряховского. – 4-е изд. – М. : МГТУ им. Баумана, 2014. – 72 с.
10. Дунаев, П. Ф. Конструирование узлов и деталей машин : учеб. пособие / П. Ф. Дунаев. – М. : Академия, 2004. – 103 с.
11. Ермолаев, В. В. Разработка технологических процессов и изготовления деталей машин / В. В. Ермолаев. – М. : Академия, 2015. – 256 с.
12. Жарский, И. М. Технологические методы обеспечения надежности деталей машин / И. М. Жарский, И. М. Баршай. – Минск : Выща школа, 2005. – 229 с.

Отримано 15.11.2021

УДК 62-233.2

Седір Гулієв

асистент кафедри інженерії машин та логістики
Азербайджанський технологічний університет (Гянджа, Азербайджан)
E-mail: nizism@mail.ru

ОЦІНКА УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ РОЛИКОВИХ ПІДШИПНИКІВ

Розглянуто можливість забезпечення надійності роликів підшипників, що використовується в процесі фарбування алюмінієвих листів в умовах ВАТ «Азералюміній». Відзначено, що повністю механізована лінія на підприємстві забезпечує випуск високоякісних алюмінієвих листів. Однак продуктивність технологічного обладнання безпосередньо пов'язана надійністю підшипників, відмови яких негативно впливають на ефективність виробництва.

На основі аналізу умов експлуатації встановлено, що однією з найбільш відповідальних частин обладнання, що використовується у технологічному процесі, є роликові підшипники. Вихід із ладу підшипників призводить до простоїв технологічного обладнання. Заходи з технічного обслуговування, передбачені для підшипників під час експлуатації, є недостатніми для продовження їх терміну служби. Низька якість мастильних матеріалів також негативно впливають на тривалість роботи роликів підшипників.

Порушення при складанні та монтажі роликів-підшипників негативно позначаються на довговічності. Низька якість і неправильний підбір ущільнювальних елементів також істотно впливають на надійність. Технологічні машини та обладнання працюють в особливо складних умовах і виникає необхідність підвищення надійності та довговічності використовуваних роликів-підшипників. Оцінювалися умови експлуатації підшипників, технічні характеристики та розподіл навантаження між елементами, а також контактні напруження в деталях підшипників. Проаналізовано технологічний процес фарбування алюмінієвих листів та особливості обладнання в фарбувальному цеху.

Таким чином, визначено, що інженерні розрахунки довговічності роликів-підшипників повинні ґрунтуватися на статичній вантажопідйомності, оскільки їх відмови відбуваються за рахунок постійної деформації та через втомне стирання. Можливості підвищення надійності та довговічності роликів підшипників, що використовується в процесі фарбування алюмінієвих листів, пов'язані з покращенням їх умов експлуатації, рівномірним розподілом навантажень між елементами, а також зменшенням контактної напруги в деталях підшипників. Уточнено основні причини відмов та виявлено види зносу елементів роликів підшипників.

Ключові слова: роликові підшипники; надійність; умови експлуатації; розподіл навантаження; контактні напруги; процес фарбування; технологічне обладнання.

Рис.: 2. Бібл.: 12.