



International scientific conference

**MININGMETALTECH 2024 – THE MINING
AND METALS SECTOR: INTEGRATION
OF BUSINESS, TECHNOLOGY
AND EDUCATION**

November 28–29, 2024

Volume 1



IZDEVNIECĪBA
BALTIJA
PUBLISHING

2024

International scientific conference “MININGMETALTECH 2024 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education” : conference proceedings (November 28–29, 2024. Riga, the Republic of Latvia). Riga, Latvia : “Baltija Publishing”, 2024. Vol. 1. 368 pages.

Program Committee

Chairman of the program committee of the conference – **Yuriy RYZHENKOV**, General Director, METINVEST HOLDING LLC

Vice-chairman of the program committee of the conference – **Oleksandr POVAZHNY**, DSc (Economics), Professor, Rector, “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC” LLC

Secretary of the program committee of the conference – **Maksym KARAKAI**, PhD (Public Administration), Scientific Secretary, “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC” LLC

Oleksandr MYRONENKO – Operations Director, METINVEST HOLDING LLC

Tetyana PETRUK – Director of sustainable development and interaction with personnel, METINVEST HOLDING LLC

Olga OVCHYNNIKOVA – Director of economics and development of business systems, METINVEST HOLDING LLC

Yuliya DANKOVA – Financial director, METINVEST HOLDING LLC

Svitlana ROMANOVA – Director of legal support, METINVEST HOLDING LLC

Andriy YEMCHENKO – PhD (Engineering), Director of technical development, METINVEST HOLDING LLC

Dmytro TEVELEV – Adviser to the general director, METINVEST HOLDING LLC

Oleksandr PODKORYTOV – Director of technology and quality, METINVEST HOLDING LLC

Pavlo UZBEK – Director of the LP, IS, HC and EP department, METINVEST HOLDING LLC

Vitaly KOVALENKO – Director of the Department of Sustainable Development and Environmental Management, METINVEST HOLDING LLC

Marya VASILYEVA – General director, “Metinvest Sichstal” LLC

Gregory MASON – member of the Supervisory Board

Andrii KOSTRYZHEV – Project Manager – Material Characterization Scientist, The University of Queensland

Conference organizing committee

The head of the organizing committee of the conference – **Volodymyr KUKHAR**, DSc (Engineering), Professor, Vice-rector for research work, LIMITED LIABILITY COMPANY “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”

Deputy head of the conference organizing committee – **Nataliya REKOVA**, DSc (Economics), Professor, First vice-rector – vice-rector for educational work, LIMITED LIABILITY COMPANY “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”

Secretary of the organizing committee of the conference – **Khrystyna MALII**, PhD (Engineering), Head of the research department, LIMITED LIABILITY COMPANY “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”

Volodymyr PASHYNSKY – DSc (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Materials Science and Applied Mechanics, LIMITED LIABILITY COMPANY “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”

Vyacheslav KAMENETS – PhD (Engineering), Associate Professor at the Department of Mining, LIMITED LIABILITY COMPANY “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”

Pavlo SAHAIDA – DSc (Engineering), Associate Professor, Professor at the Department of Digital Technologies and Project-Analytical Solutions, LIMITED LIABILITY COMPANY “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”

Oleksiy KOYFMAN – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Automation, Electrical and Robotic Systems, LIMITED LIABILITY COMPANY “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”

Oleg KRUZHYLKO – DSc (Engineering), Professor, Professor at the Department of Labor Safety and Environmental Protection, LIMITED LIABILITY COMPANY “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”

Dmytro PIKARENYA – DSc (Geology), Professor, Professor at the Department of Labor Safety and Environmental Protection, LIMITED LIABILITY COMPANY “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”

Nataliia HRUDKINA – DSc (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Natural Sciences and General Engineering, LIMITED LIABILITY COMPANY “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”

Dmytro ZHERLITSYN – DSc (Economics), Professor, Professor at the Department of Digital Technologies and Project-Analytical Solutions, LIMITED LIABILITY COMPANY “TECHNICAL UNIVERSITY “METINVEST POLYTECHNIC”

Each author is responsible for content and formation of his/her materials.

The reference is mandatory in case of republishing or citation.

CONTENTS

PROSPECTS FOR METALLURGICAL PRODUCTION TECHNOLOGIES

Modern equipment for complex metallurgical processing of aluminum-containing scrap and waste Aleksyeyenko V.V., Sezonenko O.B.	15
Compaction behavior of alsini powders with different morphologies Bevz V.P., Zrodowski Lukasz, Tarasyuk A.L., Zavidoveev A.V.	19
Analysis of the content of impurities in copper bull obtained using different technologies Bevz O.O.	21
Improving the efficiency of burden distribution in a blast furnace Boiko M.M., Kopytko O.H., Omelchenko M.M.	23
Justification of the possibility of agglomerate formation of specified composition and properties Bochka V.V., Yaholnyk M.V.	25
«Green» metallurgy: problems, prospects and forecasts Vodennikova O.S., Pishchenko K.A.	27
Sources of nitrogen consumption in metal Volzhyn D.O., Kustikov V.V., Stoianov O.M, Malii Kh.V.	31
Dissolution of nitrogen in steel Volokh S.V., Stoianov O.M	33
Improvement of technological rolling modes in edge rolls Gribkov E.P., Lipatov K.V., Kalenkov O.F.	36
Automated design of the composition of the rolling stand equipment Gribkov E.P., Kryukov R.Ye.	39
Experimental study of the influence of the surface conical defects of the rod on the quality of the wire manufactured Dolzhanskiy A.M., Petlovaniy E.A., Bondarenko O.A., Brahynskiy O.B.	41

Removal of non-metallic inclusions from aluminum melts using foam ceramic filters of various thicknesses Yefimova V.G.	44
Adsorption of non-metals included in the slag phase in the tundish Yefimova V.G.	47
Study of the billet stress-strain state during continuous hot-rolling pipes at three-roll cages Konovodov D.V., Kuzmina O.M., Bobukh O.S., Ziatina V.I., Kvak B.I.	51
Types of destruction of basic periclase-carbon refractories Lapshyn Ye.V., Prytuliak Ye.V., Stoianov O.M., Malii Kh.V.	53
Development of charge formation technology for smelting refractory mulite-silica material Mazur V.V.	56
Investigation of Manganese and Silicon Oxidation Losses in the Processing of balanced steel at the “Ladle-Furnace” Mameshyn V.S., Vepryk O.O.	57
Influence of changes in the structure of the metal charge on lime consumption Mameshyn V.S., Parhomenko O.A.	59
Manufacturing technology and mechanical properties of deformable alloys of the Al-Mg system Muzyka O.O., Zacharova N.P., Poperenko T.V., Iefimov M.O.	62
Use of graphite plast bushes as details of piston compression units Naberezhna O.O., Golovko S.I., Dusha D.S.	64
Ways of development of the metallurgical complex of Ukraine in modern conditions Navolniev I.Yu.	67
Application of variable designs of top-blowing lances during the converter life Niziaiev K.H., Husak M.H., Synehin Ye.V.	71
Study of the influence of metal “overblowing” in BOF on its technological performance indicators Niziaiev K.H., Zelenyi Yu.A., Synehin Ye.V.	72

Estimation of the bof heat losses through its lining Niziaiev K.H., Synehin Ye.V., Trybushnoi V.O., Husak M.H.	74
Technological aspects of crankshaft forging Paliienko V.O., Chukhlib V.L.	76
Experience in the effective use of natural gas in heating processes of metallurgical lucks Pylypenko R.A., Tsvetkov Ye.S., Melnikov R.V.	78
Evaluation of the effectiveness of using oxygen lances in hearth units Prytuliak Ye.V.	82
Analysis of the influence of the temperature and processing time of aluminum melts in the furnace on the quality of castings Saithareiev L.N., Vodennikova O.S., Skidin I.E.	83
Features of the use of coal of different grades in a mixture of pulverized fuel under the conditions of current cast iron production Semenov Yu.S., Horupakha V.V., Pinchuk D.V., Bolotov M.B.	86
Review of metal flow control methods during continuous casting of steel Synehin Y.V., Kukhno S.A., Zhuravlova I.V.	90
Improvement of the technology of out-of-furnace processing of pipe steel Synehin Ye.V., Niziaiev K.H., Torin A.I., Zelenyi Y.A.	92
Promising directions for the implementation of non-destructive methods for determining the mechanical properties of cast iron castings Sirenko K.A., Mazur V.L., Frolov O.A	94
Effect of slag composition on degree of steel desulphurization during ladle furnace refining Stepanenko D.O., Togobitska D.M., Bielkova A.I.	95
Reengineering of metallurgical production: transition to “green” steel Tymoshenko D.O., Kukhar V.V.	98
Effective system for defrosting vanishes in frozen cars Trotsenko L.N., Pikashov V.S., Vinogradova T.V.	101
Technological analysis of deep oxidation of aluminum steel Fedorov R.F., Stoianov O.M.	104
Study of forging in notched cylinder forgings with a through hole Chukhlib V.L., Duvansky O.M.	108

Study of forging large forgings for the manufacture of hooks with high load capacity Chukhlib V.L., Kolisnyk K.D.	110
Determination of the main technical characteristics of the rolling stand of a ball rolling mill Shtoda M.M., Bozhenko A.V.	113
Analysis of use of metallurgical waste during agglomeration Yaholnyk M.V., Umanskyi M.A., Barakhov S.I.	116
INNOVATIONS IN MATERIALS SCIENCE, WELDING AND MECHANICAL SYSTEMS ENGINEERING	
Numerical simulation in radial-forward extrusion process to analyze forming characteristics Abhari P.B., Solianov D.O., Bochkovoi D.O.	120
Improving the processes of precision volumetric stamping of hollow parts Aliiev I.S., Levchenko V.M., Chuchin O.V., Malii O.G.	123
Determination of the dynamic coefficient of samples made of composite material based on polymer MM «Stahl 1018» Arustamian A.S.	127
Increasing the initial hardness of high-chromium deposited metal with metastable austenite Boyko I.O., Pashynskyi V.V., Pashinska O.G.	130
Energy-saving heat treatment of steel 45g with heating in the intercritical temperature interval (MKIT) Burova D.V.	133
Influence of self-tempering temperature on the structure of acceleratedly cooled medium-carbon steel Vakulenko I.O., Plitchenko S.O., Hlebnikov A.V.	135
Determination of the critical penetration velocity of aluminum alloy targets by indentation Goncharuk V.A., Iefimov M.O., Goncharova I.V., Tsvilitsin V.Yu.	138
Rewiew of 3D printing technologies in mechanical engineering Gorobets D.S., Plitchenko S.O.	141

Reasons for low technological plasticity about the problems of low technological plasticity of steel 04h14r3r1f used in the production of pipes for nuclear energy Gubenko S.I., Bepalko V.M.	144
About necessity of local laser strengthening of the tread of railway wheels Gubenko S.I., Parusov E.V., Chuiko I.M., Parusov O.V.	147
Application of diffusion coatings in engineering Degula A.I., Sytnikov V.O., Hryb V.V.	150
Innovative polymer materials for enhancing the efficiency of irrigation systems Yeriomina Ye.A., Oliynik G.V., Shostak R.V.	152
Study of the influence of clad alloy PKHN-15 on the tribological properties of polymer composite materials based on aromatic polyamide phenylone Yeriomina Ye.A., Shermet D.B., Yarovy Ya.Ye.	154
Technology and equipment for the production of cold-deformed reinforcing rebars in coils Ivchenko A.O., Perchun G.I.	156
Determination of the law of motion for an unsteady mode of a machine unit with a non-linear mechanical characteristic Kaidash M.D.	160
Finite element modeling of a multi-stage combined extrusion process for hollow products with a flange Kosariev V.S., Chuchin O.V.	163
Increasing the operational durability of the friction tool for spinning of necks Kulik T.O., Kulik O.M.	166
The force mode of transverse extrusion processes Levchenko V.M., Markov O.Ye., Abhari P.B., Titov A.V.	168
Analysis of modern methods of restoration and strengthening of stamps using the fusion method Makarenko N.O., Kushchii A.M., Biezghin O.A., Borysenko Yu.Yu. ..	172
The main directions for improving the process of combined extrusion for stamping sleeves Malii O.H.	175

Roller bearings made of hybrid polymer composite based on polyamide Naberezhna O.O., Mizina V.V.	177
Investigation of the possibility of ductile iron plasticity increasing Pashynskiy V.V., Pashinska O.G., Boyko I.O.	179
Resource-saving technology for strengthening press equipment in conditions of self-propagating high-temperature synthesis when obtaining special-purpose parts Sereda B.P., Udod A.M.	182
Resource-saving technology for hardening stamps using functionally active charges Sereda D.B.	185
Influence of annealing parameters in furnaces on the surface finish of cold-rolled steel Spichak O.Yu., Kukhar V.V., Shirokobokov V.V.	186
Preparation of samples for the scanning microscope Sukhomlyn V.I., Popil O.I., Hurin I.V., Korkh B.S.	190
The influence of high-entropy alloys on the abrasive wear rate of ultra-high molecular weight polyethylene Tomina A.-M.V., Voloshyna K.R., Pluzhnyk V.R.	193
Influence of dispersed alloys on the tribological properties of ultra-high molecular weight polyethylene Tomina A.-M.V., Cheshenko Ye.D., Dormed A.V.	196
Application of kirigami inspired structures in deformation-thermal treatment of composite material sheets Frolov Ya.V., Bobukh O.S., Boiarkin V.V., Konovodov D.V.	199
On the importance of practicing skills close to the production process in vocational education institutions Kholodnyi V.Yu., Pererva R.P., Udovychenko M.O., Netesanna A.R.	202
Morphology of the carbide component by carburization of high-alloy steels Chornoivanenko K.O.	205

Determination of the mechanical properties of amorphous coatings of the Fe-Cr-B and Fe-Cr-Ni-Co-B systems by the indentation method
Chugunova S.I., Golubenko O.A., Kuprin V.V., Lukianov O.I., Melnik V.H., 209

Improving the homogeneity of metastable austenite when surfacing parts made of 110g13 steel
Shalay V.O., Petrenchik I.V., Boyko I.O..... 212

CHALLENGES AND PROSPECTS FOR ENGINEERING EDUCATION TRANSFORMATION

Advantages of case technology in teaching a foreign language to students of technical specialties
Burkovska O.Y..... 216

Modern approaches to digital education in learning English by students majoring in Computer Science
Varekh N.V., Ragulina N.V..... 219

Specificity of learning foreign language lexis by seekers of engineering education at classes of business-aimed and scientific Ukrainian
Dvoriankin V.O..... 222

System of professional training in the modern production environment: strategies for rebooting
Dieiev V.V. 225

Alumni of limited liability company «Technical university «Metinvest Polytechnik» as a form of preserving the sensitivity of engineering education to the best world practices of the real practical industrial environment of Ukraine
Kononyuk D.V..... 230

Authentic materials and their role in teaching technical English
Kochergina S.S. 233

Development of educational and professional potential in the context of hybrid forms of employment: challenges and opportunities for modern industry
Maltsev O.Yu..... 235

Modernization of a pneumatic training stand for the preparation of engineers in the field of automation and mechatronics
Netesanniy A.P., Zhosan V.O., Vorona I.S., Hladyr M.M..... 239

A multi-level system of engagement of students in scientific activities as a form of edtech technologies Pashynska O.G., Grudkina N.S., Pashynskiy V.V., Boyko I.O.	242
Combination traditional and innovative foreign language teaching methods Ragulina N.V., Varekh N.V.	245
Woman role in modern engineering education and her self-fulfillment in technical positions: psychological aspect Rekova N.Yu., Chanhli K.M.	252
Peculiarities of teaching phrasal verbs Soloviova O.V.	258
The importance of students' independent work when learning English at technical university Khoroshailo O.S.	260
 PRIORITIES FOR IMPROVING THE OPERATIONAL EFFICIENCY OF MINING COMPANIES	
Interactive general plan as a tool for improving the operational efficiency of a mining operation Brui H.V., Kyrychenko I.H.	262
Optimization of the receipt of scrap metal during military actions in Ukraine Vodopyanov V.S., Tereshko Yu.V.	265
Operational efficiency of trading enterprises: new challenges and solutions in digitalization conditions Goncharov O.S., Tereshko Yu.V.	268
Justification of the adaptive efficiency coefficient for the formation of complex mechanism schemes Hryhoriev Yu.I., Hryhoriev I.Y., Lutsenko S.O., Kuttybayev A.E.	272
Study of the rock-breaking roadheaders tools using efficiency in the conditions of PJSC “Pokrovske mining company” Kamenets V.I., Chebotenko D.O.	275
Justification of the technology of “dry” storage of waste enrichment of magnetite quartzites of Krivorizhia enrichment plants Kryvorotko V.V.	278

Modeling of surface subsidence isolines over the mine workings Nazarenko V.O., Brui H.V., Novitcky G.A.	281
Reductin of operational failures and damage to control systems of the coke gas supercharger oil system due to vacuum cleaning of turbine lubricant Olieshkevych Ye.H., Bohomaz O.P.	285
Mobile crushing and reloading complexes as a tool for enhancing the adaptability of open-pit mining technology Pylypchuk D.I., Hryhoriev Yu.I., Hlopenko B.V., Neisalo S.H.	288
Prospects for lignite use in Ukraine's energy sector Piliuhyn V.I., Kamenets V.I.	290
Controlling the direction of rocks destruction by soundless chemical demolition agents Sakhno I.G., Sakhno S.V., Pogosyan A.V.	294
Increasing the productivity of the iron ore dressing plant by optimizing the particle size distribution of blasted rock mass in the open pit of PJSC “INGZK” Smirnov O.Ya., Streltsov V.O.	296
Improving the operational efficiency of Midrex H2 and blast furnace processes through the optimization of pellet metallization Tymoshenko D.O., Kukhar V.V.	299
Features of optimizing costs in steel production in the conditions of changing business sustainability and military state Fedorov S.O., Tereshko Yu.V.	303
Modeling of whirl simulation bits of the drill string Shevchuk L.V., Zaiets Yu.O.	307
 SOFTWARE AND INFORMATION SUPPORT FOR COMPUTERIZED SYSTEMS OF BUSINESS PROCESS MANAGEMENT	
Analysis of approaches to defining software requirements quality Gobov D.A., Shevchenko N.Yu.	311
Securing web applications in computerized management systems: modern threats and effective protection methods Hurkovska S.S.	315

Project calendar in Microsoft Excel: a flexible, convenient, and quick planning method Derzhhevetska M.A.	316
The process of inventorying critical information at the enterprise Ilchenko M.V., Sahaida P.I.	319
Using ml.net to solve a classification task in <i>c#</i> Kasianiuk O.S.	322
On the principles of developing a computer program for calculating the strength of double-braced i-beams Kostikov O.A., Kholodnyak Yu.S.	325
Automatic system for monitoring the particle size distribution of raw pellets Kuznitsov O.M.	328
The method of automating the continuous improvement system in the services of limited liability company “Metinvest Business Services” Ladygin O.V., Sahaida P.I.	330
Using machine learning to predict the results of cybersports competitions Mikhieienko D.Yu., Titenko D.A.	332
Using graph databases to determine the nearest or longest travel routes to necessary stations Mihnyov O.V.	334
Key business analysis aspects to requirements elicitation for artificial intelligence systems within digital transformation Moskalenko V.V.	335
Using Orange3 to automate data mining processes in the mode of visual construction of data transformation stages Nefedchenko O.O., Sahaida P.I.	338
Development of the mathematical model of the tunnel furnace for optimizing the use of energy resources Pipko O.V., Getman I.A.	341
Use of rag systems to improve the accuracy and content of query results for large language models Plutalov Ya.A., Sahaida P.I.	345

Fundamental Principles for Developing the GeoDATA Zones System for Monitoring the Stability of Deep Quarry Slopes Romanenko A.O.	347
Technologies for the use of artificial intelligence agents to automate the execution of tasks for the search and generalisation of data from external sources Sahaida P.I., Dobriak S.K.	349
Using .net interactive to visualize data in interactive notebooks created with c# Samoilenko D.O., Kasianiuk O.S.	353
Features of creating a comprehensive enterprise management information system Subotin O.V., Novikov D.S.	356
Analysis of the current state of tourism business support information systems Tkachuk A.V., Sahaida P.I.	360
Research of the intelligent chatbot of the service support service Shamtko O.V.	362

PROSPECTS FOR METALLURGICAL PRODUCTION TECHNOLOGIES

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-1>

MODERN EQUIPMENT FOR COMPLEX METALLURGICAL PROCESSING OF ALUMINUM-CONTAINING SCRAP AND WASTE

СУЧАСНЕ УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО МЕТАЛУРГІЙНОГО ПЕРЕРОБЛЕННЯ АЛЮМОВІСНОГО ЛОМУ ТА ВІДХОДІВ

Aleksyeyenko V.V.,

*PhD (Engineering), The Gas Institute
of the National Academy of Sciences
of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

Алексєєнко В.В.,

*к.т.н., Інститут газу
Національної академії наук України,
м. Київ, Україна*

Sezonenko O.B.,

*PhD (Engineering), The Gas Institute
of the National Academy of Sciences
of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

Сезоненко О.Б.,

*к.т.н., Інститут газу
Національної академії наук України,
м. Київ, Україна*

Aluminum and aluminum alloys are valuable structural metals with a wide range of applications, from the aerospace industry to medicine and construction materials. The production of primary aluminum from bauxite involves high energy consumption, which contributes to its high cost. Bauxite mining also causes significant environmental damage. In addition, aluminum is a strategically important material for use in the defense industry.

One of the unique properties of aluminum is that it can be almost completely recycled from waste, with its chemical composition restored to 99.98% of the original.

The main waste groups are as follows:

- cable and wire products, insulated, varnished and uncoated;
- construction profiles, waste from their production, slitting;
- clichés from printing plants;

- aluminum and bimetallic heating radiators;
- internal combustion engine housings, crankcases, elements of car bodies etc;
- aluminum tableware, household appliances, beverage cans, etc.

To ensure high-quality metallurgical processing of aluminum-containing waste into vintage aluminum alloys (quoted according to the London Metal Exchange's pricing), scrap pretreatment and melting/refining are typically used. Pretreatment operations include sorting, processing and cleaning of scrap. Melting/refining operations include cleaning, melting, refining, alloying and casting of aluminum recovered from scrap metal.

The problem faced by relatively small companies operating in the non-ferrous waste market is the instability of factors such as the supply of scrap (“raw material”), changes in energy prices, and the need to quickly switch to different types of products (castings) of a given grade.

That is why the modular layout of production lines, combined with high quality and reliability of equipment designs, ease of operation, the ability to quickly bring production back online after shutdowns, sequence of technological operations, and a small number of service personnel are important for the construction of such enterprises in today's environment.

As an example of the successful implementation of the above aspects, the following is the structure of the existing production of aluminum and alloys from aluminum-containing waste of various classes from scrap of the following classes

- piece scrap (class A),
- chip material (class B),
- waste in the form of metal powders (class C),
- all other types of recyclable materials to be processed (class M).

The main technological unit is a rotary reflector gas melting furnace (fig. 1) with a storage bath volume of 5.0 tons of liquid aluminum. The furnace allows processing all classes of waste at high speed and with minimal energy consumption.

The rotary kiln has a regenerative short-cycle gas burner as its heating system. The regenerator is backfilled with corundum layers with a diameter of 25 mm. The content of Al_2O_3 in the material of the layers is at least 97%.

Such a heating system can reduce the specific consumption of natural gas by 37...44 % compared to classical heating systems equipped with surface recuperators.

The natural gas consumption is thus 94...78.5 nm³ per ton of conditioned alloy. The furnace is designed primarily for melting large scrap, such as engine housings, etc. The finished melt is poured through a system of troughs into a tundish for refining, deoxidation (if necessary) or into a mixer furnace (fig. 2) for subsequent casting into ingots or billets (vertical column, horizontal bar)



Fig. 1. Rotary gas melting furnace



Fig. 2. Mixer furnace

Fig. 3 shows a typical shop floor plan of a mini-plant that can produce up to 30 tons of branded aluminum alloys.

The plan does not show the sorting and procurement areas, the laboratory, amenity facilities, and the operational warehouse.

The production program for the processing of aluminum-containing waste into branded alloys is up to 30 tons per day (500 tons per month, 5500 tons per year) in terms of finished aluminum alloy output, which ensures an average gross revenue of \$5.75 million per year.

List of the most popular alloys in the production program: Alloy AV87, AV91, AV97; Alloy AK5M2, AK9M2, AK8M3; Alloy AK7, AK12, AT 0, AT 31, AMG.

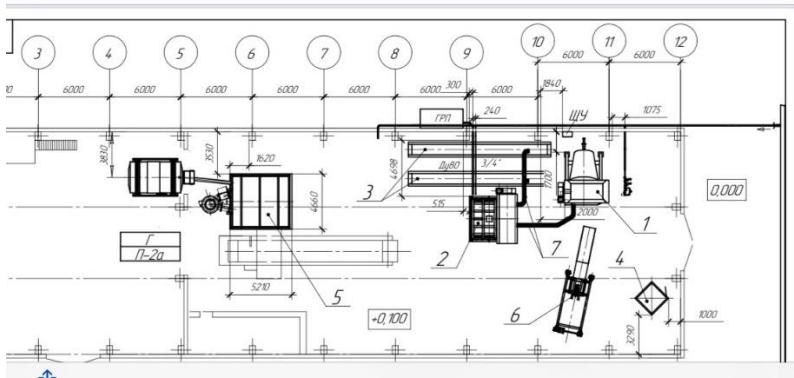


Fig. 3. Workshop floor plan of the mini-plant:

1 – rotary melting furnace; 2 – mixer furnace; 3 – casting conveyors; 4 – operator's room; 6 – loading machine; 7 – mobile chutes for casting and pouring liquid metal

Conclusions

The mini-plant for complex metallurgical processing of aluminum-containing scrap and waste is a modern, highly mechanized and highly mobile enterprise. The reduction of energy consumption per unit of output is ensured by the introduction of modern energy-efficient heating systems in combination with mechanization, a clear sequence of production processes, and the ability to change the production chain in accordance with the needs of consumers. Maximum efficiency is ensured by maintaining a 24/7 working schedule with minimal shutdowns for routine repairs or regrouping equipment for another type of product. Preparation of the raw materials (charge) using standard solutions (sorting, separation into groups, briquetting, shredding) and high qualification of personnel are also important.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-2>

COMPACTION BEHAVIOR OF ALSINI POWDERS WITH DIFFERENT MORPHOLOGIES

ПОВЕДІНКА УЩІЛЬНЕННЯ ПОРОШКІВ ALSINI З РІЗНОЮ МОРФОЛОГІЄЮ

Bevz V.P.,

*PhD, G.V. Kurdyumov Institute
for Metal Physics of the National
Academy of Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine*

Бевз В.П.,

*к.ф.-м.н., Інститут металофізики
імені Г.В. Курдюмова Національної
академії наук України,
м. Київ, Україна*

Zrodowski Lukasz,

*PhD, AMAZEMET Sp. z o.o. [Ltd],
Warsaw University of Technology,
Warsaw, Poland*

Зродовські Лукаш,

*к.т.н., AMAZEMET Sp. z o.o. [ТОВ],
Варшавський технологічний
університет, м. Варшава, Польща*

Tarasyuk A.L.,

*PhD student, G.V. Kurdyumov
Institute for Metal Physics
of the National Academy of Sciences
of Ukraine,
Kyiv, Ukraine*

Тарасюк А.Л.,

*аспірант, Інститут металофізики
імені Г.В. Курдюмова Національної
академії наук України, бульвар
Академіка Вернадського, 36, UA-
03142 Київ, Україна*

Zavdoveev A.V.,

*PhD (Engineering), Paton Electric
Welding Institute of the National
Academy of Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine*

Завдовєєв А.В.,

*к.т.н., Інститут електрозварювання
імені С.О. Патона Національної
академії наук України,
м. Київ, Україна*

Aluminum-Silicon-Nickel (AlSiNi) alloys are widely recognized for their exceptional mechanical, thermal, and corrosion-resistant properties, making them valuable in high-performance industries such as aerospace, automotive, and electronics. The unique combination of aluminum's lightweight characteristics, silicon's casting ability, and nickel's high-temperature strength enhancement allows AlSiNi alloys to meet demanding requirements in structural components, heat exchangers, and turbine blades. The fluidity of an alloy refers to its ability to flow when in a molten state, which is crucial for filling molds during casting or achieving uniform deposition in additive manufacturing. In AlSiNi alloys, the presence of high-melting nickel reduces

the overall fluidity of the melt, leading to problems such as incomplete mold filling, poor surface finish, or defects like cold shuts or voids. The alloy's viscosity increases with nickel content, making it more difficult to handle in processes that require the material to flow smoothly.

Bulk manufacturing of AlSiNi alloys, however, presents specific challenges, particularly in achieving consistent microstructure and material properties throughout large components. One of the most critical aspects of bulk alloy production is the compaction process, especially when utilizing powder metallurgy techniques. Compaction, typically achieved through mechanical or hydraulic presses, plays a vital role in ensuring uniform density and particle distribution before subsequent sintering, forging, or extrusion processes. The success of the compaction process directly influences the mechanical properties, microstructural homogeneity, and porosity levels of the final product.

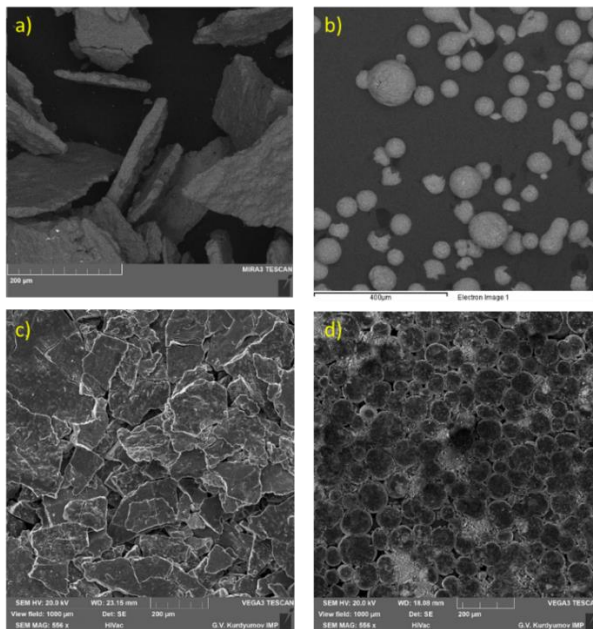


Fig. 1. AlSiNi powder a – leaf like morphology, b – spherical morphology, c – compacted leaf like powder, d – compacted spherical morphology

One promising approach for producing sound billets of AlSiNi alloys is through powder compaction. However, this method faces challenges, particularly the low adhesion between particles, which can result in billet fracture immediately after pressing. To address this issue, specially designed spherical AlSiNi powder was developed. This spherical powder was produced using a re-powdering process (AMAZEMET), yielding refined spherical particles with a size distribution below 60 μm . In this work, it is demonstrated that the application of spherical AlSiNi powder significantly improves particle adhesion, resulting in sound billets that remain intact immediately after the compaction process.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-3>

ANALYSIS OF THE CONTENT OF IMPURITIES IN COPPER BULL OBTAINED USING DIFFERENT TECHNOLOGIES

АНАЛІЗ ВМІСТУ ДОМШОК У ЗЛИТКУ МІДІ ОТРИМАНОГО З ВИКОРИСТАННЯМ РІЗНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Bevz O.O.,

*student (group 136C-23-1m), LLC
"Technical university "Metinvest
polytechnic", Zaporizhzhia, Ukraine*

Бевз О.О.,

*студент гр. 136С-23-1м, ТОВ
«ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»,
м. Запоріжжя, Україна*

Використовуючи виплавку металів у індукційних печах як основний метод виготовлення злитків міді, постає проблема у неможливості отримати злитки високого ступеню чистоти. Тому було проведено дослідження з використанням іншої технології отримання злитку міді.

Для дослідження хімічного складу міді використовувалися дві технології отримання злитку, а саме: виплавка злитку у індукційній печі "EGES" та виплавка злитку методом електронно-лучової плавки.

Для визначення хімічного складу наданих зразків було використано метод індуктивно-зв'язаної плазми/оптичної емісійної спектроскопії (ICP-OES) на ICP – спектрометрі ICAP 6500 DUO. Для дослідження хімічного складу відбір проб проводився з глибиною слою зразків при їх

механічній обробці наступним чином. Проводилась попередня проточка для зняття поверхневого слою, стружка при цьому відкидалася. Придатна проба відбиралась при подальшій проточці на глибину = 5мм.

У табл. 1 та табл. 2 представлено вміст домішок та неметалічних включень у відсотках, не більше зазначеного в таблиці.

Таблиця 1

**Вміст елементів в злитках міді, отриманих методом виплавки
в індукційній печі "EGES"**

Sb	Pb	Sn	As	Ni	Bi	Zn	Fe	P	S
0,05	0,005	0,0001	0,05	0,002	0,003	0,004	0,006	0,005	0,01

Таблиця 2

**Вміст елементів в злитках міді, отриманих методом
електронно-лучової плавки**

Sb	Pb	Sn	As	Ni	Bi	Zn	Fe	P	S
0,0007	0,0002	---	0,0002	0,0006	-- -	0,0007	0,0008	0,0002... ...0,0008	0,0008... ...0,0012

За результатами досліджень представлених у табл. 1 та табл. 2 можна прийти до висновку, що технологія електронно – лучової плавки дозволяє досягти отримання злитків міді більш високої ступені чистоти з меншим вмістом шкідливих домішок. Це досягається використанням конструкції проміжної ємності, за рахунок введення вугільного фільтра, збільшується площа взаємодії міді з графітом, що сприяла високому очищенню металу від кисню, водню, оксидних плівок та неметалічних включень.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-4>

IMPROVING THE EFFICIENCY OF BURDEN DISTRIBUTION IN A BLAST FURNACE

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗПОДІЛУ ШИХТОВИХ МАТЕРІАЛІВ В ДОМЕННІЙ ПЕЧІ

Boiko M.M.,

*PhD (Engineering), Associate
Professor, LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Бойко М.М.

*к.т.н., доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Корутко О.Н.,

*student (group 136A-23-1m),
LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Копитько О.Г.,

*студент гр. 136А-23-1м,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Omelchenko M.M.,

*student (group 136A-23-1m), LLC
"Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Омельченко М.М.,

*студент гр. 136А-23-1м,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Одним із головних факторів ефективної роботи доменної печі є раціональне завантаження шихтових матеріалів. Існують завантажувальні пристрої різної конструкції, втім на сьогодні ефективним рішенням для досягнення необхідного розподілу матеріалів є використання безконусного завантажувального пристрою.

Найпоширеніші безконусні завантажувачі пристрої лоткового типу. Для забезпечення вимог технології завантаження матеріалів у доменну піч завантажувачі пристрої лоткового типу мають наступні конструктивні елементи [1]:

– приймальний бункер, який використовується для прийому та спрямування потоку шихти із скіпа в бункер завантажувального пристрою;

– верхня газова запірна арматура, що призначена для зв'язку бункерів з атмосферою під час їх завантаження та запирання під час вивантаження матеріалів в піч;

- завантажувальний бункер, який призначений для початку та зупинки завантаження матеріалів в доменну піч;
- ваговимірювальна система, що призначена для зважування та контролю масової витрати при завантаженні шихти з бункера в доменну піч, а також для контролю наявності шихтового матеріалу в бункері;
- блок донних газоуцільнювальних пристроїв, з яких засувний затвор призначений для утримання матеріалу в бункері та регулювання його надходження з бункера, а донний клапан призначений для з'єднання бункера з доменною піччю при вивантаженні матеріалу;
- розподільник шихти, який за рахунок різної швидкості обертання і зміни кута нахилу лотка дозволяє розподіляти шихтові матеріал по колу та радіально по колошнику доменної печі.

Основною перевагою лоткового безконусного завантажуючого пристрою перед конусним є можливість спрямованого завантаження матеріалів по всьому перерізу колошнику будь-якого діаметру в будь-яку точку, включаючи центр. Правильне завантаження доменної печі, в свою чергу, дозволяє уникнути ряду проблем, пов'язаних з роботою печі, в тому числі утворення периферійних газових каналів і підвисання шихти, що в свою чергу впливає на продуктивність доменної печі і тривалість її кампанії, а також підвищує її ефективність та екологічність за рахунок зменшення питомої витрати коксу.

Регулювання розподілу шихти є одним із найважливіших способів керування доменною плавкою, оскільки забезпечує безперебійну роботу печі з максимально можливим використанням хімічної та теплової енергії газового потоку. Технологічні можливості безконусних завантажувальних пристроїв лоткового типу щодо формування раціонального розподілу матеріалів багато в чому визначаються функціональними особливостями відповідної автоматизованої системи керування [2]. Сучасне програмне забезпечення дозволяє розширити функціональні можливості системи завантаження, що забезпечує оперативний і раціональний розподіл шихтових матеріалів, спрямований на досягнення найбільшої ефективності доменної плавки.

Перелік використаних джерел

1. Blast Furnace Charging System. URL: <https://www.mheavytechnology.com/news/blast-furnace-charger/> (дата звернення: 30.10.2024).
2. Yang Y.; Yin Y.; Wunsch D.; Zhang S.; Chen X.; Li X.; Liu K. Z. Development of Blast Furnace Burden Distribution Process Modeling and Control. *ISIJ International*. 2017. Vol. 57. № 8. P. 1350-1363.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-5>

JUSTIFICATION OF THE POSSIBILITY OF AGGLOMERATE FORMATION OF SPECIFIED COMPOSITION AND PROPERTIES

ОБґРУНТУВАННЯ МОЖЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ АГЛОМЕРАТУ ЗАДАНОГО СКЛАДУ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ

Bochka V.V.,

*DSc (Engineering), Professor,
Ukrainian State University of Science
and Technologies,
Dnipro, Ukraine*

Бочка В.В.,

*д.т.н., професор, Український
державний університет науки
і технологій,
м. Дніпро, Україна*

Yaholnyk M.V.,

*PhD (Engineering), Associate
Professor, LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic", Zaporizhzhia,
Ukraine, Ukrainian State University
of Science and Technologies,
Dnipro, Ukraine*

Ягольник М.В.,

*к.т.н., доцент, ТОВ «Технічний
університет «Метінвест
політехніка», м. Запоріжжя,
Український державний університет
науки і технологій,
м. Дніпро, Україна*

За допомогою програмного комплексу проведено термодинамічний аналіз вірогідності реакцій утворення різних мінералів в семикомпонентній системі (Fe, Si, Ca, Mg, Al, O, C), яка відповідає в цілому складу шихти для спікання агломерату, шляхом оцінки величини відносної зміни термодинамічних показників: вільної енергії Гіббса та ентальпії.

Встановлено залежність величини вільної енергії Гіббса від температури. Визначено, що при температурах 673-1173 К вільна енергія для олівінів має найменші значення, що свідчить про найбільшу вірогідність їхнього утворення в даному середовищі. При подальшому збільшенні температури величина вільної енергії для олівінів суттєво збільшується, а для інших мінералів вона стрімко зменшується. Це свідчить, що в даних умовах будуть створюватись переважно інші мінерали, такі як силікати та ферити кальцію.

Залежність ентальпії від температури показала, що утворення олівінів характеризується істотним екзотермічним ефектом, в той час як інші мінерали утворюються в ендотермічних умовах. Крім того, для всіх мінералів, окрім олівінів, ентальпія практично не залежить від зміни температури, крім діапазону, в якому вони міняють агрегатний стан.

Ентальпія реакції утворення олівінів, на відміну від інших мінералів, зі збільшенням температури суттєво зростає, що пояснюється зміною їхньої основності.

Дослідження фазового складу, що в заданій системі міжблокова зв'язка представлена в основному залізокальцієвим олівіном ($\text{CaO}_{0.5}\text{FeO}_{1.5}\text{SiO}_2$), фаялітом (2FeOSiO_2 та FeSiO_3), та в незначній мірі феритами кальцію (CaOFe_2O_3 та $2\text{CaOFe}_2\text{O}_3$). Зростання температури в реакційній зоні позитивно впливає на утворення олівінів та фаяліту, сприяє стрімкому розкладанню однокальцієвого фериту та спершу збільшенню кількості двокальцієвого фериту, а після – плавному її зменшенню [1].

На основі фазового аналізу виконано дослідження впливу основності системи на кількість утворених в ній залізокальцієвих олівінів та феритів кальцію. Розрахунки підтвердили, що основність шихти в значній мірі впливає на фазовий склад агломерату та вміст у ньому міцних зв'язуючих компонентів: залізокальцієвих олівінів та феритів кальцію. Було встановлено, що кількість олівінів ($\text{CaO}_{0.5}\text{FeO}_{1.5}\text{SiO}_2$, CaOFeOSiO_2) збільшується при зменшенні основності шихти до рівня 0.9-1.0 од.. Поява феритів кальцію (CaOFe_2O_3 та $2\text{CaOFe}_2\text{O}_3$) у значній кількості потребує, в свою чергу, збільшення основності до рівня від 1.6-1.7 од.

Теоретичний аналіз залежності фазового складу агломерату від різних факторів привів до висновку, що формування блокової структури з міцною міжблоковою зв'язкою можливе шляхом роздільної підготовки шихти, основністю 0.9-1.0 та 1.6-1.7 од. Це можливо забезпечити формуванням з агломераційної шихти композиту та залишкової шихти заданого складу та властивостей.

Отримані результати підтвердили позитивний вплив роздільної підготовки на однорідність крупності сирих гранул: збільшується їх еквівалентний діаметр, зменшується вміст фракції 0-1 мм, зменшується середньо-квадратичне відхилення та коефіцієнт варіації їх крупності.

Перелік використаних джерел

1. Bochka, V., Sova, A., Kieush, L., Hryshyn, O., & Dvoiehlazova, A. Quality Estimation for the Iron Ore Sinter Obtained via Separate Blend Preparation. *Key Engineering Materials*. 2020. V. 844. P. 114-123. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.844.114

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-6>

«GREEN» METALLURGY: PROBLEMS, PROSPECTS AND FORECASTS

«ЗЕЛЕНА» МЕТАЛУРГІЯ: ПРОБЛЕМИ, ПЕРСПЕКТИВИ ТА ПРОГНОЗИ

Vodennikova O.S.,
*PhD (Engineering),
Associate Professor, Zaporizhzhia
National University,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Воденнікова О.С.,
*к.т.н., доцент,
Запорізький національний
університет,
м. Запоріжжя, Україна*

Pishchenko K.A.,
*Student,
Zaporizhzhia National University,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Піщенко К.А.,
*студент, Запорізький національний
університет,
м. Запоріжжя, Україна*

На сьогодні вуглецевий нейтралітет отримує міжнародну політичну силу, ставлячи за мету запобігання гострій кліматичній кризі, яка спричинить систематичну трансформацію в усіх галузях промисловості та послуг [1]. Зокрема декарбонізація металургійної галузі є ключовим фактором для досягнення глобальних цілей щодо нульових викидів CO₂. Основними факторами, які сприятимуть інвестиціям в галузь та збільшенню споживання екологічно чистої сталі, є правове регулювання в поєднанні з ціновими стимулами. Так переробка 1 тонни металевого брухту скорочує 1,5 тонни викидів CO₂, а для брухту нержавіючої сталі цей показник зростає до 4 тонн, тобто щороку тільки європейська сталеліварна промисловість скорочує 132 мільйони тонн CO₂. Таким чином, Європейська сталеліварна промисловість перебуває на шляху до скорочення викидів вуглецю на 55% до 2030 р. і досягнення кліматичної нейтральності до 2050 р. відповідно до кліматичних цілей ЄС (Green Deal) [2]. При цьому з 2026 р. передбачається запровадження спеціального «вуглецевого податку» на імпортовану продукцію в розмірі близько €50 на тону емісії CO₂ з подальшим його зростанням до 2030р. до €80–90, включаючи вихідні матеріали та енергоносії. Це складає в середньому 8–10% собівартості виплавки 1 т якісної сталі [3].

Так згідно даним компанії Primetals Technologies рівень викидів вуглекислого газу при виплавці 1 тони переробного чавуну досягає 1250 кг CO₂/т (рис. 1) [4].

В металургійному секторі рух з декарбонізації дуже помітний: найбільші інжинірингові організації та інститути включилися у розробку альтернативних методів виплавки та прокатування металів та сплавів, а деякі провідні виробники сталі (SSAB, Tata Steel, ArcelorMittal та інші) навіть розпочали випуск «зеленої сталі» на своїх активах [5]. Розповсюджені проекти зі створення підприємств, що працюють на металізованій сировині, виробленій прямим відновленням оксидів заліза воднем, отриманим за допомогою відновлюваних джерел енергії (вітру, сонцю, води та ін.). Безпосередньо на підприємствах SSAB, Nippon Steel, Thyssen Krupp, Voestalpine, Posco, Arcelor Mittal, British Steel та інших проєктуються і будуються виробничі лінії, що працюють за технологічними схемами, в основі яких лежить пряме відновлення заліза – DRI. Розглядаючи українську металургійну нішу слід відмітити, що на виробничих ділянках Метінвест спільно з фірмами Primetals Technologies і K1-MET також планується розміщення обладнання для отримання металізованої сировини за технологією DRI з подальшою виправкою сталі в електродугових печах [6].

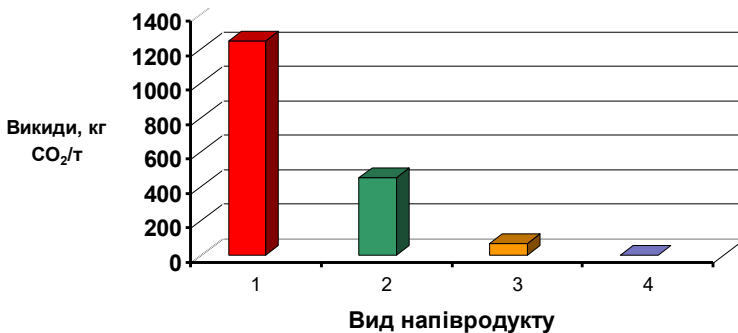


Рис. 1. Рівень викидів вуглекислого газу при отриманні напівпродукту: 1 – чавун; 2 – DRI (на основі CH₄); 3 – DRI (на основі H₂); 4 – металобрухт

Безпосередньо в Україні понад десять років функціонує одне з сучасних та «зелених» підприємств Інтерпайп Сталь, на якому викиди CO₂ не перевищують 250 кг на 1 т сталі [7]. Вплив на навколишнє середовище

повністю мінімізовано ще й за рахунок встановлення на Інтерпайп Сталі сучасної системи газо- і пило-очистки, яка уловлює більшість викидів шкідливих речовин і пилю в атмосферу. Всі викиди абсорбуються на фільтрах у гранули. Проблема забруднення річки Дніпро вирішена завдяки впровадженню замкненої системи оборотного водопостачання. Інтерпайп Сталь не скидає промислові стоки в зовнішні водойми: вода очищається і повторно використовується на виробництві [8].

Міжнародний досвід свідчить, що взаємозв'язок між «зеленим» управлінням людськими ресурсами та екологічною ефективністю є позитивним через провадження «зелених» інновацій та «зеленої» культури як нового підходу до підвищення екологічної ефективності. Важливою є побудова інноваційної системи управління персоналом та «зеленої» корпоративної культури, яка впливає на підвищення екологічної ефективності підприємства [9].

Зокрема сьогоденна металургійна промисловість Китаю активно досліджує екологічну модель «заміщення вуглецю воднем», розглядаючи можливість використання відновлюваних джерел енергії для виробництва водню з електролізу для відновлення залізної руди [10].

Таким чином, питання забезпечення металургійних підприємств «зеленими» технологіями, зокрема реалізація заходів водневого тренда є актуальним та повинно регулюватися державою. Смартизація та декарбонізація сталеливарного виробництва потребує нових підходів до формування корпоративної культури через поєднання «корпоративна культура-цифрова культура – «зелена» культура».

Перелік використаних джерел

1. Peng Wang, Heming Wang , Wei-Qiang Chen, Stefan Pauliuk. Carbon neutrality needs a circular metal-energy nexus. *Fundamental Research*. 2022. Vol. 2. Iss. 3. pp. 392– 395. <https://doi.org/10.1016/j.fmre.2022.02.003>

2. Декарбонізація металургії потребує регулювання та цінкових стимулів – аналітик. URL: <https://gmk.center.ua/news/dekarbonizaciya-metalurgii-potrebuie-reguljuvannya-ta-cinovih-stimuliv-analitik/> (дата звернення: 07.10.2024)

3. Зелена сталь і перехід на водень: Як і навіщо рятувати українську металургію? URL: <https://biz.nv.ua/ukr/experts/chi-vryatuye-zelena-stal-ukrajinsku-ekonomiku-ekspert-ocinyuye-perspektivi-metalurgiynoji-galuzi-50406528.html> (дата звернення: 07.10.2024)

4. Шляхи розвитку «зеленої металургії». Частина 2. Технології виробництва сталі. URL: <https://metinvest-smc.com/ua/articles/sliaxi-rozvitku-zelenoyi-metalurgiyi-castina-2-texnologiyi-virobnictva->

stali/?srsltid=AfmBOory_8_tjZoqRb357f0EyS3EYIX1GAeDCvNOSf_beoGZZ3WVYfNj (дата звернення: 07.10.2024)

5. Декарбонізація відбудови: металургія, цементна індустрія і енергоефективність. URL: <https://ukraine-oss.com/dekarbonizacziya-vidbudovy-metallurgiya-czementna-industriya-i-energoefektyvnist/> (дата звернення: 07.10.2024)

6. Мельник С. Г. «Зелена» металургія на етапі переходу до вуглецевої нейтральності. *Метал та лиття України*. 2022. №1(328). Т 30. С. 16–27. <https://doi.org/10.15407/steelcast2022.01.016>

7. Інтерпайп Сталь. URL: <https://interpipesteel.biz/> (дата звернення: 07.10.2024)

8. Екологічна трансформація: як розвивається зелена металургія в Україні. URL: <https://www.investua.com.ua/ukrainian-news/ekologichna-transformaciia-iak-rozvivayetsia-zelena-metallurgiiia-v-ukrayini/> (дата звернення: 07.10.2024)

9. Венгерська Н. С. Формування зеленої корпоративної культури підприємств сталеливарної промисловості в контексті смартизації та декарбонізації виробництва. *Економіка та суспільство*. 2023. Вип. 53. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-56-102>

10. Yuanchang Guo, Xinyi Wang, Kangze Deng. The road to carbon neutrality in the metallurgical industry: Hydrogen metallurgy processes represented by hydrogen-rich coke oven gas, short-process metallurgy of scrap and low-carbon policy. *Journal of Physics : Conference Series*. The 4th International Conference on Materials Chemistry and Environmental Engineering (CONF-MCEE 2024). 2024. Vol. 2798. 012053. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2798/1/012053>

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-7>

SOURCES OF NITROGEN CONSUMPTION IN METAL

ДЖЕРЕЛА НАДХОДЖЕННЯ АЗОТУ В МЕТАЛІ

Volzhyn D.O.,

*student (group 136s-23-1m),
LLC “Technical university
“Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Волжин Д.О.,

*студент гр. 136С-23-1м,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Kustikov V.V.,

*student (group 136s-23-1m),
LLC “Technical university
“Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Кустіков В.В.,

*студент гр. 136С-23-1м,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Stoianov O.M.,

*PhD (Engineering), LLC “Technical
university “Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Стоянов О.М.,

*к.т.н., ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Malii Kh.V.,

*PhD (Engineering), LLC “Technical
university “Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Малій Х.В.,

*к.т.н., ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

До основних джерел надходження газів до металевого розплаву відносяться: шихтові матеріали; атмосфера плавильного агрегату, а також дуття, що подається на поверхню або в глиб ванни (технічний кисень або повітря); феросплави та різні добавки, що вводяться в метал або шлак по ходу плавки та розливання; атмосфера, що оточує рідкий метал при випуску та розливанні.

Велика кількість газів вносить у метал шихта і, незважаючи на те, що ці гази значною мірою видаляються з металу по ходу плавки, на насиченість шихтових матеріалів газами звертають особливу увагу. Лом містить зазвичай 0,003-0,005% N.

Чавун містить зазвичай 0,004-0,005 % N. Вміст азоту в чавуні при подачі в доменну піч природного газу і пилоподібних вуглець містять матеріалів може бути істотно вище. У всі періоди плавки метал більшою чи меншою мірою стикається з пічними газами. Площа поверхні

зіткнення металу з газами залежить від типу процесу періоду операції; під час продування металу в конвертері, при заваленні легковагої шихти в мартенівській печі, при випуску металу з печі та при його розливанні площа поверхні зіткнення металу з газом більша, ніж у ті періоди плавки, коли метал покритий шлаком.

Вміст будь-якого газу в металі залежить від парціального тиску цього газу в атмосфері навколишнього металу. Практика показує, наприклад, що вміст азоту в сталі, отриманої під час продування чавуну повітрям, вище, ніж при продуванні чистим киснем. Беручи до уваги цю обставину, найбільш чисту за вмістом газів сталь можна отримувати при плавленні та розливанні у вакуумі. У цьому випадку метал не тільки не насичується газами з атмосфери, а навпаки, гази, що містяться в металі, екстрагуються з нього. У звичайних умовах роль, аналогічну впливу вакууму, відіграють міхури, які утворюються при окисленні вуглецю. Азот, розчинений у металі, прагнуть виділитися в міхур монооксиду вуглецю, оскільки його парціальний тиск у ньому дорівнюють нулю. Наприклад, встановлено, що в деяких випадках кількість азоту, що виділився з металу під час кипіння мартенівської ванни, пропорційно кількості вуглецю, що окислився, що при продуванні повітрям чавуну в безсемерівському або томасівському конвертері вміст азоту не зростає доти, поки енергійно окислюється вуглець. Як тільки вуглець вигорить і кипіння припиняється, вміст азоту в металі починає зростати. У тих випадках, коли метал кипить, зміна вмісту газів у ньому залежить від двох факторів, що діють у протилежному напрямку: насичення металу газами в результаті впливу атмосфери агрегату і виділення газів з металу разом з бульбашками монооксиду вуглецю. У момент, коли кипіння з якихось причин припиняється, припиниться і очищувальна дія бульбашок СО. Таку ж очищувальну дію надає продування металу інертним газом (наприклад, аргоном) або розлив сталі в атмосфері інертного газу.

У ряді випадків, коли метал не містить нітридоутворювальних домішок і температура металу невелика, аргон для продування замінюють дешевшим азотом. Вміст азоту у металі у своїй майже змінюється, а вміст водню зменшується.

Крім зазначених факторів, на вміст азоту в металі впливають також плавки добавки, що вводяться по ходу (вапно, руда, феросплави). Деякі види феросплавів та легуючих добавок містять значну кількість азоту.

Таким чином, отриманню металу з мінімальним вмістом азоту сприяють такі заходи: 1) використання чистих шихтових матеріалів; 2) ведення плавки в атмосфері з мінімальним вмістом азоту;

3) організація в процесі плавки кипіння ванни; 4) обробка металу вакуумом; 5) продування металу інертними газами. Шкідливий вплив водню і азоту знижується при введенні в метал домішок, що зв'язують водень і азот у міцні гідриди і нітриди (наприклад, при введенні РЗМ – церію, лантану при введенні значних кількостей алюмінію при виплавці сталі, що не старіють).

Перелік використаних джерел

1. Величко О. Г., Стоянов О. М., Бойченко Б. М., Нізяєв К. Г. Технології підвищення якості сталі : підручник. Дніпропетровськ : Середняк Т. К., 2016. 196 с.

2. Металургія (проблеми, теорія, технологія, якість): підручник для вузів / П. С. Харлашин [та ін.]. Маріуполь: Вид-во ПДТУ, 2004. 723 с.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-8>

DISSOLUTION OF NITROGEN IN STEEL

РОЗЧИНЕННЯ АЗОТУ В СТАЛІ

Volokh S.V.,

*student (group 136s-23-1m),
LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Волох С.В.,

*студент гр. 136С-23-1м,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Stoianov O.M.,

*PhD (Engineering),
LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Стоянов О.М.,

*к.т.н.,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

У будь-якій сталі в деяких кількостях містяться елементи, які в звичайних умовах є газами. До них у першу чергу відносяться кисень, азот і водень, що значною мірою впливають на якість сталі. Процес проникнення газів у метал у формі атомів, іонів або з утворенням хімічних сполук у металургійній практиці зазвичай називають процесом розчинення газів у металі. Цей процес можна умовно розділити на кілька стадій: 1) масоперенесення газу до металу; 2) адсорбцію газу на поверхні

металу; 3) перехід через кордон газ – метал; 4) дифузію газу в тонкому шарі рідини, що неперемішується (дифузійному); 5) масоперенесення в товщу металу.

Таким чином, лімітуючим ланкою процесу розчинення газів у метали є або зовнішньодифузійна (підведення газу), або внутрішньодифузійна (масоперенесення в метали) області. У деяких випадках лімітуючим є адсорбційно-кінетична ланка (адсорбція на поверхні та перехід через граничний шар). Частіше лімітує ланкою процесу є внутрішньодифузійна область, проте необхідно враховувати, що, крім заліза і газу, що розчиняється, в металі завжди міститься більша або менша кількість домішок. Якщо третій компонент має поверхневу активність, він може суттєво впливати на інтенсивність переходу газу через кордон газ – метал. Також розчинність газів у метали залежить від температури.

Розглядаючи процес розчинення азоту в залізі можна зробити такі висновки: розчинність азоту в α - та δ -Fe зростає при підвищенні температури; розчинність азоту γ -Fe при підвищенні температури знижується, що пояснюється зниженням міцності нітриду Fe_4N ; розчинність азоту при переході з рідкого в твердий стан і з одного алотропічного стану в інший різко змінюється; розчинність азоту в рідкому залізі з підвищенням температури зростає. Процес розчинення азоту в рідкому залізі складається принаймні з двох ланок: дисоціації молекулярного азоту на атоми $N_2 \rightarrow 2N$, що супроводжується поглинанням тепла, та розчинення атомарного азоту $N \rightarrow [N]$, що супроводжується виділенням тепла. Оскільки $\Delta H_{дис} > \Delta H_{роз}$, то сумарний процес протікає з поглинанням тепла. При підвищених температурах спостерігається підвищення вмісту в металі азоту (наприклад, під час продувки металу технічним киснем з підвищеним вмістом азоту, у високотемпературній зоні дуги при обігріві електродів тощо). При $1600\text{ }^\circ\text{C}$ та $p_{N_2} = 0,1\text{ МПа}$ розчинність азоту в рідкому залізі близька до $0,044\%$. При цих температурах азот утворює із залізом розчин, близький до ідеального. Утворення нітридів заліза (Fe_4N , Fe_2N) відбувається в процесі охолодження металу, що закристалізувався (в основному в області γ -Fe). За впливом на розчинність азоту в рідкому залізі елементи-домішки металу можна розділити на дві групи:

I. Утворюючі міцні нітриди (ванадій, ніобій, лантан, церій, титан, алюміній). Ці елементи підвищують розчинність азоту в γ -залізі. Такі домішки, як хром, марганець, молібден, зазвичай нітридів не утворюють, але вони характеризуються більшою хімічною спорідненістю до азоту, ніж до заліза, тому також помітно збільшують розчинність азоту.

II. Не утворюють нітридів (вуглець, нікель, мідь, фосфор) або утворюють з азотом сполуки, менш міцні, ніж із залізом (кремній). Ці елементи помітно знижують розчинність азоту у залізі.

При охолодженні сталі, що містить азот, небажаним є стрибкоподібна зміна розчинів. При швидкому охолодженні азот не встигає виділитись і розчин стає пересиченим. Процес виділення надлишкового азоту протікає під час експлуатації готового виробу і в багатьох випадках призводить до погіршення властивості (старіння і пов'язане з цим стрибкоподібне підвищення міцності і зниження пластичних властивостей).

Наявність у залізі поверхнево-активних домішок помітно впливає процеси розчинення (і відповідно виділення) азоту. Так, наприклад, кисень є поверхнево-активною домішкою; присутність у розплаві кисню обумовлює існування поверхневого шару, багатого киснем, що знижує швидкість переходу азоту через кордон газ-рідкий метал, тому при малій мірі розкисленості і невеликому перегріві металу над ліквідусом процес анодації металу практично не відбувається.

Перелік використаних джерел

1. Величко О. Г., Стоянов О. М., Бойченко Б. М., Нізяєв К. Г. Технології підвищення якості сталі : підручник. Дніпропетровськ : Середняк Т. К., 2016. 196 с.
2. Boychenko B. M. Converter production of steel: theory, technology, quality of steel, the facilities' design, recirculation of materials and environmental protection: textbook for students / B. M. Boychenko, V. B. Okhotskiy, P. S. Kharchashin ; Ministry of science and education of Ukraine, National academy of metallurgy of Ukraine. Donetsk: «Nord-Computer» publishers, 2008. 402 p.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-9>

IMPROVEMENT OF TECHNOLOGICAL ROLLING MODES IN EDGE ROLLS

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ ПРОКАТКИ В ЕДЖЕРНИХ ВАЛКАХ

Gribkov E.P.,

*DSc (Engineering), Professor,
LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Грибков Е.П.,

*д.т.н., професор,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Lipatov K.V.,

*Student (group 136P-22-1m),
LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Ліпатов К.В.,

*студент гр. 136П-22-1м,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Kalenkov O.F.,

*Student (group 136U-22-1m),
LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Каленков О.Ф.,

*студент гр. 136У-22-1м,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

На сучасних прокатних станах еджерні валки використовуються в якості обтискних з метою зниження кінцевої обрізи і, як наслідок, дозволяють підвищити вихід придатного та якості продукції за рахунок формування бічних кромek листів.

При моделюванні процесів прокатки при нерівномірній деформації по товщині прокату використовують багато методів, серед яких, наприклад, енергетичний метод [1], метод граничної оцінки [2] або найбільш точний на даний час метод скінченних елементів [3]. Але такі моделі неможливо використати в режимі «реального часу», так як їх реалізація займає дуже великий час. Доцільним в цьому випадку є отримання попередніх рішень для всього сортаменту продукції прокатного стану і використовувати їх в програмному забезпеченні, що керує робочою кліткою прокатного стану. Вказане робить актуальним розробку регресійних моделей процесів прокатки в еджерних валках на основі реалізації методу скінченних елементів.

Метою даної роботи є визначення впливу величини обтиснення на енергосилові параметри процесу прокатки листового металопрокату на

основі регресійних моделей, отриманих на результатах скінченно-елементного моделювання.

Для досягнення зазначеної мети були поставлені та вирішені наступні завдання: створення двовимірної моделі процесу прокатки листового прокату на основі використання методу скінченних елементів; на основі реалізації розробленої скінченно-елементної моделі встановити вплив обтиснення на енергосилові параметри процесу прокатки; на основі отриманих результатів скінченно-елементної моделі розробити регресійну модель.

В якості прикладу реалізації розробленої математичної моделі було розглянуто прокатку в еджерних (вертикальних) валках діаметром 800 мм листів шириною 1550 мм та товщиною 100 мм. Обтиснення варіювали від 4 мм до 12 мм. Отримані поля розподілів еквівалентних напружень представлені на рис. 1.

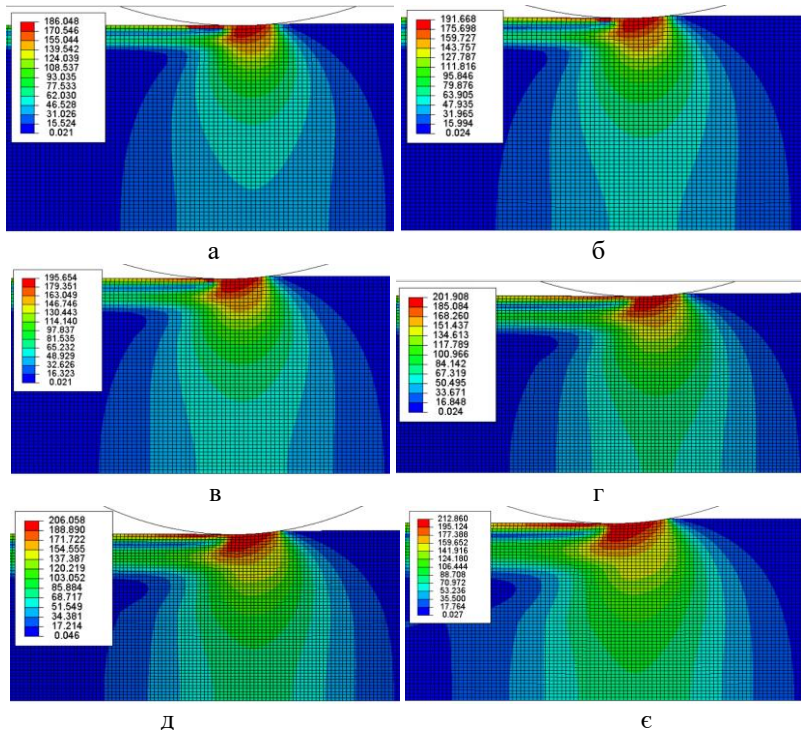


Рис. 1. Поля розподілів еквівалентних напружень при різних обтисненнях: а – 4 мм; б – 5 мм; в – 6 мм; г – 8 мм; д – 10 мм; е – 12 мм

З отриманих полів було обрано значення нормальних контактних, нормальних та нормальних дотичних напружень. Нормальні контактні та нормальні напруження потрібні були для визначення механічних властивостей матеріалу під час прокатки. Розподіл дотичних контактних напружень потрібен для визначення за зміною їх знаку координати нейтрального перерізу для отримання величини моменту прокатки. Силу та момент прокатки визначали за середнім значенням по часу реакції довідкової точки (центр обертання) валка.

Отримані результати залежності коефіцієнта напруженого стану та коефіцієнту плеча в залежності від питомого показника з відношення довжини осередку деформації до середньої товщини прокату (L/h_{cp}) представлені на рис. 2. Там же наведені отримані поліноміальні описи даних залежностей, які можна використовувати при моделюванні процесів прокатки в еджерних валках.

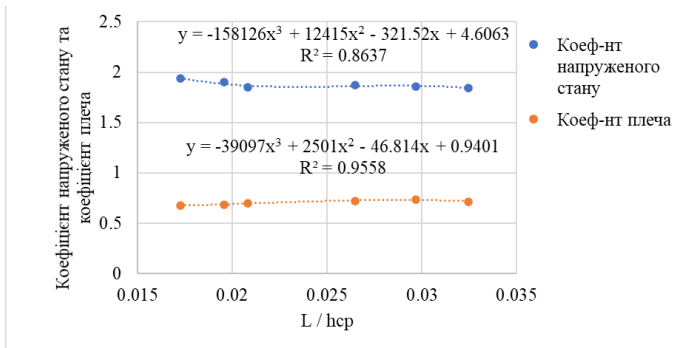


Рис. 2. Залежності коефіцієнта напруженого стану та коефіцієнту плеча в залежності від питомого показника з відношення довжини осередку деформації до середньої товщини прокату (L/h_{cp})

Отримані результати підтверджують достатню достовірність отриманих регресійних залежностей і її можливість використання при розробці інженерних моделей процесів прокатки в еджерних валках, що дозволить реалізацію автоматизованого проектування режимів прокатки в режимі «реального часу» як на діючому обладнанні, так й при проектуванні нового.

Перелік використаних джерел

1. Liu, Y.M., Hao, P.J., Wang, T. et al. Mathematical model for vertical rolling deformation based on energy method. *Int J Adv Manuf Technol* 107, 875–883 (2020). <https://doi.org/10.1007/s00170-020-05094-3>

2. Yang, B., Xu, H. & An, Q. A coupling model of vertical rolling process based on upper bound method and elastic theory. *Int J Adv Manuf Technol* 128, 715–728 (2023). <https://doi.org/10.1007/s00170-023-11712-7>

3. Tangestani, R., Farrahi, G.H., Shishegar, M. et al. Effects of Vertical and Pinch Rolling on Residual Stress Distributions in Wire and Arc Additively Manufactured Components. *J. of Materi Eng and Perform* 29, 2073–2084 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11665-020-04767-0>

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-10>

AUTOMATED DESIGN OF THE COMPOSITION OF THE ROLLING STAND EQUIPMENT

АВТОМАТИЗОВАНЕ ПРОЄКТУВАННЯ СКЛАДУ ОБЛАДНАННЯ ПРОКАТНОГО СТАНУ

Gribkov E.P.,

*DSc (Engineering), Professor,
LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Грибков Е.П.,

*д.т.н., професор,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Kryukov R.Ye.,

*Student (group 136U-22-1m),
LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Крюков Р.Є.,

*студент гр. 136У-22-1м,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Проектування нового обладнання пов'язане з вирішенням комплексу задач. Інструментом для цього є математичні моделі процесу прокатки [1, 2]. Крім моделювання безпосередньо процесу прокатки необхідно враховувати особливості проектування обладнання. Важливим етапом при створенні обладнання є розробка технічної пропозиції, яка ґрунтується на технічному завданні і визначає вид, конструктивне виконання, масу і ціну обладнання. Даний вид робіт виконує інженер-конструктор і при цьому він вирішує наступні питання:

- вибір параметрів робочої кліті за інженерними методиками на основі заданого в технічному завданні сортаменту (визначення діаметру валків);
- визначення режиму обтиснень, кількості проходів та швидкості прокатки за кожним з них;
- розрахунок силових параметрів процесу прокатки (сили, моменту, потужності);

- виконання розрахунків міцності основних вузлів і механізмів;
- визначення якості прокату та його відповідності стандартам;
- визначення продуктивності прокатного стану та його відповідності очікуваному;
- ескізне опрацювання основних вузлів машини;
- розробка технічної пропозиції.

Деталізувати ці етапи можна наступним чином.

На першому етапі проводиться визначення конструктивних параметрів робочої кліті прокатного стану, а саме радіус робочих валків та жорсткість кліті. Проводиться розрахунок режимів прокатки.

На другому етапі проводиться розрахунок силових параметрів процесу прокатки та перевіряються с заданими паспортними характеристиками.

На третьому етапі аналізуються отримані силові характеристики на відповідність умовам міцності елементів робочої кліті прокатного стану.

На четвертому етапі визначаються повздовжня та поперечна різновтовщинність прокату на її відповідність стандартам на прокатну продукцію. Формуються вимоги на якість виготовлення елементів робочої кліті.

На п'ятому етапі корегуються швидкісні режими прокатки та визначається продуктивність прокатного стану. Формуються вимоги до забезпечення стану заготовками.

На шостому етапі виконується ескізна проробка елементів обладнання та формується технічна пропозиція щодо складу та характеристик обладнання прокатного стану.

Кожний етап повинен повторюватися до виконання вимог, корегуючи вхідні дані попереднього етапу.

Як приклад розробленої системи автоматизованого проектування був виконаний розрахунок для виробництва листів товщиною 10 мм, шириною 1500 мм з високолегованої сталі. Раціональним варіантом в цьому випадку є використання робочої кліті з радіусом валків 500 мм та безпереволитого слябу товщиною 100 мм. Розраховані технологічні режими прокатки показали, що достатньо 9 проходів для отримання готової продукції при швидкості прокатки до 10 м/с при наступних характеристиках робочої кліті: сила прокатки – 20 МН; момент прокатки – 150 кНм; потужність приводу – 1 МВт. При цьому продуктивність прокатного стану становить 2,5 млн. тон прокату на рік.

Перелік використаних джерел

1. Zhao J., Jiang Z. Rolling of Advanced High Strength Steels: Theory, Simulation and Practice. Taylor&Francis: Routledge and CRC Press, 2021. 644 p.

2. Грибков Е. П.. Основи автоматизованого проектування технологічного обладнання. Лабораторний практикум : посібник [для студентів технічних спеціальностей], Краматорськ : ДДМА, 2021. 67 с.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-11>

**EXPERIMENTAL STUDY OF THE INFLUENCE
OF THE SURFACE CONICAL DEFECTS OF THE ROD
ON THE QUALITY OF THE WIRE MANUFACTURED**

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ
ПОВЕРХНЕВИХ КОНІЧНИХ ДЕФЕКТІВ КАТАНКИ НА ЯКІСТЬ
ДРОТУ, ЩО ВИГОТОВЛЯЄТЬСЯ ВОЛОЧІННЯМ**

Dolzhanskiy A.M.,

*DSc (Engineering), Professor,
Ukrainian State University of Science
and Technology, Dnipro, Ukraine*

Должанський А.М.,

*д.т.н., професор, Український
державний університет науки
і технологій, м. Дніпро, Україна*

Petlovaniy E.A.,

*PhD (Engineering), Research Assistant,
Ukrainian State University of Science
and Technology, Dnipro, Ukraine*

Петльований Є.О.,

*к.т.н., науковий співробітник,
Український державний університет
науки і технологій, м. Дніпро, Україна*

Bondarenko O.A.,

*PhD (Engineering), Associate Professor,
Ukrainian State University of Science and
Technology, Dnipro, Ukraine*

Бондаренко О.А.,

*к.т.н., доцент, Український
державний університет науки
і технологій, м. Дніпро, Україна*

Brahynskiy O.B.,

*PhD student, Ukrainian State
University of Science and Technology,
Dnipro, Ukraine*

Брагинський О.Б.,

*аспірант, Український державний
університет науки і технологій,
м. Дніпро, Україна*

В Україні налічується близько 100 метизних підприємств, які виробляють дріт діаметром 0,1...8,0 мм, а також широкий асортимент канатів, болтів, гвинтів, гайок, електродів, цвяхів, сітки та інших металевих виробів, заготовкою для яких слугує волочений дріт, а для нього – катанка, яка постачається металургійними підприємствами після

прокатного перероблення. Більшу частину вказаної продукції (70...80%) виготовляють з низьковуглецевої катанки.

До кожного з видів метизної продукції пред'являються специфічні вимоги, які відображені в нормативних документах. Але перш за все, слід забезпечувати стабільний безобривний процес волочіння з регламентованим обтисненням заготовки та з досягненням необхідного розміру дроту.

Більшість досліджень, присвячених забезпеченню безобривного багатократного волочіння дроту [1], базується на зіставленні характеристик міцності металу та силових умов волочіння при урахуванні регламентованого коефіцієнту запасу міцності. Останній зумовлюється, здебільшого, діапазоном коливань як механічних, так і геометричних характеристик металу. Обидві ці характеристики пов'язані з частою наявністю на заготовці-катанці поверхневих дефектів у вигляді подряпин та вм'ятин різної форми і глибини. Вони дестабілізують міцність дроту та тяглову силу на виході з волоки, що підвищує ймовірність і частоту появи обривів при волочінні, зменшує продуктивність процесів та збільшує виробничі витрати.

Компенсуючим прийомом тут стає регулювання часткових та сумарного обтиснення металу у волоках, а також – кратності волочіння. Для цього слід визначити динаміку деформування не тільки заготовки, але й її поверхневих дефектів. Супутнім фактором мають стати також дані щодо відповідності властивостей такого дроту вимогам нормативної документації.

Вивченню цих аспектів було присвячено роботи [1, 2]. У них були отримані дані щодо закономірностей деформування волочінням низьковуглецевої катанки та її поверхневих дефектів, які моделювались наскрізними свердленнями та поздовжніми і поперечними надрізами різної глибини.

При цьому поза увагою залишилися варіанти моделювання дефектів штучними конічними утвореннями різного діаметру та глибини.

Тому, метою роботи стало дослідження впливу умов деформації металу і розмірів моделей його конічних поверхневих дефектів на закономірності їх формозміни при волочінні.

В якості моделей дефектів на катанку наносили конічні свердлення з кутом при вершині 90^0 та глибиною $h_0 = 1,0 \dots 2,5$ мм.

Про закономірності деформування конічних моделей поверхневих дефектів при зміні діаметра d дроту від початкового (з індексом «0») до виходу з i -того циклу деформування (з індексом « i ») в залежності від

значень сумарної витяжки $\mu_{\Sigma} = \left(\frac{d_0}{d_i}\right)^2$ та витяжки $\mu_i = \left(\frac{d_{i-1}}{d_i}\right)^2$ в пропуску судили за зміною глибини h_i та довжини a_i моделі дефекту, які змінювалися в послідовних i -тих проходах при волочінні катанки та дроту (рисунок 1).

Експериментальні дослідження свідчать про те, що зі збільшенням сумарної витяжки μ_{Σ} металу глибина h_i кінчної «моделі» дефекту зменшується тим інтенсивніше, чим більшою є її вихідні значення h_0 на катанці, асимптотично прагнучі до нуля при $\mu_{\Sigma} > 1,6$, тобто з «вигладжуванням» дефекту (рисунок 1, а). При цьому, довжина a_i дефекту збільшується тим інтенсивніше, чим більшою є її вихідні значення a_0 на катанці (рисунок 1, б).

В експериментах також зафіксовано тенденцію перетворення кінчного «дефекту» при багаторазовому волочінні спочатку на повздовжній об'ємний, а потім – на тріщину.

Останнє свідчить про нерівномірність деформації у волоках як дроту, так його дефектів. При цьому можна очікувати найбільш істотний вплив на стабільність процесу волочіння у першому-третьому проходах. Це, у свою чергу, вимагає збільшення граничного запасу міцності при проектуванні маршрутів волочіння.

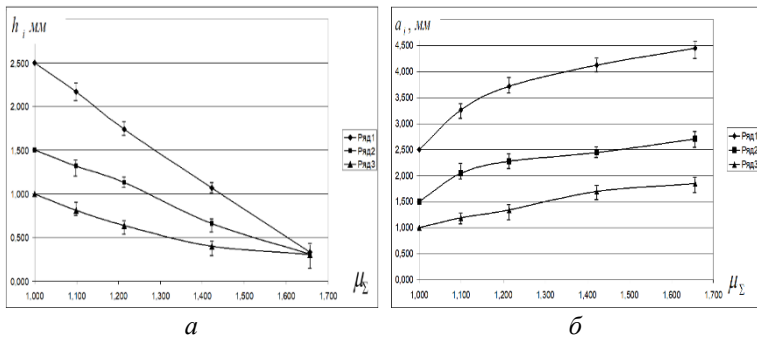


Рис. 1. глибини h_i (а) та довжини a_i (б) моделей дефектів у залежності від сумарної витяжки μ_{Σ} від \blacklozenge $h_0 = 2,5$ мм; \blacksquare $h_0 = 1,5$ мм; \blacktriangle $h_0 = 1$ мм

Дослідження показали, що відповідний параметр потрібно збільшувати в першому проході на 5...30% залежно від вихідної глибини «дефекту» і до 3...18% – в другому та третьому проходах.

У цілому, отримані дані якісно узгоджуються з результатами попередніх досліджень [1, 2].

Перелік використаних джерел

1. Dolzhansky A.M., Petlevany E.A., Suslova K.L. Influence of surface defects of steel wire rod on the stability of the drawing process and patterns of their deformation. Report 1. Metallurgical and mining industry. 2014. No. 1. P. 60-62.

2. Dolzhansky A.M., Petlevany E.A., Suslova K.L. Influence of surface defects of steel wire rod on the stability of the drawing process and patterns of their deformation. Message 2. Metallurgical and mining industry. 2014. No. 2. P. 39-42.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-12>

REMOVAL OF NON-METALLIC INCLUSIONS FROM ALUMINUM MELTS USING FOAM CERAMIC FILTERS OF VARIOUS THICKNESSES

ВИДАЛЕННЯ НЕМЕТАЛЕВИХ ВКЛЮЧЕНЬ З РОЗПЛАВІВ АЛЮМІНІЮ З ВИКОРИСТАННЯМ ПІНОКЕРАМІЧНИХ ФІЛЬТРІВ РІЗНОЇ ТОВЩИНИ

Yefimova V.G.,

*Associate Professor, National Technical
University of Ukraine «Igor Sikorsky
Kyiv Polytechnic Institute»,
Kyiv, Ukraine*

Єфімова В.Г.,

*доцент, Національний технічний
університет України «Київський
політехнічний інститут імені
Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна*

Видалення неметалевих включень з розплаву алюмінію являє собою процес, в якому включення переходять на поверхню керамічного матеріалу, тобто в іншу фазу та залишається в ній [1-3]. Видалення та поглинання неметалевих включень поверхнею керамічного фільтру є одним з найефективніших методів рафінування алюмінієвих розплавів від неметалевої фази з рідкого розплаву.

Поступово отвори фільтра заростають та звужуються, що дозволяє видалити навіть невеликі включення розміром 1-5 мкм [3]. Об'ємні

фільтри, на відміну від пласких, використовують ефект фільтрації на вході фільтра, так і глибоку фільтрацію, яка залежить від розміру отворів, їх поперечного перерізу, розподілу та фільтрувального матеріалу. При глибокій фільтрації процес відбувається по всій довжині фільтра і полягає в налипанні неметалевих включень і зчепленні їх з стінками керамічного фільтра. Під час глибинної фільтрації включення оточують керамічний матеріал, а частинки агломеруються, утворюючи перемички з краями, закріплені на фільтраційних каналах [2].

Фільтрація алюмінієвих розплавів зменшує кількість включень, які можуть призвести до дефектів лиття; усуває бульбашки в метали; регулює та гомогенізує потік металу, зменшує окислення та покращує якість лиття.

Кінетика захоплення неметалевих включень залежить:

1) від геометрії фільтра (товщини, пористості, розмір, геометрії потоку);

2) змінних, що модулюють швидкість потоку розплаву.

Фільтр, що має відносно велику спроможність утримувати неметалеві включення при тривалому використанні може бути заблокованим.

Отже для встановлення оптимального значення утримуючої спроможності фільтра нами було проведено експериментальні дослідження з використанням системи модельного розплаву Al-TiB₂.

Для цього нами було зроблено експериментальну установку, яка враховувала корозійну природу розплаву алюмінію, умови постійного нагрівання, достатню глибину фільтра та витрати розплаву у діапазоні 1-17 кг/м² · с, що відтворює умови роботи фільтра у промислових умовах.

Експериментальна установка складалася з печі опору. Для моделювання процесу фільтрації у середині печі було встановлено сталеву трубу, яка була адаптована для відтворення процесу фільтрації. Спосіб приготування фільтра залежить від типу фільтра.

У дослідженнях було використано три конфігурації глибинного шару фільтрів:

1) 25 см з круглого глинозему діаметром 2 см;

2) 25 см з пластинчастого глинозему 1-3 мм;

3) 5 см з таблетованого глинозему товщиною 1-3 мм, використовувалось у якості порівняння.

Для фільтрації нагрівали 70 кг розплаву алюмінію до температури 750°C. У якості індикаторів ефективності фільтрації було обрано частинки TiB₂. Для утворення цих «штучних включень» попередньо було визначено кількість титану дибориду (Al-5% Ti – 1% B), що було

додано до розплаву. У якості «штучних включень» титан диборид було обрано з наступних причин:

- 1) розмір частинок TiB_2 мають критичний діапазон розмірів в межах 1–30 мкм, необхідний для цього дослідження;
- 2) простота кількісного аналізу Ti і B в алюмінії за допомогою спектрографічних і металографічних методів;
- 3) наявність лігатур Al-Ti-B.

Відфільтрований метал збирали через певні проміжки часу під вихідним отвором фільтру за допомогою серії форм та визначали його вагу. Це дозволяло розрахувати швидкість потоку через фільтр. Передбачалося, що при температурі фільтрації весь присутній бор був хімічно зв'язаний з титаном.

В результаті проведеної роботи було запропоновано математичне описання кінетичної моделі закріплення частинок неметалевих включень на поверхні фільтру. Модель описує кінетику видалення включень в залежності від швидкість потоку розплаву. Теоретична модель була підтверджена експериментальними дослідженнями. Експерименти показали, що пінокерамічні фільтри різної товщини на ранніх стадіях фільтрації мають однакові характеристики.

Перелік використаних джерел

1. Massanabadi M., Akhtar S., Aune R. Effect of flow velocity on the permeability of ceramic foam filters (CFFs). 2024. Result in materials. Vol. 21. p. 78-84.
2. Gehre P., Takht Firouzehb S., Schmidta G., Dudcziga S., Kieferb B., Aneziris C.G. Flame-sprayed alumina molten metal filters for dead-mould casting application. 2023. Open Ceramics. Vol. (13). pp. 79-94.
3. Ningjie S., Zhe W., Bolin S., Yuan L., Zhancheng G. Purification of primary aluminum liquid through supergravity-induced filtration. 2022. Chemical Engineering and Processing – Process Intensification. Vol. 182. №.6. Pp. 234-357.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-13>**ADSORPTION OF NON-METALS INCLUDED
IN THE SLAG PHASE IN THE TUNDISH****АДСОРБЦІЯ НЕМЕТАЛЕВИХ ВКЛЮЧЕНЬ
ШЛАКОВОЮ ФАЗОЮ У ПРОМІЖНОМУ КОВШІ МБРЗ****Yefimova V.G.,***Associate Professor,
LLC “Technical university
“Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine***Єфімова В.Г.***доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Відомо, що в процесі виробництва сталі відбувається побічний процес утворення неметалевих включень. Якщо його не контролювати належним чином, це може призвести до зниження якості готової продукції. Одним з доступних методів контролю вмісту неметалевих включень у розплаві сталі є шлак, який за законом розподілу поглинає неметалеві включення у процесі їх флотації за рахунок абсорбції.

Основні дослідження видалення неметалевої фази з розплаву сталі присвячені оптимізації траєкторії гідродинамічних потоків у металургійних реакторах та транспортуванню неметалевих включень до межі поділу фаз метал – шлак [1, 2].

Найменш вивченою стадією видалення неметалевих включень з розплаву є поглинання неметалевого включення шлаковою фазою.

Отже, робота що спрямована на з'ясування механізму абсорбції включень шлаковою фазою після того як вони досягли міжфазної поверхні поділу метал – шлак та впливу на цей процес розплаву шлаку є актуальною.

Метою даного дослідження було встановлення механізму видалення неметалевих включень за рахунок адсорбції шлаковою фазою.

Реалізація поставленої мети здійснювалась шляхом вирішення наступних завдань:

- фізико-хімічний аналіз адсорбції неметалевих включень шлаком у проміжному ковші;
- моделювання процесу адсорбції неметалевих включень шлаковою фазою, з використанням скуюючого електронного мікроскопу;
- визначення часу адсорбції неметалевих включень шлаком.

Для того щоб розглянути класичну модель абсорбції неметалевих включень шлаковою фазою, нами було проведено моделювання процесу

адсорбції неметалевих включень шлаковою фазою, при цьому вважалося, що адсорбційний процес перебігає у мономолекулярному шарі та може контролюється дифузією та контролюються константою швидкості хімічного процесу.

В цих дослідженнях було зроблено наступні припущення:

- 1) форма частинок має бути максимально наближеною до сферичної форми;
- 2) процес розчинення відбувається до тих пір, поки частинка повністю не розчиниться;
- 3) у процесі розчинення не відбувається процесу обертання частинки;
- 4) об'єм шлаку залишається сталим.

У дослідженнях для вивчення розчинення частинок неметалевих включень ми застосовували скануючий електронний мікроскоп РЕМ-106И, основними перевагами якого є можливість спостереження процесу розчинення індивідуальної частинки неметалевого включення у шлаку.

У цьому дослідженні у якості включення, що переходить міжфазну границю метал – шлак, використовувався глинозем. При цьому всі твердження, що отримані для частинок глинозема можуть бути застосовані і до інших найпоширеніших включень, а саме Al_2O_3 , MgO , ZrO_2 і $MgAl_2O_4$.

Було прийнято, що розплав сталі являв собою розплав чистого заліза, тому в'язкість металу і переважна частина поверхневих натягів на межі поділу фаз була відома. Початкова швидкість включення була різною в залежності від розміру включень, до максимальна очікувана швидкість течії в металі 0,3 м/с.

Для аналізу було обрано фазу шлаку проміжного ковша. Основні характеристики розплаву металу, шлаку та неметалевих включень наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

**Фізико-хімічні властивості розплаву металу,
шлаку та неметалевих включень**

	Густина, кг/м ³	В'язкість, Па·с	Поверхневий натяг, Н/м	Склад, масові %			
Включення Al_2O_3	3990	-	$\sigma_{ш-в}$ 0,01-0,2	Al_2O_3 , 100%			
Розплав Fe	7000	0,006	$\sigma_{М-в}$ 1,504	Fe, 100%			
Шлак проміжного ковша	2560	2,308	$\sigma_{М-ш}$ 1,16	SiO_2	CaO	Al_2O_3	MgO
				39,5	33	19,5	7,3

Для аналізу результатів експерименту швидкості розчинення неметалевих включень у шлаковій фазі, яка контролюється дифузією, можна представити рівнянням:

$$\tau = \frac{\rho_g \cdot R_g^2 \cdot 3\pi\eta_m}{2kT\Delta C} \quad (1)$$

де k – константа Больцмана; ΔC – зміна концентрації в процесі розчинення неметалевого включення, мас.%; ρ_g – густина неметалевих включень у кг/м^3 ; R_g^2 – радіус неметалевого включення, м; η_m – в'язкість розплаву металу, Па·с; T – температура, К; ΔC – зміна концентрації в процесі розчинення неметалевого включення, мас.%

Одною з основних цілей фізичного моделювання було виявлення умов, коли включення залишається однією своєю частиною у розплаві металу, а іншою у шлаковій фазі і не асимілюється шлаковою фазою.

Отже метою досліджень було встановлення умов, що призводять до даної ситуації, а також знаходження межі тих властивостей, коли неметалеві включення концентруються на границі поділу метал-шлак, а саме розмір частинок та швидкість їх спливання, значення поверхневого натягу на межі поділу фаз неметалевого включення – шлак, а також в'язкість шлаку.

Дослідження було проведено для чотирьох різних розмірів включень – 10, 20, 50 та 100 мкм. Поверхневий натяг на межі поділу фаз неметалевого включення – шлак було обрано в межах 0,01–0,6 Н/м з припущенням, що при розчиненні включень призводить до зміни складу шлакової фази.

Дані розрахунків свідчать, що при малих значеннях поверхневого натягу на межі поділу фаз неметалевого включення – шлак, рушійною силою процесу адсорбції неметалевих включень буде капілярна сила, що відноситься до розмірів включень, що розглядаються.

Зміна початкової швидкості спливання мало впливає на процес адсорбції неметалевої фази. Як показують розрахунки, початкова швидкість впливає на асиміляцію частинок, розмір яких більше 50 мкм, за рахунок утворення металевої плівки чи шлаків, що мають підвищену в'язкість.

Отже, оскільки рушійною силою процесу відокремлення неметалевих включень від фази металу і перехід їх у шлак є капілярна сила. Для проміжного ковша поверхневий натяг на межі поділу неметалевого включення – шлак повинен бути не більше 0,4 Н/м, що сприяє видаленню 90-95% неметалевих включень з радіусом від 10 до 100 мкм, з початковою швидкість спливання – 0,3 м/с.

Слід зауважити, що при розчиненні у шлаку частинки неметалевих включень змінюють свою форму. Оскільки процес розчинення має тенденцію до зменшення площі включень, що контактують зі шлаком, то розчинення буде мати тенденцію до зменшення поверхневого натягу на межі поділу фаз шлак – неметалева включення, тому частинка буде рухатися в шлак під час розчинення.

Дані розрахунків свідчать, що час адсорбції неметалевих включень лежить в межах від $2 \cdot 10^{-4}$ до $7 \cdot 10^{-4}$ сек, в залежності від розміру включення. Зростання часу адсорбції неметалевих включень великих розмірів спостерігається за рахунок більш тривалого відокремлення металевих плівок від поверхні неметалевого включення.

В результаті проведених досліджень встановлено механізм адсорбції неметалевих включень, визначено умови які краще впливають на процес адсорбції неметалевих включень шлаковою фазою, а також встановлено час асиміляції шлаком включень різного розміру.

Наступним етапом наших досліджень буде вивчення впливу природи неметалевих включень на їх асиміляцію шлаковою фазою.

Перелік використаних джерел

1. Zhao S., Zushu L., Renze X., Darbaz K., Gaoyang S. Dissolution Behavior of Different Inclusions in High Al Steel Reacted with Refining Slags. 2021. – Metals. – Vol.11. – p. 56-71.
2. Xu, J.F., Wang K.P., Wang Y., Qu Z.D., Tu X.K. Effects of ferrosilicon alloy, Si content of steel, and slag basicity on compositions of inclusions during ladle furnace refining of Al-killed steel. 2020. – J. Iron Steel Res. Int. – Vol. 27. – p. 1011–1017.
3. Wang, G.C., Zhao, Y., Xiao Y.Y., Jin, P.L., Li S.L., Sridhar, S. Diversified aggregated patterns of alumina inclusions in high-Al iron melt. 2020. – Met. Mater. Trans. – Vol. 51. – p. 3051–3066.
4. Yang, J., Chen D.F., Zhu M.Y., Crystallization and heat transfer of CaO–SiO₂-based slag for high-Mn–high-Al steel. 2020. – J. Iron Steel Res. Int. – Vol. 27. – p. 788–795.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-14>

STUDY OF THE BILLET STRESS-STRAIN STATE DURING CONTINUOUS HOT-ROLLING PIPES AT THREE-ROLL CAGES

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ МЕТАЛУ ПРИ БЕЗПЕРЕРВНІЙ ГАРЯЧІЙ ПРОКАТЦІ ТРУБ У ТРИВАЛКОВИХ КАЛІБРАХ

Konovodov D.V.,

*PhD (Engineering),
Associate Professor, Ukrainian State
University of Science and Technology,
Dnipro, Ukraine*

Коноводов Д.В.,

*к.т.н., доцент,
Український державний університет
науки і технологій,
м. Дніпро, Україна*

Kuzmina O.M.,

*PhD (Engineering),
Associate Professor, Ukrainian State
University of Science and Technology,
Dnipro, Ukraine*

Кузьміна О.М.,

*к.т.н., доцент, Український
державний університет науки
і технологій,
м. Дніпро, Україна*

Bobukh O.S.,

*PhD (Engineering),
Associate Professor, Ukrainian State
University of Science and Technology,
Dnipro, Ukraine*

Бобух О.І.,

*к.т.н., доцент,
Український державний університет
науки і технологій,
м. Дніпро, Україна*

Ziatina V.I.,

*PhD Student, Ukrainian State
University of Science and Technology,
Dnipro, Ukraine*

Зятіна В.І.,

*аспірант, Український державний
університет науки і технологій,
м. Дніпро, Україна*

Kvak B.I.,

*PhD Student, Ukrainian State
University of Science and Technology,
Dnipro, Ukraine*

Квак Б.І.,

*аспірант, Український державний
університет науки і технологій,
м. Дніпро, Україна*

Метод безперервної прокатки отримав широке застосування для виробництва високоякісних безшовних труб. Прокатка труб на безперервних станах PQF із застосуванням тривалкових калібрів та оправки, що утримується, має певні особливості. Поєднання тривалкового калібру та оправки, що утримується, визначає розподіл поздовжніх напружень по перерізу труби, які, у свою чергу, впливають на формування товщини стінки труби. Також великі значення напружень можуть призводити до появи розривів у стінці труби в процесі пластичної деформації.

Для дослідження було використано комп'ютерне моделювання процесу безперервної гарячої оправочної прокатки труб у тривалковому калібрі. Моделювання проводилось в скінченно-елементній програмі QForm UK [1]. Умови деформації приймалися відповідними до умов роботи п'ятикільтового стану PQF. Досліджували напруження у випуску калібру після виходу переднього кінця труби з другої кліти. Для цього провели поздовжній переріз через випуск калібру (рис. 1).

Для визначення впливу різних факторів на напружений стан варіювались три вхідних параметри: товщина стінки труби, коефіцієнт тертя, швидкість руху оправки. Вихідними параметрами обрали поздовжні напруження у випуску калібру та товщину стінки труби у випуску.

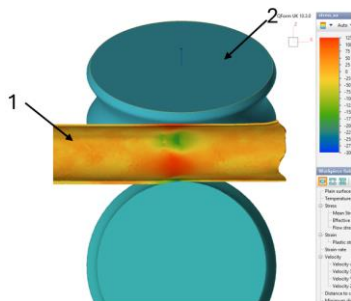


Рис. 1. Переріз труби, який проходить через випуск калібру (оправка та третій валок приховані): 1 – труба, 2 – валки

Напруження визначали по довжині труби в п'яти точках з кроком 200 мм. Перша точка розташовувалась на відстані 200 мм від переднього кінця труби. Положення вищевказаних точок відповідали випуску калібру другої кліти. Зовнішній діаметр гільз, що задають у першу кліть стану PQF, приймали рівним 200 мм. Товщина стінки складала відповідно 11, 12 та 13 мм. Матеріал заготовки – сталь 20. Коефіцієнт тертя на контакті металу з валком задавали 0,3. Фактор тертя на контакті металу з оправкою змінювали у межах 0,15–0,26, що відповідає коефіцієнтам тертя 0,08 – 0,14.

Діаметр оправки – 172 мм. Швидкість руху оправки приймали 900 мм/с, 1100 мм/с та 1300 мм/с. Температуру труби перед прокаткою приймали рівною 1050 °С, температуру оправки – 150 °С, а температуру валка – 80 °С.

Значення напружень у випуску калібру другої кліти знаходяться на рівні 113 – 120 МПа для всіх розглянутих випадків прокатки.

Аналіз результатів дослідження показав, що кожен з трьох факторів впливає на товщину стінки гільзи у випуску калібру. Помітного впливу тих самих факторів в діапазонах їх варіювання, що досліджувалися, на величину поздовжніх напружень у випуску калібру другої кліті не визначено.

Перелік використаних джерел

1. QForm UK. About. URL: <https://www.qform3d.com/about>.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-15>

TYPES OF DESTRUCTION OF BASIC PERICLASE-CARBON REFRACTORIES

ВИДИ РУЙНАЦІЇ ОСНОВНИХ ПЕРИКЛАЗОВУГЛЕЦЕВИХ ВОГНЕТРИВІВ

Lapshyn Ye.V.,

*Student (group 136s-23-1m),
LLC “Technical university
“Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Лапшин Є.В.,

*студент гр. 136С-23-1м,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Prytuliak Ye.V.,

*Student (group 136s-23-1m),
LLC “Technical university
“Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Приюляк Є.В.,

*студент гр. 136С-23-1м,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Stoianov O.M.,

*PhD (Engineering),
LLC “Technical university
“Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Стоянов О.М.,

*к.т.н.,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Malii Kh.V.,

*PhD (Engineering),
LLC “Technical university
“Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Малій Х.В.,

*к.т.н.,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Зносостійкість вогнетривів – це сукупність експлуатаційної надійності та довговічності вогнетривких матеріалів, виробів та їх

конструкцій, що обумовлена здатністю протистояти впливу руйнуючих факторів у процесі служби у теплових агрегатах.

Зносостійкість підрозділяється на структурну, гарнісажну та термодинамічну [1]. Структурна зносостійкість – знос вогнетривів при зміні їх структури, фазового та хімічного складу. Існує 8 основних видів зносу периклазовуглецевих вогнетривів.

Шлакороз'їдання: приблизно 70% усіх вогнетривів руйнуються хімічним шляхом – корозією, тобто розчиненням у результаті взаємодії з кородіентами такими як, шлаки, металевими та іншими розплавами, пилом, газами тощо. Тому підвищення хімічної зносостійкості вогнетривів є основним, вирішальним напрямком підвищення стійкості футеровки [2].

Термічне сколювання: приблизно 20% усіх вогнетривів руйнуються сколами в наслідок виникаючих в них термічних напруг при коливанні температурних режимів експлуатації. При цьому визначаючими знос вогнетривів є структурні фактори.

Структурне розміщення: руйнування вогнетривів при поліморфному перетворенні фаз, їх розширення при нагріванні, що призводить до розрихлення структури. Основний напрямок підвищення зносостійкості – термічна стабільність та об'ємостабільність фазового складу вогнетривів.

Оплавлення: перехід вогнетривів з твердого стану у рідкий, що виникає при нагріванні вогнетривів вище температури їх розм'якшення або вогнетривкості. Основний напрямок попередження цього виду зносу – використання висовогнетривких матеріалів з мінімальним вмістом домішок.

Піропластична деформація: при високих температурах служби вогнетриви переходять у піропластичний стан. Він зазвичай починається при температурі, величина якої складає 0,5-0,7 температури плавлення матеріалів.

Розплавна ерозія: механічна руйнація вогнетривів розплавами, що рухаються. Напрямок запобігання – формування щільної структури з розвиненим кристалічним зростком високо твердих матеріалів (карбідів, нітридів тощо), а також створення спеціальних покриттів.

Газова ерозія: руйнація вогнетривів у газових середовищах та у вакуумі внаслідок сублімації сполук. Головний напрямок зниження швидкості даного зносу – формування газощільної структури та використання термодинамічно-стійких сполук.

Механічне руйнування: знос вогнетривів під впливом рухомих твердих продуктів нагріву.

В процесі служби під впливом градієнтів концентрації компонентів агресивних середовищ та температури у вогнетривах формуються 5 структурно-генетичних вторинних зон, які розміщені від найменшої до максимальної температури служби [3]:

- найменш змінена, перекристалізаційна;
- перехідна, розуцільнена, десольватаційна (процес розуцільнення);
- спечена, інфільтраційна (процес спікання);
- робоча, метасоматична (процес масообміну);
- шлакова, окислювально-відновлювальна (процес кородування).

Гарнісажна зносостійкість: знос вогнетривів у залежності від насичення їх масою та енергією з оточуючого середовища з формуванням на поверхні високозносостійкого гарнісажного шару. Гарнісажна зносостійкість вогнетривів може бути підвищена зокрема створенню у вогнетривах фазового складу і структури, які будуть сприяти формуванню гарнісажу: утворення з шлаком високовогнетривких сполук, формування пор з мінімальним діаметром, застосування волокон тощо.

Термодинамічна зносостійкість: знос вогнетривів в залежності від регулювання процесів масо– та теплопереносу шляхом зміни термодинамічних градієнтів.

Оскільки, при експлуатації сталерозливних ковшів з периклазовуглецевою футеровкою лімітуючою ланкою є швидкість зносу вогнетривів шлакового поясу, то доцільно приймати заходи щодо зменшення його руйнування. Це завдання реалізується за рахунок оптимізації режимів продувки сталі нейтральним газом (аргоном), та присадкою допоміжних матеріалів для стабілізації піни та підтримки її стабільного об'єму на протязі усієї обробки металу.

Перелік використаних джерел

1. Naruse I. Trends of steelmaking refractories. Transactions of the Iron and Steel Institute of Japan. 1984. v.24. № 10. p.783-798.
2. Бойченко Б. М., Охотський В. Б., Харлашин П. С. Конвертерне виробництво сталі: теорія, технологія, якість сталі, конструкція агрегатів, рециркуляція матеріалів і екологія : підручник для студ. вищ. техн. навч. закладів, які навчаються за спец. "Металургія чорних металів". Дніпропетровськ : ПВА „Дніпро-ВАЛ”, 2004. 454 с.
3. Jamaguchi A. Eahoviors of SiC fnd Al Adden to Carbon. Containing Refractories. –Taikabutsu overseas. 1984. v.4. №3. p.14-18.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-16>

DEVELOPMENT OF CHARGE FORMATION TECHNOLOGY FOR SMELTING REFRACTORY MULITE-SILICA MATERIAL

РОЗВИТОК ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМУВАННЯ ШИХТИ ДЛЯ ВИПЛАВЛЕННЯ ВОГNETРИВКОГО МУЛІТОКРЕМНЕЗЕМИСТОГО МАТЕРІАЛУ

Mazur V.V.,
*Deputy Director,
Sinelnikivska Thermal Insulation
LLC (SINTIZ LLC), Sinelnikove,
Dnipro region, Ukraine*

Mazur V.V.,
*заступник директора, ТОВ
«Синельниківська теплоізоляція»
(ТОВ «СИНТИЗ»), м. Синельникове,
Дніпропетровська область, Україна*

Показано, що використання енергозберігаючих технологій в металургії, енергетиці, хімічній промисловості, інших галузях виробництва є актуальною для України задачею на нинішньому етапі відновлення її науково-технічного потенціалу. В даний час на машинобудівних підприємствах, електростанціях, об'єктах енергетики тощо здійснюються поточні й капітальні ремонти, модернізація, реконструкція обладнання, в тому числі з метою економії тепла і енергетичних ресурсів. Перспективним напрямом розвитку тепло- і енергозбереження є втілення у виробництво інноваційних рішень щодо застосування у промислових масштабах високотемпературної теплоізоляції із мулітокремнеземистих волокон, спроможної витримувати температуру до 1600 °С [1].

Можливість застосування таких вогнетривів в металургійних агрегатах, які експлуатуються при високих температурах, забезпечуються, передусім, складом шихти для виплавлення вогнетривкого мулітокремнеземистого матеріалу. Розроблено ефективні технічні і технологічні рішення щодо удосконалення виробництва, а саме технології виплавлення вогнетривкого мулітокремнеземистого матеріалу. Обґрунтовано застосування у складі шихти для виготовлення цього матеріалу звороту власного виробництва (закам'янілих проливів розплаву SiO_2 і Al_2O_3 , відходів, браку вогнетривкових плит МКРГ і ШПГТ тощо) масовою часткою до 30 %. Стосовно запланованої модернізації Синельниківського заводу «СИНТИЗ» розроблено технологію і комплекс обладнання, необхідних для підготовки звороту до використання у складі шихти.

Перелік використаних джерел

1. Мазур В.В. Розвиток технології виробництва теплоізоляційних матеріалів для використання в металургії та машинобудуванні. Метал та лиття України. 2023. Т. 31. № 4. С. 21–25.

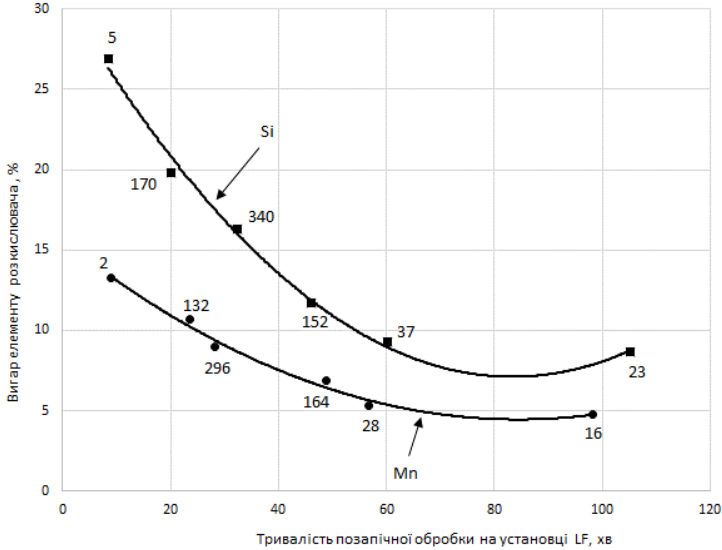
DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-17>

**INVESTIGATION OF MANGANESE AND SILICON OXIDATION
LOSSES IN THE PROCESSING OF BALANCED STEEL
AT THE “LADLE-FURNACE”****ДОСЛІДЖЕННЯ ВИГАРУ МАРГАНЦЮ ТА КРЕМНІЮ
ПРИ ОБРОБЦІ НАПІВСПОКІЙНОЇ СТАЛІ
НА УСТАНОВЦІ «КІВШ-ПІЧ»****Mameshyn V.S.,***PhD (Engineering),**Associate Professor, LLC “Technical
university “Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine***Мамешин В.С.,***к.т.н., доцент,**ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна***Verprik O.O.,***Student (group 136S-23-1m),**LLC “Technical university
“Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine***Вєпрік О.О.,***студент гр. 136С-23-1м,**ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

У сталеплавильному виробництві введення феросплавів у рідкий метал є однією з відповідальних операцій фінішної обробки металу. Не дивлячись на відносно невеликі питомі витрати феросплавів на розкислення та легування (на 1т. вуглецевій сталі – 8-12кг/т), витрата феросплавів відіграє значну роль в собівартості сталі, що пов'язано з їх високою ціною, тому питанням визначення факторів, що впливають на виграє феросплавів завжди викликали зацікавленість у металургів [1, 2].

У відповідності з загальноприйнятою практикою, розкислення та легування напівспокійних марок сталі здійснюється на випуску плавки з сталеплавильного агрегату, а кінцеве корегування хімічного складу сталі здійснюється на установці ківш-піч.

Одним з факторів, що може впливати на вигар феросплавів при обробці сталі на установці ківш-піч є час проведення обробки сталі, залежності вигару елементів розкислювачів від часу обробки наведено на рис. 1.



Цифри біля точок кількість плавків у відповідному інтервалі

Рис. 1. Залежність вигару елементів розкислювачів від тривалості обробки сталі на агрегаті ківш-піч

Залежність вигару елементів розкислювачів від тривалості обробки сталі на агрегаті ківш-піч має вигляд:

$$Y_{Mn}^{LF} = 0,0016 \cdot \tau_{обр}^2 - 0,2632 \cdot \tau_{обр} + 15,571 \quad (1)$$

$$Y_{Si}^{LF} = 0,0034 \cdot \tau_{обр}^2 - 0,5706 \cdot \tau_{обр} + 30,885 \quad (2)$$

Як бачимо з рис.1 при короткому часі обробки (менш 20 хв) вигар елементів є достатньо високим і може сягати 30% для кремнію та 15% для марганцю. З підвищенням часу обробки сталі вигар елементів починає зменшуватися, й при тривалості обробки металу більш 60 годин

стає практично стабільним. Такий вигляд залежностей пов'язаний з особливостями технології обробки сталі на установці ківш піч на який за рахунок розвитку високих температур у зоні горіння електричних дуг виникає можливість розвитку відновлення оксидів з шлаку до металу, й при тривалій витримці металу у ковшій реакції окислення та відновлення марганцю та кремнію наближаються до рівноваги.

Перелік використаних джерел

1. Бойченко Б.М., Охотський В.Б., Харлашин П.С. Конвертерне виробництво сталі: теорія, технологія, якість сталі, конструкції агрегатів, рециркуляція матеріалів і екологія Дніпропетровськ: Дніпро-ВАЛ, 2004. 454 с.

2. Величко О. Г., Стоянов О.М., Бойченко Б.М., Нізяєв К.Г. «Технології підвищення якості сталі»: Підручник. Дніпропетровськ: Сердняк Т.К., 2016. 196 с.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-18>

INFLUENCE OF CHANGES IN THE STRUCTURE OF THE METAL CHARGE ON LIME CONSUMPTION

ВПЛИВ ЗМІНИ СТРУКТУРИ МЕТАЛЕВОЇ ШИХТИ НА ВИТРАТУ ВАПНА

Mameshyn V.S.,

*PhD (Engineering),
Associate Professor, LLC "Technical
university "Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Мамешин В.С.,

*к.т.н., доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Parhomenko O.A.,

*Student (group 136S-23-1m),
LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Пархоменко О.А.,

*студент гр. 136С-23-1м,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

За фізичним станом компонентів металошихту киснево-конверторного процесу можливо поділити на дві частини рідку та

тверду. Додавання твердої частини металозавалки переслідує декілька основних завдань:

- по-перше, вона є охолоджувачем який дозволяє забезпечити нормальну температуру сталі в кінці продування (1580-1650°C);
- по-друге, виконує роль додаткового джерела заліза, яке замінює частину більш дорого рідкого чавуну [1].

Джерелами формування твердої частини металозавалки можуть виступати різні матеріали, наприклад, металобрухт (оборотний, амортизаційний, відходи металообробки), тверді окислювачі (залізняк, окалину, агломерат, окатиші), або металева і металовмісна вторинна сировина (залізомістячі брикети, скрап та інші). Найбільш якісною вважається металозавалка сформована металобрухтом, особливо коли це відходи власного металургійного виробництва (оборотний металобрухт).

Однак, в даний час, в сталеплавильному виробництві спостерігається стійка тенденція по збереженню дефіциту якісного металобрухту, що відбувається внаслідок скорочення поставань з металообробних галузей, зменшення амортизаційної і власного брухту.

Дані обставини призвели до спроб використання в металургійній промисловості власних, таких, що раніше мали малий попит, ресурсів – шлакових відвалів. Шлакові відвали є власними відходами металургійних виробництв, що накопичені впродовж декількох десятків років і комплексно не переробляються [2]. Кількість металовмісних матеріалів, що знаходяться в них, значна, оскільки по раніше використовуваним технологіям виробництва чорних металів вміст заліза в шлаках сталеплавильного переділу складав до 20%, доменного – до 5%. Основним компонентом шлаків при цьому є металовмісний матеріал – скрап.

Скрап – це зашлаковані відходи чорних металів, що утворилися під час випуску з плавильних агрегатів, транспортування і розливання чавуну і сталі, а також втрат металу з шлаком.

Таким чином скрап окрім металевої складової, зазвичай ще містить й певну кількість шлаку (до 40%), тому його використання може впливати на витрату шлакоутворюючих матеріалів.

Залежність загальної витрати вапна від відсотка вмісту скрапу у металобрухті показана на рис. 1.

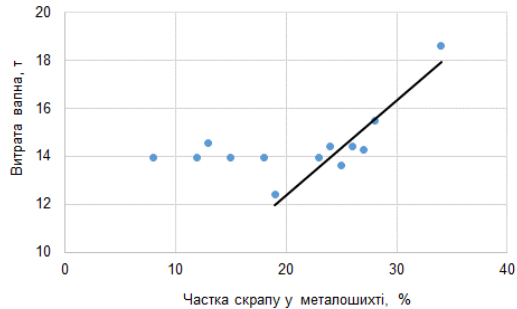


Рис. 1. Залежність загальної витрати вапна від відсотка вмісту скрапу шлакових відвалів в загальному об'ємі металобрухту

У масиві плавок, що досліджувався витрата вапна на плавку коливалася у діапазоні від 12 до 19т.

Як бачимо при частці скрапу у брухті менш 18%, що відповідає витраті скрапу на плавку в межах до 8 – 10т, витрата вапна практично не змінювалася і складала біля 14т на плавку.

При витраті скрапу понад 18% від маси брухту кількість вапна на плавку лінійно зростає приблизно, на 0,5т на 1т скрапу, що описується рівнянням регресії:

$$M_{\text{вап}} = 0,3973 \cdot Q_{\text{скр}} + 4,4163 \quad R^2 = 0.896$$

де – $Q_{\text{скр}}$ вміст скрапу у металошихті, %.

Такий характер залежності показує, що при вмісті скрапу у загальному об'ємі металобрухту до 18% необхідності корегувати витрату вапна на плавку не виникає й її можна залишати практично постійною. При подальшому зростанні вмісту скрапу у об'ємі металобрухту спостерігається збільшення витрати вапна, що пов'язано, зі збільшенням маси шлаку за рахунок скрапу й відповідно необхідності додаткового корегування основності шлаку за рахунок підвищення витрати вапна .

Перелік використаних джерел

1. Бойченко Б.М., Охотський В.Б., Харлашин П.С. Конвертерне виробництво сталі: теорія, технологія, якість сталі, конструкції агрегатів, рециркуляція матеріалів і екологія Дніпропетровськ: Дніпро-ВАЛ, 2004. 454 с.

2. Сігарьов Є.М. Технології ресурсозбереження в металургії (Частина 1): навчальні посібник / Є.М. Сігарьов, О.А. Чубіна. Кам'янське : ДДТУ, 2021. 240 с.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-19>

**MANUFACTURING TECHNOLOGY
AND MECHANICAL PROPERTIES OF DEFORMABLE ALLOYS
OF THE Al-Mg SYSTEM**

**ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТА МЕХАНІЧНІ
ВЛАСТИВОСТІ СПЛАВІВ СИСТЕМИ Al-Mg,
ЩО ДЕФОРМУЮТЬСЯ**

Muzyka O.O.,

*Junior Researcher,
Frantsevich Institute of Materials
Science Problems of the National
Academy of Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine*

Музыка О.О.,

*м.н.с., Інститут проблем
матеріалознавства імені
І.М. Францевича Національної
академії наук України,
м. Київ, Україна*

Zacharova N.P.,

*PhD (Physics and Mathematics),
Frantsevich Institute of Materials
Science Problems of the National
Academy of Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine*

Захарова Н.П.,

*к.ф.-м.н., Інститут проблем
матеріалознавства імені
І.М. Францевича Національної
академії наук України,
м. Київ, Україна*

Poperenko T.V.,

*Chief Tech.,
Frantsevich Institute of Materials
Science Problems of the National
Academy of Sciences
of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

Поперенко Т.В.,

*гол. тех., Інститут проблем
матеріалознавства
імені І.М. Францевича
Національної академії наук України,
м. Київ, Україна*

Iefimov M.O.,

*Ph.D, Senior Scientist,
Frantsevich Institute of Materials
Science Problems of the National
Academy of Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine*

Єфімов М.О.,

*к.ф.-м.н., Інститут проблем
матеріалознавства імені
І.М. Францевича Національної
академії наук України,
м. Київ, Україна*

Сплави алюмінію, що деформуються, широко використовують в сучасній техніці. Основна вада промислових високоміцних ливарних сплавів – це низькі ливарні властивості, тому створення нових сплавів, в яких поєднуються високі механічні та ливарні властивості, є дуже актуальним.

В роботі вивчали вплив легування та видів термічної та термомеханічної обробки на механічні властивості високоміцних

сплавів алюмінію, що деформуються, серії 5XXX. Сплави легували скандієм, марганцем, цирконієм, церієм, ніобієм та іншими рідкісноземельними та перехідними металами.

Плавильне обладнання складається з печі для розплавлення металу, мідного кристалізатору, що охолоджується проточною водою, чавунної прибуткової частини, графітового приймача, різних устаткувань для здійснення розливу (поворотне устаткування, електромотори, тощо).

Згідно роботи [1] при витримці впродовж при 0,5-1 год перегрітого до 760-800 °С розплаву підвищується ступінь його гомогенності завдяки розчиненню первинних інтерметалідів, які входять до складу шихти. При виливанні розплаву у мідний кристалізатор, в якому забезпечується обов'язкове інтенсивне охолодження зливку водою, забезпечується швидкість охолодження розплаву в інтервалі температур кристалізації, що дозволяє зафіксувати скандій і цирконій в пересиченому твердому розчині, який розпадається при відпалі зливку при 360-380 °С впродовж 3-8 год з утворенням дисперсних вторинних когерентних частинок фази $Al_3(Sc,Zr)$ з розміром 5-10 нм, які стримують зростання зерен при підвищених температурах.

Виготовлення штаб зі злиwkів вагою 20 кг провадилось на горизонтальному пресі, що розвиває зусилля 2250 Т.

В роботі показано, що при екструзії злиwkів сплавів Al-5Mg – (Sc, рідкісноземельні метали, перехідні метали) в інтервалі температур 300–350°C в напівфабрикатах формується комірчаста структура. Легування базового складу 0,3 мас. % Sc призводить до формування дислокаційних комірок з розміром 0,4-0,5 мкм (рис. 1).

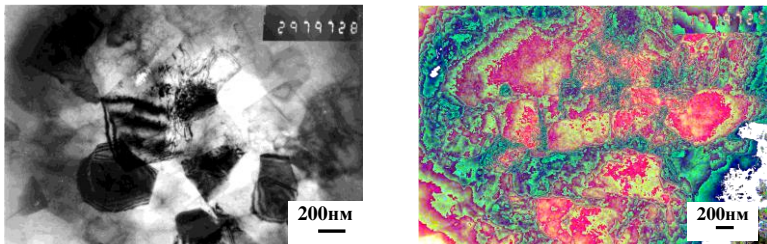


Рис. 1. Структура прутків сплаву 5.4 (Al-5Mg-0,3Sc-0,15Zr), ПЕМ дослідження

Дослідні сплави мають характеристики міцності, на 17 – 47% вищі за характеристики стандартних сплавів типу АМг без скандію при збереженні задовільної пластичності. Додавання до складу дослідних сплавів Се та Nb дозволяє збільшити характеристики міцності. Відпал

300⁰C напівфабрикатів з цих сплавів підвищує характеристики міцності за рахунок подальшого виділення когерентних з алюмінієвою матрицею інтерметалідів типу Al₃Sc.

Найбільші характеристики міцності та пластичності мають прутки зі сплаву складу Al – 5Mg – 0,68Mn – 0,34Sc – 0,25Zr – 0,18Nb ($\sigma_{0,2} = 435$ МПа; $\sigma_b = 516$ МПа; $\delta = 11\%$). Дослідження структури методом ПЕМ довели, що екструдовані прутки цього складу мають найбільш дрібну та рівномірну субструктуру.

Перелік використаних джерел

1. Високоміцні корозійностійкі сплави алюмінію / Ю.В. Мільман, О.І. Сірко / V Міжнародна Конференція «Проблеми корозії та антикорозійний захист конструкційних матеріалів». Львів, 2000. С. 554-558.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-20>

USE OF GRAPHITE PLAST BUSHES AS DETAILS OF PISTON COMPRESSION UNITS

ВИКОРИСТАННЯ ВТУЛОК З ГРАФІТОПЛАСТУ В ЯКОСТІ ДЕТАЛЕЙ ПОРШНЕВИХ КОМПРЕСІЙНИХ УСТАНОВОК

Naberezhna O.O.,

*PhD (Engineering),
Dniprovsk State Technical University,
Kamianske, Ukraine*

Набережна О.О.,

*к.т.н., Дніпровський державний
технічний університет,
м. Кам'янське, Україна*

Golovko S.I.,

*assistant,
Dniprovsk State Technical University,
Kamianske, Ukraine*

Головко С.І.,

*асистент кафедри фізики
конденсованого стану,
Дніпровський державний технічний
університет, м. Кам'янське, Україна*

Dusha D.S.,

*Student FIA-23-1d,
Dniprovsk State Technical University,
Kamianske, Ukraine*

Душа Д.С.,

*студент ФІА-23– 1д, Дніпровський
державний технічний університет,
м. Кам'янське, Україна*

На сьогоднішній день пластики широко використовуються для виготовлення різноманітних технічних виробів, починаючи від малих компонентів і закінчуючи великими агрегатами. Їх застосовують для створення деталей автомобілів, підшипників для важкого обладнання, корпусів транспортних засобів, хімічного обладнання, яке за стійкістю

може перевершувати навіть дорогоцінні метали. Для поліпшення властивостей, таких як твердість, міцність та термостійкість, до складу пластикових матеріалів додають різноманітні наповнювачі.

Зокрема, додавання графіту забезпечує пластикам високу термостійкість та хімічну інертність, хоча й має обмеження в теплофізичних властивостях. Термостійкість таких графітових пластиків залежить від матриці, коливаючись в межах 343-573 К.

Ця наукова робота зосереджена на розробці термостійких графітопластів на базі фенілону з подальшим дослідженням їх теплофізичних властивостей. В якості сполучного матеріалу було обрано термостійкий поліамід фенілон С-2, який поєднувався з графітом у певному масовому співвідношенні. Виготовлення композицій здійснювалося методом сухого змішування в електромагнітному полі, де компоненти змішувалися за рахунок руху феромагнітних часток, а останні згодом видалялися магнітною сепарацією. Після змішування отримані зразки формували методом компресійного пресування.

Важливим завданням також стало вивчення теплофізичних характеристик створених матеріалів. Для дослідження термостатичних властивостей, таких як температурний коефіцієнт лінійного розширення (ТКЛР), використовували дилатометр у температурному діапазоні 293–1173 К. Середній показник ТКЛР розраховувався за встановленою методикою відповідно до стандартів.

Термічний коефіцієнт лінійного розширення показав цікаву динаміку (табл.1): з підвищенням концентрації графіту в матеріалі до 20% зростали значення ТКЛР в інтервалі 298–373 К, після чого при збільшенні температури до 450 К спостерігалось зменшення ТКЛР на 23-30%, що вказує на мінімальну усадку виробів.

Таблиця 1

Термічний коефіцієнт лінійного розширення і температура склування фенілону та композитів на його основі

Наповнювач, мас. %	$\alpha \times 10^{-6}, \text{K}^{-1}$					Темп. склування, К
	Діапазон температур, К					
	298 – 323	323- 373	373- 423	423- 473	473- 523	
-	26,42	35,57	37,64	43,57	48,70	543
Графітопласти						
10	28,35	48,46	38,54	29,47	33,58	531
15	32,31	44,42	32,51	34,43	25,60	523
20	32,28	40,39	38,46	25,42	21,60	473

Дослідження також виявило, що температура склування фенілону С-2 становить 543 К, а додавання графіту впливає на це значення. Після оцінки результатів було виготовлено експериментальні втулки для поршневих компресійних установок 4ГМ10 – 4/46С, вони відпрацювали протягом 986 годин. За час випробувань зауважень до експлуатації не було, експериментальні деталі мають кращі експлуатаційні характеристики, теплостійкість і міцність перевищують відомі полімерні аналоги. Під час перевірки технічного стану встановлено, що деталі з графітопласту мають незначне зношування, яке знаходиться в допустимих межах. У зв'язку з технічною придатністю до експлуатації експериментальні втулки рекомендовані до продовження досліджень.

На основі отриманих результатів, графітопласти на базі фенілону С-2 можуть слугувати ефективними матеріалами для використання у складних технічних умовах, де потрібна підвищена термостійкість та зносостійкість.

Перелік використаних джерел

1. Oliveux G., Dandy L.O., Leeke G.A. Поточний стан переробки армованих волокнами полімерів: огляд технологій, повторного використання та кінцевих властивостей // *Progress in Materials Science*, 2015, Vol. 72, С. 61–99.
2. Karger-Kocsis J., Barany T. Single-polymer composites (SPCs): Status and future trends. *Composite Science and Technology*, 2014, Vol. 92, С. 77–94.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-21>

WAYS OF DEVELOPMENT OF THE METALLURGICAL COMPLEX OF UKRAINE IN MODERN CONDITIONS

ШЛЯХИ РОЗВИТКУ МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМПЛЕКСУ УКРАЇНИ В СУЧАСНИХ УМОВАХ

Navolniev I.Yu.,

*Head of Internal service Department,
METINVEST HOLDING, LLC,
Kyiv, Ukraine*

Навольнєв І.Ю.,

*начальник управління ВБ,
ТОВ "МЕТІНВЕСТ ХОЛДІНГ",
м. Київ, Україна*

До нещодавно Україна була одним з найпотужніших гравців в світі виробників металу та металопродукції. Згідно статистики: в докризовому 2007 рік України виробила 42830 тис. тон сталі [1] й займала 8-е місце в рейтингу виробників сталі світу. При цьому, доля нашого виробництва складала приблизно 7,4% від всього світового виробництва сталі.

Саме 2007 рік став видатним роком для українського металургійного комплексу. В цьому році металургійна промисловість забезпечувала 20% ВВП України та 40 % валютних надходжень. Крім того, відбулися наступні події: пік модернізації одного з найстаріших підприємств чорної металургії східної частини України – Алчевського металургійного комбінату. Виконано комплекс капітально-відновлювальних ремонтних робіт ДП № 1 об'ємом 3000 м³, зі збільшенням добового виробництва до 6000 тон чавуну, установка МНЛЗ та модернізація КЦ. Загалом сума інвестиції складала приблизно \$1.5 млрд. Капітальний ремонт ДП №5 на ЄМЗ Групи МЕТІНВЕСТ, яка стала найсучаснішою в Україні на той час. Піч була оснащена комбінованою системою охолодження, що підвищило її ефективність і продуктивність. Компанія Ferrexpo стала першою українською компанією, яка провела IPO на Лондонській фондовій біржі, що стало значним кроком для українського бізнесу на міжнародній арені.

Саме в 2007 році, відбулося підписання інноваційно-проривної угоди між Інгулецьким ГЗК японською компанією Kobe Steel на впровадження передової технології ITmk3. Використання цієї технології дозволяв би виробляти залізні гранули (iron nuggets) з залізородного концентрату та вугілля при відносно низьких температурах [2]. Сам же процес ITmk3 включає в себе агломерацію, відновлення, карбюризацию (Carburizing –

абсорбція та дифузія вуглецю в твердих сталевих сплавах, шляхом нагріву до температури звичайно вище Ас3, в контакт з відповідним вуглецевмісним матеріалом. При цементзації виникає градієнт вуглецю, який поширюється вглиб від поверхні, що дозволяє поверхневому слою придбати твердість після охолодження безпосередньо з температури карбюрзації в печі або на повітрі при кімнатній температурі з наступною повторною аустенізацією загартування [3]) та плавлення заліза, а також відокремлення шлаку [4].

При цьому саме 2007 рік й став «чорним лебедем» для світової економіки та, зокрема, для металургійного комплексу. Ця подія, також відома, як Велика рецесія, дуже позначилась на Україні. Скорочення виробництва сталі в 2008 році сягнуло приблизно 12,96%, в 2009 році – вже складало 19,91%. [5] Але ж на зважаючи на це, металургія України продовжувала свій розвиток. Так, наприклад: в 2012 році на Запоріжсталь почалась масштабна реконструкція доменних печей та коксових батарей. В 2016 році була введена в експлуатацію нова аглофабрика. На АМКР завершена модернізація доменної печі № 9, а в 2015 році введено в експлуатацію нову МБЛЗ. Проводились значні роботи по модернізації роботи меткомбінатів Маріупольського кластера Групи МЕТІНВЕСТ.

Початок повномасштабної війни на території України прямо пропорційно відобразився й на стані справ у металургійній промисловості. Так, якщо в період з 2006 до 2013 року – металургійні підприємства України виробляли більш ніж 30 млн т сталі на рік, і потім ця цифра дещо знизилась до меж 20 млн т на рік, то у 2022 році ця цифра склала приблизно 6,3 млн тон . У 2023 році – 6,5 млн тон. У 2024 же – вже 5,27 млн тон (за перші 8 місяців року, зростання на 30,7% у порівнянні з аналогічним періодом 2023 року). І якщо у 2021 році Україна посідала 14 місце в рейтингу світових виробників сталі, то в 2024 році – це 20 місце. І це дуже гарний результат в порівнянні з 25 місцем у 2022 році [6].

Але ж будемо гранично чесними з собою: наявних діючих потужностей в Україні не достатньо для того, щоб не те що вийти в лідери виробництва, а й повернути втрачені позиції. І все ж таки надія є, й не просто надія, а реальний шлях перемоги – це звернення уваги на новітні перспективні напрямки розвитку металургійного комплексу. Для цього необхідно розглянути сучасний стан і тенденції світового виробництва сталі. Найперспективнішими напрямками розвитку чорної металургії в майбутньому розглядаються технології з виробництва заліза прямого відновлення, в основному, у вигляді металізованих

окатишів DRI (Direct Reduced Iron) і гарячебрикетованого заліза HBI (Hot Briquetted Iron).

Металізовані залізорудні окатиші, або залізо прямого відновлення (DRI), відіграють все більш важливу роль у розвитку світової сталеплавильної промисловості. Ще з 1980-х років почалося широке поширення цього процесу, коли в ГМК широке застосування отримало використання природного газу, який ідеально підходив для прямого відновлення залізної руди. Крім того, в процесі прямого відновлення заліза виявилось можливим використання продуктів газифікації вугілля, попутного газу нафтовидобутку та іншого палива-відновника. Технологічний прорив в 1990-х роках, дозволив значно знизити капіталомісткість різних процесів прямого відновлення заліза, в результаті чого стався новий стрибок у виробництві продукції DRI, який триває донині.

Відомо, що використання DRI або HBI при виплавці сталі в електродугових печах дозволяє виробляти найбільш високоякісний, чистий від шкідливих домішок метал, придатний для використання не тільки в стандартних галузях промисловості, але і також в областях, де застосовуються високі технології. В основних процесах отримання DRI-HBI досягається не тільки низький вміст сірки і фосфору (що надходять з вугілля і коксу), але і інших домішок, наприклад, кольорових металів, таких як мідь, свинець, цинк, характерних для переробки лому.

Усі ефективні методи прямого відновлення фактично використовують єдиний процес: багата залізорудна сировина (дрібний концентрат або окатиші) відновлюється спеціальною газовою сумішшю до вмісту заліза 85–90%. На сьогодні у світі широко поширена технологія компанії Midrex, що складається з доподібнення і огрудковування вихідної руди з подальшим зміцнювальним випалом окислених окатишів і складає 60% від загального виробництва заліза прямого відновлення в світі. Але ж відразу виникає питання: якщо цей напрям та технологія такі перспективні, то чому їх масштабування на світовій карті промислових процесів такий незначний?

І відповідь знаходиться швидко – недоліки.

Прямовідновлене залізо (DRI) має кілька недоліків у металургії:

1. Висока окислюваність: DRI схильне до окислення під час транспортування та зберігання, що може призвести до втрат якості та маси.

2. Неметалеві включення: У DRI містяться неметалеві компоненти, які можуть негативно впливати на техніко-економічні показники роботи печі.

3. Залежність від природного газу: Виробництво DRI вимагає значних обсягів природного газу, що обмежує його застосування в регіонах з дефіцитом цього ресурсу.

4. Високі витрати на виробництво: Процес виробництва DRI вимагає значних капітальних та енергетичних витрат, що може зробити його менш економічно вигідним порівняно з традиційними методами.

5. Обмежений ринок збуту: Через вищезазначені фактори, DRI використовується переважно в країнах з доступом до дешевого природного газу та залізної руди, що обмежує його глобальне поширення, виходячи з логістичної складової.

Таким чином, знайшовши перспективні шлях подальшого розвитку металургійного комплексу України, стає наступне питання – оптимізація наявного процесу й отримання конкурентної переваги.

Перелік використаних джерел

1. Bibliothek der Friedrich-Ebert-Stiftung. URL: <https://library.fes.de/pdf-files/bueros/ukraine/21380.pdf> (дата звернення: 05.11.2024).

2. ITmk 3 Process of making Iron Nuggets – IspatGuru. IspatGuru. URL: https://www.ispatguru.com/itm3-3-process-of-making-iron-nuggets/#google_vignette.

3. Ultra-deep carburizing heat treatment process – 浙江万能达炉业有限公司. 浙江万能达炉业有限公司. URL: <http://www.cxd.com/en/en/h-nd-28.html> (дата звернення: 05.11.2024).

4. Upakare R., Tupe S., Tilak A., Thosar A. An Overview on ITmk3 (Iron-making Technology mark three) Process. International Journal for Research in Engineering Application & Management (IJREAM). 2018. Vol. 04, Special Issue AMET-2018. P. 141–143. DOI: 10.18231/2454-9150.2018.1417.

5. DSpace Repository : Electronic Kyiv-Mohyla Academy Institutional Repository. URL: <https://ekmair.ukma.edu.ua/server/api/core/bitstreams/105de107-0777-4fb7-824b-5d079bab9752/content>.

6. Україна повернулася до двадцятки найбільших виробників сталі у світі. LIGA. URL: <https://biz.liga.net/ua/ekonomika/all/novosti/ukraina-povernulas-do-dvadtsiatky-naibilshykh-vyrobnykiv-stali-u-sviti>.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-22>

APPLICATION OF VARIABLE DESIGNS OF TOP-BLOWING LANCES DURING THE CONVERTER LIFE

ЗАСТОСУВАННЯ ВАРІАТИВНИХ КОНСТРУКЦІЙ КИСНЕВИХ ФУРМ НА ПРОТЯЗІ КАМПАНІЇ КОНВЕРТОРА

Niziaiev K.H.,

*DSc (Engineering), Professor,
LLC “Technical university
“Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Нізяєв К.Г.,

*д.т.н., професор,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Husak M.H.,

*Student 136C-23-1m,
LLC “Technical university
“Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Гусак М.Г.,

*студент гр. 136C-23-1м,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Synehin Ye.V.,

*PhD (Engineering),
Associate Professor, LLC “Technical
university “Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Синегін Є.В.,

*к.т.н., доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

На даному етапі розвитку металургійної промисловості, вогнетривкої промисловості, винайдено вогнетриви які забезпечують компанію роботи конвертера по футеровці 3-6 тисяч плавок і більше [1]. За цей час роботи внутрішня геометрія конвертера останнього суттєво змінюється.

Для умов роботи 250-т конвертера, розрахунковим шляхом, встановлено, що діаметр ванни під час кампанії збільшується на ≈ 1000 мм, а глибина ванни зменшується на ≈ 250 мм. У той же час параметри реакційної зони залишаються постійними, що не забезпечує ефективною взаємодії кисневого струменя з рідкою ванною.

Розраховані конструктивні параметри верхньої кисневої фурми, з урахуванням зносу футеровки конвертера, для роботи в першій та другій половині кампанії конвертера, які забезпечують отримання оптимальних показників. Результати наведені в табл. 1.

Параметри верхньої кисневої фурми

Період кампанії	Кількість сопел, шт.	Кут нахилу сопла до вертикалі, °	Параметри сопла		
			вихідний діаметр, мм	критичний діаметр, мм	довжина дифузора, мм
Перша половина	5	14	59	41	130
Друга половина	5	16	59	39	140

Перелік використаних джерел

1. Конвертерне виробництво сталі / Б.М. Бойченко, В.Б. Охотський, П.С. Харлашин, Дніпропетровськ. 2004. 453 с.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-23>

STUDY OF THE INFLUENCE OF METAL “OVERBLOWING” IN BOF ON ITS TECHNOLOGICAL PERFORMANCE INDICATORS

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ «ПЕРЕДУВУ» МЕТАЛУ В КОНВЕРТЕРІ НА ТЕХНОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ РОБОТИ КОНВЕРТОРА

Niziaiev K.H.,

*DSc (Engineering), Professor,
LLC “Technical university
“Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Нізяєв К.Г.,

*д.т.н., професор,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Zelenyi Yu.A.,

*Student 136C-23-1m,
LLC “Technical university
“Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Зелений Ю.А.,

*студент гр. 136С-23-1м,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Synehin Ye.V.,

*PhD (Engineering), Associate
Professor, LLC “Technical university
“Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Синегін Є.В.,

*к.т.н., доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

З метою оцінки доцільності технології передуву металу в конвертері, шляхом статистичного аналізу плавок валового виробництва, за

допомогою графічного методу, виконані обробка результатів промислових плавок та проведено моделювання конвертерної плавки на ПЕОМ по програмі «Konverter».

Встановлено, що при вмісті вуглецю на повалці конвертера 0,03 % вміст $Fe_{\text{заг}}$ в шлаці підвищується до значення 21–22 %. При цьому додаткові втрати заліза можуть складати до 1,5–2,0 т, що в грошовому еквіваленті складає близько 250–300 USD.

Встановлено, що підвищення вмісту в шлаку $FeO_{\text{заг}}$ до значення 28–29% призводить до підвищення ступеню зносу футеровки та зниження тривалості роботи конвертера за кампанію приблизно на 400 плавок.

Результатами моделювання показано, що:

- підвищення вмісту кремнію в чавуні з 0,6 % до 0,8 % знижує витрати чавуну на 11 кг/т сталі;
- підвищення температури чавуну на 20 °C знижує витрати чавуну на 8 кг/т сталі;
- підвищення ступеня допалювання CO до CO₂ в порожнині конвертера з 10 до 15% знижує витрати чавуну на 3 кг/т сталі в діапазоні, а з 20 до 25 % на 1 кг/т сталі.

Перелік використаних джерел

1. Сталеплавильне виробництво: Навч. Посібник / В.І. Баптизманський, Б. М. Бойченко, О. Г. Величко та ін. К. : ІЗМН, 1996. 400 с.
2. Конвертерне виробництво сталі / Б.М. Бойченко, В.Б. Охотський, П.С. Харлашин, Дніпропетровськ. 2004. 453 с.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-24>

**ESTIMATION OF THE BOF HEAT LOSSES
THROUGH ITS LINING**

**ОЦІНКА ВЕЛИЧИНИ ТЕПЛОВИХ ВТРАТ
КИСНЕВОГО КОНВЕРТЕРА ЧЕРЕЗ ЙОГО ФУТЕРІВКУ**

Niziaiev K.H.,

*DSc (Engineering), Professor,
LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Нізяєв К.Г.,

*д.т.н., професор,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Synehin Ye.V.,

*PhD (Engineering),
Associate Professor, LLC "Technical
university "Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Синегін Є.В.,

*к.т.н., доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Trybushnoi V.O.,

*Student (group 136C-23-1m),
LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Трибушной В.О.,

*студент гр. 136C-23-1м,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Husak M.H.,

*Student (group 136C-23-1m),
LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Гусак М.Г.,

*студент гр. 136C-23-1м,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Значна частка теплових втрат конвертера (за даними [1] близько 5%) залежить від ступеня зносу його вогнетривкої футеровки. Зміна товщини футерівки внаслідок зносу знижує її тепловий опір, збільшуючи теплові втрати через кожух, а одночасне збільшення площі її внутрішньої поверхні збільшує площу теплопоглинаючої поверхні та кількість теплоти, необхідної на нагрівання верхнього шару футерівки після простою конвертера.

Для оцінки зміни питомого обсягу конвертера проведено аналіз динаміки розгару периклазовуглецевої футерівки різних виробників по ходу 8 кампаній конвертерів ємністю 60 т. Стійкість футерівки

коливалась в межах 1730...3266 плавков. Виміри розмірів робочого простору футерівки проводили при планово-профілактичних ремонтах 4...7 разів за кампанію. В результаті визначена емпірична залежність товщини δ зношеного шару футерівки від відносного періоду її експлуатації, що дозволила моделювати орієнтовний профіль робочого простору конвертера в будь-який період його кампанії відносно планового показника.

$$\delta = 985,47 \cdot \tau^{0,8481}, \text{ мм}; R^2 = 0,9056,$$

де τ – відносний період експлуатації футерівки від планової стійкості.

Для оцінки зміни площі внутрішньої поверхні футеровки та її товщини у програмі *Microsoft Excel* створено профіль футеровки конвертера, що дозволив, виходячи з діаметра кожного з вертикальних шарів кладки та з урахуванням зміни форми днища, виконати розрахунок площі її поверхні та усередненої по висоті товщини.

Для розрахунку теплових втрат конвертера використовували методику розрахунку теплопередачі через плоску багат шарову стінку при стаціонарному тепловому потоці [1,2]. За результатами розрахунку було отримано математичні моделі для описання відносних теплових втрат (до загального приходу тепла на плавку) конвертера через футерівку ΔI_{ϕ} та нагрів активного шару футерівки $\Delta I_{\text{нф}}$.

$$\Delta I_{\phi} = 0,0091e^{1,0783 \cdot \tau}, \%; R^2 = 0,9980.$$

$$\Delta I_{\text{нф}} = 0,0035\tau + 0,0087, \%; R^2 = 0,9958.$$

Із використанням розробленої узагальнюючої методики, виконано оцінку теплових втрат кисневих конвертерів ємністю 60 т. Встановлено, що в ході кампанії конвертера загальні теплові втрати конвертера збільшуються на 2,2% від приходу тепла на плавку.

Перелік використаних джерел

1. Металургія сталі. Конвертерне виробництво: теорія, технологія, якість сталі, конструкції агрегатів, рециркуляція матеріалів і екологія [Підручник. Видання 2-е перероблене і доповнене] / О.Г. Величко, Б.М. Бойченко, П.С. Харлашин, М.Є. Нехаєв [та ін.]. Дніпропетровськ: РВА «Дніпро-ВАЛ», 2015. 434 с.

2. Румянцев В.Д. Теорія тепло– та масообміну: Навчальний посібник / В.Д. Румянцев. Дніпропетровськ: Пороги, 2006. 532 с.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-25>

TECHNOLOGICAL ASPECTS OF CRANKSHAFT FORGING

ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ КУВАННЯ КОЛІНЧАСТИХ ВАЛІВ

Paliienko V.O.,

*PhD student,
National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute",
Kharkiv, Ukraine*

Палієнко В.О.,

*аспірант, Національний технічний
університет «Харківський
політехнічний інститут»,
м. Харків, Україна*

Chukhlib V.L.,

*DSc (Engineering), Professor,
National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute",
Kharkiv, Ukraine*

Чухліб В.Л.,

*д.т.н., професор,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний
інститут», м. Харків, Україна*

Колінчасті вали є важливими елементами багатьох механізмів. Дослідження кування поковок колінчастих валів актуальне через зростаючі вимоги до міцності, зносостійкості та надійності цих компонентів у сучасному машинобудуванні.

Виготовлення колінчастих валів вимагає ретельного підбору матеріалів і технологій, оскільки вони експлуатуються в складних умовах. Огляд наукових праць свідчить про значну кількість досліджень, присвячених різним аспектам кування, зокрема оптимізації технологічних параметрів, вивченню матеріалів та вдосконаленню методів контролю якості. Проте, незважаючи на це, існують невирішені питання, пов'язані з впровадженням новітніх технологій у процеси кування та їхнім впливом на характеристики готової продукції [1].

Метою цього дослідження є вивчення технології кування поковок колінчастих валів, акцентуючи увагу на оптимізації процесів і поліпшенні механічних властивостей. Завдання, що впливають з цієї мети, включають аналіз сучасних технологій кування, дослідження впливу різних матеріалів на якість продукції, розробку рекомендацій щодо оптимізації кувальних параметрів та оцінку ефективності нових технологій у виробництві.

Отже, це дослідження має на меті не лише поглибити розуміння технологічних процесів, але й внести практичний внесок у підвищення якості та ефективності виробництва колінчастих валів. У процесі вивчення кування поковок колінчастих валів використовуються різні

методи та підходи для отримання достовірних результатів і проведення всебічного аналізу технологічних процесів.

Експериментальні методи. Здійснення серії експериментів із куванням поковок, що дозволяє дослідити вплив таких параметрів, як температура, тиск і ступінь деформації на механічні властивості кінцевих виробів. Експерименти виконуються в лабораторних умовах за допомогою спеціалізованого обладнання, яке забезпечує точний контроль кування.

Комп'ютерне моделювання. Застосування програмного забезпечення для моделювання процесів кування. Це дозволяє побачити поведінку матеріалів під час кування, оцінити їх деформацію та виявити потенційні дефекти ще до фізичного виконання процесу. Моделювання сприяє оптимізації технологічних параметрів та зменшенню ризиків, пов'язаних із виробництвом [2].

Методи механічного випробування та неруйнівного контролю. Виконання стандартних механічних випробувань (розтяг, стиск, зсув) для оцінки таких характеристик, як міцність, пластичність, втомна стійкість та інші властивості отриманих поковок. Це забезпечує об'єктивну оцінку якості виробів і їх відповідності технічним вимогам.

Використання ультразвукового, рентгенівського та магнітного тестування для виявлення дефектів у структурі матеріалів поковок. Це дозволяє здійснювати контроль якості на різних етапах виробництва без пошкодження готової продукції [3].

Статистичні методи аналізу. Застосування статистичних методів для обробки експериментальних даних та оцінки впливу різних чинників на результати. Це дозволяє виділити найзначніші фактори та їх взаємозв'язки, що є важливим для подальшої оптимізації процесів [4].

Висновки. Дослідження технології кування колінчастих валів є критично важливим для сучасного машинобудування, оскільки ці компоненти забезпечують високу надійність. Зростаючі вимоги до їх характеристик вимагають оптимізації технологічних процесів. Використання сучасних методів, таких як комп'ютерне моделювання та експериментальне дослідження, дозволяє покращити якість поковок. Хоча в цій галузі є чимало досягнень, залишається ще ряд питань, які потребують подальшого дослідження для підвищення ефективності виробництва.

Перелік використаних джерел

1. Сучасні технологічні процеси виготовлення заготовок крупних деталей відповідального призначення: посібник для студентів галузі

знань 13 «Механічна інженерія» денної та заочної форм навчання / О.Є. Марков, В.В. Коткова, Н.Г. Шевченко. Краматорськ : ДДМА, 2019. 103 с. ISBN 978-966-379-907-5

2. W. Walczyk Computer Aided Design of New Forging Technology for Crank Shafts / W. Walczyk, A. Milenin, M. Pietrzyk. *Steel research int.* 82. 2011. №3. p. 187 – 194.

3. Chunli Z. Numerical Simulation of Upset-bending Forging for Heavy Crankshaft / Z. Chunli, C. Zhenshan, S. Dashan. *Advanced Materials Research.* 2013. № 773. p. 267 – 271.

4. Altan Taylan. Metal forming : fundamentals and applications / Altan Taylan, Gegel H. L, Oh, Soo-Ik. OH: American Society for Metals, Metals Park, 1983. 353 p.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-26>

EXPERIENCE IN THE EFFECTIVE USE OF NATURAL GAS IN HEATING PROCESSES OF METALLURGICAL LUCKS

ДОСВІД ЕФЕКТИВНОГО ВИКОРИСТАННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ ПРИ РОЗІГРІВАННІ МЕТАЛУРГІЙНИХ КОВШІВ

Pulypenko R.A.,

*PhD (Engineering),
Senior Researcher, Leading
Researcher, Institute of Gas
of the National Academy of Sciences
of Ukraine, Kyiv*

Пилипенко Р.А.,

*к.т.н., старший науковий
співробітник, провідний науковий
співробітник, Інститут газу
Національної академії наук України,
м. Київ, Україна*

Tsvetkov Ye.S.,

*Specialist, Institute of Gas
of the National Academy of Sciences
of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

Цвєтков Є.С.,

*спеціаліст, Інститут газу
Національної академії наук України,
м. Київ, Україна*

Melnikov R.V.,

*PhD Student, Institute of Gas
of the National Academy of Sciences
of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

Мельников Р.В.,

*аспірант, Інститут газу
Національної академії наук України,
м. Київ, Україна*

В умовах постійно зростаючого дефіциту природного газу важливою і актуальною є задача ефективного його використання у теплових технологіях різних промислових агрегатів., в тому числі при сушінні і розігріванні футерівок металургійних сталерозливних ковшів. За період

2017-2020 рік було виконано реконструкцію систем опалення 6-ти вертикальних сталерозливних 250-ти тонних ковшів меткомбінату «Запоріжсталь» з метою не тільки зменшення витрат природного газу, але й підвищення рівномірності нагрівання футерівки по висоті ковшів, особливо в їх донній частині.

Дієвими способами зменшення витрат природного газу і шкідливих викидів є: якісне повне спалювання газу в межах робочого простору ковшів; забезпечення рівномірно температурного газового середовища і його інтенсивного руху; відповідність пального обладнання теплотехнології і агрегату; використання засобів зменшення вмісту шкідливих речовин в продуктах згоряння; зменшення витрат тепла з відхідними газами; утилізація тепла відхідних газів; застосування автоматики управління процесами спалювання газу, сушіння і розігрівання.

Для вирішення цих задач в Інституті газу НАН України розроблена технологія рівномірного нагрівання великогабаритних поодиноких виробів і садок з виробів в камерних і тунельних печах, яка може бути застосована і для інтенсивного рівномірного нагрівання поверхонь футерівок в обмежених просторах металургійних ковшів. Основою цієї технології є інтенсивна рециркуляція продуктів згоряння попередньо підготовленої суміші газу з повітрям у вільному просторі агрегату. Для здійснення цієї технології розроблена і сертифікована серія швидкісних пальників ГНБ потужністю 80÷1500 кВт. Роботи з розширення потужностей серії тривають.

До проведеної модернізації в системах опалення 6-ти стендів використовувались пальники СНТ-22. Основними недоліками систем опалення були високі витрати газу (до 160 м³/год), висока тривалість процесу (до 14-ти годин), нерівномірність нагрівання футерівки, ($\Delta t = 30^\circ - 50^\circ$), недогрів донної частини ковша до заданої температури при досить низьких питомих витратах природного газу (37 м³/т). Недогрівання донної частини ковша пояснюється особливістю конструкції пальника СНТ, де газ згоряє в системі n-ї кількості окремих факелів, що потім зливаються в єдиний потік. Енергія такого потоку зменшується на втрати при змішування факелів з повітрям і між собою.

Спалювання попередньо підготовленої суміші природного газу з повітрям в суцільному струмені пальників ГНБ дозволяє отримати набагато жорсткіший струмінь продуктів згоряння, з більшою кінетичною енергією, організувати інтенсивну рециркуляцію продуктів згоряння в ємності ковша, що призводить до вирівнювання температур в газовому середовищі і забезпечує повне спалювання газу в стислому

просторі ковша та сприяє створенню умов для зменшення шкідливих речовин у продуктах згоряння.

При модернізації систем опалювання вертикальних стендів меткомбінату «Запоріжсталь» були використані пальники ГНБ-1500 модернізовані в ГНБ-1400 (СМЛТ-1400).

Стабілізатор горіння забезпечує надійну роботу пальника в широкому інтервалі змін теплової потужності, 1:5.х. Наявність жорсткого потужного струменю продуктів згоряння, $70 \leq w \leq 100$ м/с, забезпечує його далекобійність $L \geq 60D$ (D – початковий діаметр струменю, мм) і подавання необхідної кількості тепла до донної частини футерівки. На фото рис. 1 показаний працюючий пальник ГНБ-1400 в кришці ковша.



Рис. 1. Пальник ГНБ-1400 в кришці 250-ти тонного ковша

Температурне поле поверхні броні ковша впродовж процесу сушки/розігріву показує, що розігрів футерівки починається з донної частини ковша, рис. 2, і є рівномірним, $\pm 5^\circ\text{C}$.

На рис. 3 представлені графіки витрат газу при модернізованій і попередній системах опалення, з яких видно, що витрати газу при використанні пальника ГНБ-1400 суттєво нижчі, ніж при використанні пальника СНТ-22.

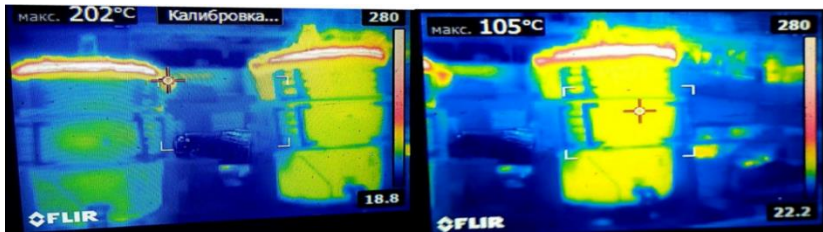


Рис. 2. Термограма броні 250 т ковша від початку до закінчення процесу сушіння / розігрівання

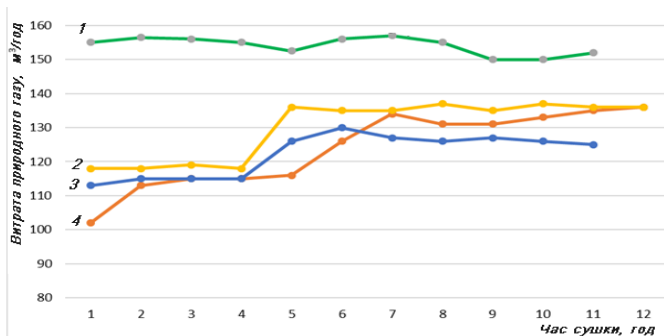


Рис. 3. Витрати газу при сушінні футерівки 250 т ковша. 1 – до модернізації, 2, 3, 4 – після модернізації.

Результати модернізації: економія природного газу склала понад 19,8 %; тривалість процесу скоротилась в середньому на 30 хв.; рівномірність нагріву футерівки склала ± 5 град; температура корпусу в контрольній точці дорівнює $104\text{ }^{\circ}\text{C}$, температура по всій висоті донної частини – $95,4\text{ }^{\circ}\text{C}$; вміст шкідливих речовин (приведений): $\text{CO} \leq 29\text{ ppm}$, $\text{NO}_x \leq 53\text{ ppm}$; питомі витрати газу скоротились з $37\text{ м}^3/\text{т}$ до $29,7\text{ м}^3/\text{т}$.

Отримані результати показують, що використання застарілих і не відповідних технологій спалювання природного газу обумовлює колосальну енергоємність металургійного виробництва і, як наслідок, призводить до зниження конкурентоспроможності української металопродукції. Подальші інвестиції в модернізацію основного і допоміжного технологічного обладнання, в дослідження і розробку нових вітчизняних технологій нагріву і створення ефективного обладнання можна вважати антикризовими заходами.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-27>

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF USING OXYGEN LANCES IN HEARTH UNITS

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ КИСНЕВИХ ФУРМ У ПОДОВИХ АГРЕГАТАХ

Prytuliak Ye.V.,
*Student (group 136s-23-1m),
LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Приюляк Є.В.,
*студент гр. 136С-23-1м,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Оцінка ефективності застосування кисневих фурм у подових агрегатах (наприклад, електродугових або конвертерних печах) є важливим етапом у підвищенні продуктивності металургійних процесів. Основні аспекти оцінки ефективності включають такі показники: підвищення теплової ефективності, зменшення вмісту домішок у металі, зниження витрат палива, підвищення продуктивності, зменшення витрат на електроенергію, екологічна ефективність, гнучкість у використанні матеріалів.

Застосування кисневих фурм дозволяє збільшити теплотворність процесу завдяки подачі чистого кисню. Це прискорює процес горіння домішок (вуглецю, водню, сірки) в металі, що знижує потребу в додаткових джерелах тепла та сприяє швидшому досягненню робочої температури. Це сприяє скороченню часу плавлення та економії енергоресурсів (газ, електрика).

Окислення небажаних домішок, таких як вуглець та сірка, відбувається інтенсивніше при використанні кисневих фурм. Це дозволяє краще контролювати хімічний склад металу і підвищує якість кінцевого продукту, поліпшити якість сталі за рахунок зниження рівня домішок.

Для зниження витрат на паливо і зменшення операційних витрат використання кисневих фурм дозволяє зменшити витрати палива (наприклад, природного газу або вугілля) під час плавки за рахунок збільшення кількості тепла, що генерується під час окислювальних процесів.

Кисневі фурми прискорюють процес плавлення і скорочують цикл виробництва сталі. Це дозволяє збільшити кількість плавок за зміну, підвищуючи загальну продуктивність агрегату. Завдяки швидшому досягненню необхідної температури та скороченню часу плавки, кисневі

фурми дозволяють скоротити споживання електроенергії в електродугових печах.

Щодо оцінки використання кисневих фурм з точки зору екологічних показників виробництва, то їх використання може знизити викиди шкідливих речовин, таких як CO₂, за рахунок більш повного згорання домішок і зниження потреби в додатковому паливі.

Подача кисню в робочий простір подових агрегатів сприяє ефективній переробці шлаків та інших вторинних матеріалів, що дозволяє зменшити потребу у високоякісній сировині і тим самим досягти оптимізації витрат на сировину.

Застосування кисневих фурм у подових агрегатах значно підвищує ефективність виробничого процесу, але для цього потрібне ретельне управління технологічними параметрами.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-28>

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE TEMPERATURE AND PROCESSING TIME OF ALUMINUM MELTS IN THE FURNACE ON THE QUALITY OF CASTINGS

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ ТА ЧАСУ ОБРОБКИ АЛЮМІНІЄВИХ РОЗПЛАВІВ В ПЕЧІ НА ЯКІСТЬ ВИЛИВКІВ

Saithareiev L.N.,

*PhD (Engineering),
Associate Professor,
Kryvyi Rih National University,
Kryvyi Rih, Ukraine*

Сайтгарєєв Л.Н.,

*к.т.н., доцент,
Криворізький національний
університет,
м. Кривий Ріг, Україна*

Vodennikova O.S.,

*PhD (Engineering),
Associate Professor,
Zaporizhzhia National University,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Воденнікова О.С.,

*к.т.н., доцент,
Запорізький національний
університет,
м. Запоріжжя, Україна*

Skidin I.E.,

*PhD (Engineering),
Kryvyi Rih National University,
Kryvyi Rih, Ukraine*

Скідін І.Е.,

*к.т.н., Криворізький національний
університет,
м. Кривий Ріг, Україна*

На сьогодні лиття за моделями, що газифікуються (Lost Foam Casting) – це найбільш популярна і затребувана технологія отримання

випливає [1], яка має наступні переваги перед іншими способами лиття: високу якість виливків для виготовлення деталей у точній відповідності з конструкторською документацією; значно коротші терміни виконання замовлення, незалежно від його обсягу; можливість виконання відливок зі сталі, чавуну, сплавів кольорових металів, дозволяє мінімізувати витрати на допоміжні матеріали, електроенергію, значно скоротити трудомісткість виготовлення готових виробів [2] та мінімізує негативний вплив на екологію [3]. Виробничий потенціал технології лиття за моделями, що газифікуються, далеко не вичерпаний і настільки продуктивний, що дозволяє вилити не тільки метали і сплави, але й отримувати композити й армовані конструкції, які мають підвищені службові (бронезахисні) властивості [3]. Аналізуючи дані світової практики ливарного виробництва, слід зазначити про постійне зростання виробництва виливків цим способом, яке перевищило 1,5 млн. т/ рік, при цьому особливо популярної ця технологія є в США і Китаї [4].

Безпосередньо використання технології лиття за моделями, що газифікуються, для одержання виливків із алюмінієвих сплавів замість лиття в кокіль дозволяє отримувати виливки з таким же рівнем механічних властивостей, але при цьому позбуваються таких недоліків лиття в кокіль, як низька рідкоплинність і високий перегрів розплаву, ускладнена усадка, викликана неподатливою формою [5].

У роботі наведено авторські дослідження впливу термочасової обробки розплаву на механічні властивості тонкостінних корпусних виливків з алюмінієвих сплавів типу АК7, АК12, АК9М2, отриманих литтям за моделями, що газифікуються. Вплив термічної обробки розплаву пояснюється тим, що швидкість структурних змін в рідкому стані є дуже низькою, не дивлячись на відносно високу швидкість дифузійних процесів. Проте, швидке охолодження у деяких випадках може суттєво впливати на трансформацію структурних елементів та може бути досягнуто, наприклад, шляхом примусового введення розмеленого сплаву заздалегідь відомого хімічного складу в розплавлений метал відповідно до заданого литого сплаву. Ці добавки частково мають і модифікуючий ефект через зміну мікрогетерогенності.

Кількість шихти, що додається, для охолодження розплаву до температури лиття визначалася експериментально з урахуванням того, щоб швидкість охолодження дорівнювала близько $5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$.

У роботі визначено оптимальні температурно-часових параметри обробки розплавів (перегрів та час витримки) шляхом аналізу показників якості виливків. В дослідженнях температура заливання

($T_{\text{зал}}$) приймалася в межах від 820 до 830 °С, що забезпечувало повне вигорання моделі.

Аналіз впливу температурно-часових параметрів обробки алюмінієвих сплавів (зокрема типу АК7, АК12, АК9М2) на чистоту поверхні, розмірну точність та пористість дозволяє стверджувати, що при вмісті в шихті до 90 % брукху оптимальними параметрами обробки є: температура перегріву ($T_{\text{пер}}$) – від 990 до 1000 °С, час витримки (τ) – від 5 до 10 хв. При цьому механічні властивості різних експериментальних виливків у порівнянні з наявною на підприємстві технологією суттєво покращуються для усієї номенклатури виливків: міцність – на 17 %, опір стисканню на розрив – на 60 %, герметичність – на 16,5 %.

Таким чином, використання запропонованої ресурсозберігаючої технології призведе до поліпшення якості виливків та сприятиме підвищенню рівня механічних властивостей виливків при застосуванні вторинних матеріалів в шихті.

Перелік використаних джерел

1. Литво по газифікованих моделях (ЛІГМ). URL: <https://www.metexport.com.ua/ua/nashi-uslugi/lite-po-gazificirovannym-modeljam-lgm> (дата звернення: 07.10.2024)
2. Литво точних деталей. URL: <http://dzse.com.ua/uk/service/litvo-tochnikh-detalej> (дата звернення: 07.10.2024)
3. Дорошенко В. Ресурсоощадне виробництво металевих виливків для спеціальної техніки та боєприпасів. *Світгляд*. 2019. №1 (75). С. 8–15.
4. Лиття металу по моделях, що газифікуються (Lost Foam Casting) розширює присутність в машинобудуванні. URL: <https://www.steelland.org/news/ua/metallurgy/12.html> (дата звернення: 07.10.2024)
5. Калюжний П. Б. Одержання виливків із алюмінієвих сплавів литтям за моделями, що газифікуються, з аеродинамічним переміщенням формувального матеріалу у контейнері : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.16.04. Київ, 2016. 22 с.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-29>

**FEATURES OF THE USE OF COAL OF DIFFERENT GRADES
IN A MIXTURE OF PULVERIZED FUEL UNDER
THE CONDITIONS OF CURRENT CAST IRON PRODUCTION**

**ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ВУГІЛЛЯ РІЗНИХ МАРОК
У СУМІШІ ПИЛОВУГІЛЬНОГО ПАЛИВА
В ПОТОЧНИХ УМОВАХ ВИРОБНИЦТВА ЧАВУНУ**

Semenov Yu.S.,

*PhD (Engineering), Senior Research
Scientist, Iron and Steel Institute
of Z.I. Nekrasov of the National
Academy of Sciences of Ukraine,
Dnipro, Ukraine*

Семенов Ю.С.,

*к.т.н., старший науковий
співробітник, Інститут чорної
металургії ім. З.І. Некрасова
Національної академії наук України,
м. Дніпро, Україна*

Horupakha V.V.,

*Research Scientist, Iron and Steel
Institute of Z.I. Nekrasov
of the National Academy of Sciences
of Ukraine, Dnipro, Ukraine*

Горупаха В.В.,

*науковий співробітник, Інститут
чорної металургії ім. З.І. Некрасова
Національної академії наук України,
м. Дніпро, Україна*

Pinchuk D.V.,

*Head of the blast furnace shop,
PJSC "KAMET-STEEL",
Kamianske, Ukraine*

Пінчук Д.В.,

*начальник доменного цеху,
ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ»,
м. Кам'янське, Україна*

Bolotov M.B.,

*Head of the technological management,
PJSC "KAMET-STEEL",
Kamianske, Ukraine*

Болотов М.Б.,

*начальник технологічного управління,
ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ»,
м. Кам'янське, Україна*

У доменному виробництві України у якості палива, що вдувається через повітряні фурми, використовують природний газ (ПГ) і пиловугільне паливо (ПВП). ПГ використовують, в основному, у літній період при сприятливій ціновій політиці, в решту часу використовують ПВП, в окремих випадках – спільне вдування ПГ та ПВП [1].

Теоретичними та практичними дослідженнями встановлено, що ПВП, приготоване з вугілля слабкоспікливих (СС) марок, найбільш сприяє максимально ефективній повноті згоряння палива і високим

коефіцієнтам заміни коксу. Останнім часом на комбінатах ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» та ПАТ «Запоріжсталь» використовувалося вугілля австралійського (А) походження, а в жовтні 2024 р. розпочалася практика використання чеського вугілля ОКD, що має більшу кількість легких речовин та відрізняється меншою кількістю сірки та золи ніж у вугіллі А (табл. 1).

З економічної точки зору застосовують практику використання суміші вугілля з додаванням вугілля довгополуменево-газової (ДГ) марки або до вугілля А, або до вугілля ОКD. Вугілля марки ДГ, у порівнянні з вугіллям А та ОКD, відрізняється значною кількістю легких речовин, низьким вмістом вуглецю та високим вмістом сірки (табл. 1). При збільшенні частки легких речовин у суміші вугілля, на початкових стадіях при нагріванні та виділенні легких з поверхні блокується дифузія кисню до твердого вуглецю палива, збільшуючи тим самим час горіння частки ПВП.

Таблиця 1

**Основні характеристики вугілля, що використовуються
для ПВП у доменному виробництві**

Марка/показник	Леткі речовини	Сірка	Зола	Вуглець	Інертніт	Вітриніт
А	13,6	0,63	11,68	87	69	30
ОКD	21,2	0,35	5,68	88	54	46
ДГ	37,6	1,27	6,99	82	25	73

Відповідно до Керівного документа «Нормативи витрати коксу та продуктивності» [2] виконані розрахунки впливу введення вугілля марки ДГ з кроком 5% на коефіцієнти заміни коксу ПВП, при цьому розглядався оперативний (Ко) коефіцієнт заміни, що розраховується за твердим вуглецем, Ко рекомендовано користуватися при зміні складу суміші вугілля ПВП. Результати розрахунку наведено нижче на рис. 1, з якого випливає, що збільшення на кожні 5 % частки вугілля ДГ призводить до зниження Ко на 0,011, як при додаванні ДГ до вугілля А, так і до ОКD.

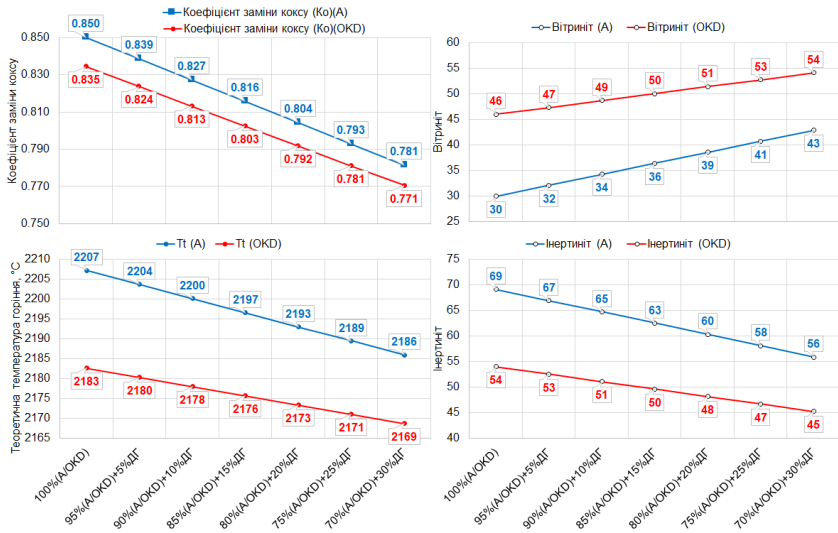


Рис. 1. Зміна коефіцієнта заміни (Ko) коксу ПВП, T_t , віترینіту та інертиніту при введенні в ПВП вугілля марки ДГ до вугілля А та ОКД з кроком 5 %

В роботі виконано розрахунки зміни теоретичної температури горіння (T_t) при введенні в ПВП вугілля марки ДГ з кроком 5 % до вугілля марок А та ОКД. Розрахунки проводились для характерних для ДП-1М ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» умов роботи у 2024 р.: витрата ПВП – 8,35 т/год; температура гарячого дуття – 1050 °С; витрата дуття – 2970 м³/хв; вміст кисню у дутті – 23,5%. Встановлено (рис. 1), що збільшення на кожні 5 % частки вугілля ДГ призводить до зниження T_t на 3,5 °С при використанні вугілля А і на 2,3 °С – при використанні вугілля ОКД. Компенсувати зниження T_t для суміші вугілля (80% ОКД або А + 20% ДГ) можливо або підвищенням температури гарячого дуття (+19 °С для вугілля А і +13 °С для ОКД), або збільшенням вмісту кисню в дутті (+0,3% для А та +0,2% для ОКД), або зменшенням кількості пари в дутті (–0,45 т/год для А та –0,33% т/год для ОКД).

Важливою характеристикою вугілля є петрографічний склад. Так, його компонент віترینіт – при нагріванні утворює рідку частину пластичної фази, призводить до спікання частинок ПВП і неповного

згоряння. Частини недогорілого вугілля у вигляді напівкоксу утворюють конгломерати у вигляді «пташиних гнізд», наявність яких призводить до порушення газодинаміки доменної плавки. Інертиніт – інертний компонент, який не утворює рідких фаз при нагріванні та має характер зміни – зворотний вітриніту (табл.1, рис. 1). Як впливає з графіка зміни вітриніту – суміш 70%A+30%ДГ близька до 100%ОКД, що свідчить про погіршення якості спалювання частинок ПВП при додаванні вугілля ДГ до вугілля ОКД у порівнянні з аналогічним додаванням вугілля ДГ до вугілля А.

Таким чином, ефективність роботи доменних печей з коксом низької якості (показник гарячої міцності $CSR < 45\%$) зі збільшенням в ПВП вугілля ДГ визначається заходами, направленними на поліпшення дренажної здатності горна: промивки, застосування марганцевмісних матеріалів, забезпечення рівномірного окружного розподілу Tt . При цьому, можливості додавання вугілля ДГ до вугілля А будуть вищими, а додавання ДГ до вугілля ОКД – вестиме до значного збільшення летючих у суміші, таке збільшення частково компенсуватиметься «світимістю» факела ПВП і зменшеним виходом золи ПВП, проте за вмістом вітринітів у суміші – може сприяти появі «пташиних гнізд». Граничним вмістом вугілля ДГ у суміші з вугіллям ОКД слід очікувати на рівні до 20 %, у порівнянні із сумішшю вугілля А та ДГ (ДГ– 25%) у близьких технологічних умовах.

Перелік використаних джерел

1. Semenov Yu.S., Horupakha V.V., Vashchenko S.V. et al. (2024). Experience of co-injection of pulverized coal and natural gas into blast furnace hearth under the conditions of PJSC "KAMET-STEEL". Metal and Casting of Ukraine, Vol. 32, № 2, 8–18. [in Ukrainian].
2. Tovarovskiy I.G. (2017). Normative Estimation of Parameters of the Blast-Furnace Smelting. Advances in Materials, Vol. 6, Iss. 4, 38-44.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-30>

**REVIEW OF METAL FLOW CONTROL METHODS DURING
CONTINUOUS CASTING OF STEEL**

**ОГЛЯД МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ПОТОКІВ МЕТАЛУ
ПРИ БЕЗПЕРЕРВНОМУ РОЗЛИВАННІ СТАЛІ**

Synehin Y.V.,

*Ph.D., associate professor,
LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Синегін Є.В.,

*к.т.н., доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Kukhno S.A.,

*Student (group 136C-23-1m),
LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Кухно С.А.,

*студент гр. 136С-23-1м,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Zhuravlova I.V.,

*PhD student, Ukrainian State
University of Science and Technology,
Dnipro, Ukraine*

Журавльова І.В.,

*аспірантка, Український державний
університет науки і технологій,
м. Дніпро, Україна*

Наявність неметалевих включень (НВ) в сталі призводить до погіршення механічних характеристик сталі, а в деяких випадках може посилювати вплив корозії на метал. На сьогодні відомо багато методів видалення НВ зі сталі, недолікам яких є використання складного обладнання, дорогих додаткових матеріалів для обробки сталі тощо. Тому розробка недорогих і водночас ефективних методів їх видалення є актуальною задачею.

На підставі проведеного огляду методів видалення неметалевих включень зі сталі в процесі позапічної обробки та безперервного розливання сталі встановлено, що зміну картини циркуляційних потоків для прискорення спливання НВ у шлакову фазу можна здійснювати за допомогою продувки інертним газом [1, 2], електромагнітного перемішування (ЕМП) [1-4], фільтрації [1] й установки в промковші

перегородок і порогів [1], використання завихрювачів потоку в промковші, в зоні стакану-дозатора проміжного ковша та безпосередньо в його каналі, а також за рахунок зміни конструкції заглибного стакану промковша.

Запропонована класифікація дозволяє порівняти ефективність застосування різних методів коригування потоків в процесі позапічної обробки та безперервного розливання сталі. Наразі теоретично підтверджено вищу ефективність використання відцентрових сил в ротаційній камері промковша порівняно з їх використанням в сталерозливному ковші та кристалізаторі МБЛЗ.

Перелік використаних джерел

1. Sahai, Y. (2016). Tundish Technology for Casting Clean Steel: A Review. *Metallurgical and Materials Transactions B*. DOI: 10.1007/s11663-016-0648-3
2. Sang-ik Chung, Young-Ho Shin & Jong-Kyu Yoon (1992). Flow Characteristics by Induction and Gas Stirring in ASEA-SKF Ladle. *ISIJ International*, 32(12), pp. 1287-1296.
3. Wenjie Zhang, Sen Luo, Yao Chen, Weiling Wang & Miaoyong Zhu (January 2019). Numerical Simulation of Fluid Flow, Heat Transfer, Species Transfer, and Solidification in Billet Continuous Casting Mold with M-EMS. *Metals*, 9(66). DOI: 10.3390/met9010066
4. Ogura S., Onishi M., Kitaoka H., Sakurai M., Sakuraya T., Tanino Y., Terashima T., Tomiyama Y., Nabeshima Y., Miki Y., Moriwaki S., Yasukawa N. (1995). System for removing non-metallic foreign matter in molten metal. United States Patent No. 5,429,655.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-31>

**IMPROVEMENT OF THE TECHNOLOGY
OF OUT-OF-FURNACE PROCESSING OF PIPE STEEL**

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПОЗАПІЧНОЇ ОБРОБКИ
СТАЛЕЙ ТРУБНИХ МАРОК**

Synehin Ye.V.,
*PhD (Engineering),
Associate Professor, LLC "Technical
university "Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Синегін Є.В.,
*к.т.н., доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Niziaiev K.H.,
*DSc (Engineering), Professor,
LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Нізяєв К.Г.,
*д.т.н., професор,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Torin A.I.,
*Student (group 136C-23-1m),
LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Торін А.І.,
*студент гр. 136С-23-1м,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Zelenyi Y.A.,
*Student (group 136C-23-1m),
LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Зелений Ю.А.,
*студент гр. 136С-23-1м,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Відправною точкою для отримання якісної безперервнолитої заготовки є оптимальні умови підготовки рідкої сталі, насамперед, контроль за розкисленням, усередненням металу за хімічним складом та температурою, забезпечення необхідної температури металу, мінімізація вмісту шкідливих домішок у сталі. Перелічені вимоги вкрай важливі, оскільки процес безперервного розливання досить складний і вразливий, і має обмежені можливості для покращення якісних характеристик сталі [1].

Позапічна обробка трубної сталі в умовах ПрАТ «КАМЕТСТАЛЬ» здійснюється на установці комплексного доведення сталі (УКДС) та установці ківш-піч (УКП). Для поліпшення якості металу, зменшення кількості дефектів заготовки під час розливання та прокатки проведено оптимізацію деяких параметрів позапічної обробки сталі з метою підвищення ступеня десульфурації та дефосфорації металу в ковші. Для

оптимізації було обрано такі фактори: основність шлаку в ковші, вміст (CaO) і (FeO) у шлаку, температура металу на УКДС. В якості цільової функції було обрано ступінь десульфурації D_S та дефосфорації D_P . За результатами аналізу було побудовано графіки залежності цільових функцій від обраних факторів.

За знайденими рівняннями визначено оптимальне значення кожної функції. Для досягнення максимальних ступенів десульфурації та дефосфорації необхідно створити такі умови:

- вміст (CaO) у шлаку на рівні $49,04 \div 53,54$ %,
- основність ковшового шлаку $2,75 \div 3,11$,
- вміст (FeO) у шлаку $4,95$ %,
- температура металу $1622,5$ °C.

Отримані залежності добре узгоджуються з теоретичними відомостями щодо впливу вибраних чинників на цільові функції.

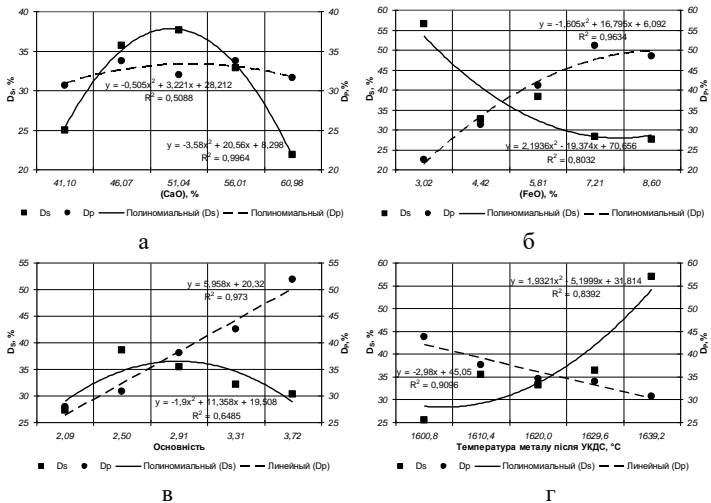


Рис. 1. Залежності ступеня десульфурації та дефосфорації сталі від вмісту оксидів кальцію (а) та заліза (б) в ковшовому шлаку, його основності (в) та температури металу наприкінці обробки (г)

Перелік використаних джерел

1. Смірнов О.М. Безперервне розливання сталі [Підручник] / О.М. Смірнов, С.В. Куберський, Є.В. Штепан. Алчевськ: ДонДТУ, 2011. 518 с.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-32>

**PROMISING DIRECTIONS FOR THE IMPLEMENTATION
OF NON-DESTRUCTIVE METHODS FOR DETERMINING
THE MECHANICAL PROPERTIES OF CAST IRON CASTINGS**

**ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМИ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ НЕРУЙНІВНИХ
МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ
ЧАВУННИХ ВИЛИВКІВ**

Sirenko K.A.,

*PhD (Engineering), Junior Researcher,
Physico-Technological Institute
of metals and alloys of the National
Academy of Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine*

Сіренко К.А.,

*к.т.н., м.н.с.,
Фізико-технологічний інститут
металів та сплавів Національної
академії наук України, м. Київ,
Україна*

Mazur V.L.,

*Chief Researcher, DSc (Engineering),
Professor, Corresponding Member
of the NAS of Ukraine, Physico-
Technological Institute of Metals and
Alloys of the National Academy of
Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

Мазур В.Л.,

*з.н.с., д.т.н., професор,
чл.-кор. НАН України,
Фізико-технологічний інститут
металів та сплавів
Національної академії наук України,
м. Київ, Україна*

Frolov O.A.,

*PhD student, Physico-Technological
Institute of Metals and Alloys
of the National Academy of Sciences of
Ukraine, Kyiv, Ukraine*

Фролов О.А.,

*аспірант, Фізико-технологічний
інститут металів та сплавів
Національної академії наук України,
м. Київ, Україна*

Актуальним завданням теорії й технології ливарного виробництва на нинішньому етапі його розвитку є наукове обґрунтування і реалізація на практиці неруйнівних способів, методик визначення фізико-механічних властивостей чавунного литва. Виготовлення проб, зразків для контролю механічних властивостей і структури виливків, проведення випробувань зразків на розривних машинах потребують витрат, зумовлених втратами металу, залученням підготовленого персоналу, певного часу на виконання зазначених операцій. Все вказане відбувається найчастіше в умовах, коли хімічний склад виливків вже відомий, оскільки вміст хімічних елементів у чавуні контролюється ще на етапі його виплавлення.

У Фізико-технологічному інституті металів та сплавів НАН України встановлено і досліджено залежності твердості за Брінеллем, міцності під час розтягання, теплопровідності, інших властивостей виливків із чавунів з пластинчастим і вермикулярним графітом від вуглецевого еквівалента $C_{екв}$ і ступеня евтектичності $S_{евт}$ їх хімічного складу. Із застосуванням імовірнісного підходу та методу Монте-Карло розроблено формули, які дозволяють прогнозувати механічні властивості виливків із чавуну неруйнівним способом.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-33>

EFFECT OF SLAG COMPOSITION ON DEGREE OF STEEL DESULPHURIZATION DURING LADLE FURNACE REFINING

ВПЛИВ СКЛАДУ ШЛАКУ НА СТУПІНЬ ДЕСУЛЬФУРАЦІЇ СТАЛІ ПІД ЧАС РАФІНУВАННЯ НА УСТАНОВЦІ «КІВШ-ПІЧ»

Stepanenko D.O.,

*PhD (Engineering),
Head of the Department, Iron and Steel
Institute of Z.I. Nekrasov
of the National Academy of Sciences
of Ukraine, Dnipro, Ukraine*

Степаненко Д.О.,

*к.т.н., завідувач відділу,
Інститут чорної металургії імені
З.І. Некрасова Національної академії
наук України,
м. Дніпро, Україна*

Togobitska D.M.,

*DSc (Engineering), Professor,
Leading Researcher, Iron and Steel
Institute of Z.I. Nekrasov
of the National Academy of Sciences
of Ukraine, Dnipro, Ukraine*

Тогобицька Д.М.,

*д.т.н., професор, провідний науковий
співробітник, Інститут чорної
металургії імені З.І. Некрасова
Національної академії наук України,
м. Дніпро, Україна*

Bielkova A.I.,

*PhD (Engineering),
Senior Research, Iron and Steel
Institute of Z.I. Nekrasov
of the National Academy of Sciences
of Ukraine, Dnipro, Ukraine*

Белькова А.І.,

*к.т.н., старший науковий
співробітник, Інститут чорної
металургії імені З.І. Некрасова
Національної академії наук України,
м. Дніпро, Україна*

Установка «ківш-піч» (УКП) є найбільш відповідальною ланкою наскрізної технології виробництва якісної сталі, що визначає важливість

дослідження та вдосконалення металургійних процесів на УКП, зокрема процесу десульфурації. Одним з основних технологічних способів десульфурації сталі на УКП є обробка рідкої сталі активними шлаками, які формують у ковші за рахунок додавання вапна (містить CaO близько 90%) і плавикового шпату ($\text{CaF}_2 \approx 85\%$) у їх співвідношенні, як правило, 4:1 або 3:1. Важливою умовою використання рафінувальних шлаків є забезпечення необхідної їх основності. Прийнято вважати, що підвищення основності шлаків збільшує їх сульфідну ємність, але як зазначає Yang зі співавторами [1], сульфідна ємність шлаку характеризує потенційну його здатність, яка може бути нереалізована. Автори звертають увагу на те, що при виборі хімічного складу шлаку слід приділяти особливу увагу структурі шлакового розплаву і зміні його кисневого потенціалу.

В Інституті чорної металургії НАН України створено галузевий банк даних «Металургія» (БДМет), який включає, поряд з базами фундаментальних фізико-хімічних даних про властивості оксидних та металевих розплавів (бази даних «Залізорудні матеріали», «Шлак», «ШУС» і «Феросплави»), промислові дані вітчизняних та зарубіжних металургійних підприємств. На основі накопичених промислових даних обробки та доводки сталі масового призначення на УКП виконано дослідження впливу хімічного складу шлаку на процес десульфурації. Сформована репрезентативна вибірка ($N > 600$) технологічних показників обробки сталі марки SAE1006 на УКП з різним ступенем десульфурації сталі (f_s), який розраховано за рівнянням:

$$f_s = (S_1 - S_2) / S_1 \cdot 100\%,$$

де S_1 і S_2 – відповідно вміст сірки в сталі до та після рафінування.

З метою оцінки впливу основності шлаку та вмісту Al_2O_3 на ступінь десульфурації сталі, методом картування сформованої вибірки даних в координатних $X - \text{Al}_2\text{O}_3$ (мас. %), $Y - \text{CaO}/\text{SiO}_2$ і $Z - f_s$ (%) встановлено нелінійну їх залежність (рис. 1).

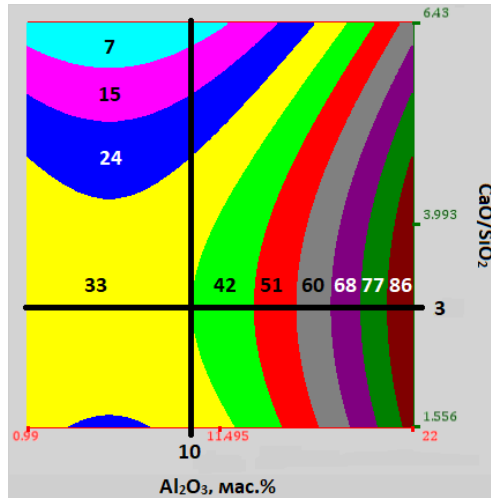


Рис. 1. Картограма зміни ступеня десульфурзації сталі (значення на полях картограми у відсотках) марки SAE1006 при зміні основності шлаку (CaO/SiO_2) та вмісту Al_2O_3 .

Як слідує з картограми, з підвищенням вмісту Al_2O_3 в шлаку збільшується ступінь десульфурзації сталі (f_s), при цьому найбільше значення $f_s = 86\%$ досягається при вмісті Al_2O_3 в шлаку в досить вузькому діапазоні 20÷22 мас.%. При підвищенні основності шлаків, не зважаючи на вміст Al_2O_3 , ступінь десульфурзації сталі зменшується. Однак, характер зміни значення f_s від показника основності (CaO/SiO_2) дещо відрізняється в залежності від вмісту Al_2O_3 в шлаку. При вмісті Al_2O_3 в шлаку від 1% до 10% практично відсутній його зв'язок з показником ступеня десульфурзації сталі. Зменшення значення f_s з підвищенням основності шлаків може бути пояснено погіршенням їх фізико-хімічних властивостей у зв'язку з гетерогенністю шлакових розплавів за рахунок наявності незасвоєного вапна (вміст вільного CaO у шлаку) [2]. Враховуючи особливості зв'язку основності шлаку з показником ступеня десульфурзації сталі, оптимальним її значенням є $CaO/SiO_2 = 3$.

Перелік використаних джерел

1. Yang, XM., Li, JY., Zhang, M. et al. A Critical Review of Limitations of Slag Capacity Concepts in Metallurgical Applications by

Taking Sulfide and Phosphate Capacities as Examples. Metall Mater Trans B 52, 714–742 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11663-020-02045-x>.

2. Jakub Vaverka, Kenji Sakurai. Quantitative Determination of Free Lime Amount in Steelmaking Slag by X-ray Diffraction. ISIJ International, Vol. 54 (2014), No. 6, pp. 1334-1337. <https://doi.org/10.2355/isijinternational.54.1334>.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-34>

REENGINEERING OF METALLURGICAL PRODUCTION: TRANSITION TO “GREEN” STEEL

РЕІНЖИНІРИНГ МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА: ПЕРЕХІД ДО “ЗЕЛЕНОЇ” СТАЛІ

Tymoshenko D.O.,

*Student (group 136У-23-1м),
LLC “Technical university
“Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Тимошенко Д.О.,

*студент гр. 136У-23-1м,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Kukhar V.V.,

*DSc (Engineering), Professor,
LLC “Technical university
“Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Кухар В.В.,

*д.т.н., професор,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Металургійна промисловість, як один з ключових секторів економіки, відіграє важливу роль у розвитку інфраструктури та промисловості країни. Однак, традиційні методи виробництва сталі пов'язані з високим рівнем викидів CO₂ та забрудненням навколишнього середовища. Металургійна промисловість є різноманітною й енергоємною, з різними технологіями, що використовуються для виробництва сталі [1]. В умовах зростаючого тиску на галузь з боку екологічних норм та глобальних кліматичних цілей, модернізація та реінжиніринг виробництва стають критично важливими.

Одним з ключових факторів, що стимулюють «зелену» трансформацію металургійної галузі, є впровадження механізму кордонного вуглецевого коригування (СВАМ) Європейським Союзом. СВАМ передбачає стягнення плати за імпорт продукції з високим вуглецевим слідом, що спонукає виробників за межами ЄС знижувати викиди парникових газів. Для українських металургійних підприємств адаптація до СВАМ є необхідною умовою збереження конкурентоспроможності на

європейському ринку. Це потребує значних інвестицій в модернізацію виробництва та впровадження «зелених» технологій.

Основні проблеми традиційної металургії – високий рівень викидів шкідливих речовин, висока енергоємність, залежність від коксу, знос основних фондів.

Аглофабрика, мартенівська піч/конвертор та доменна піч – це застаріла і, все ще поширена в Україні технологія виробництва сталі, яка ставить під загрозу майбутнє вітчизняної металургії. Через високий рівень викидів CO₂, використання цієї технології може призвести до перевищення лімітів, встановлених механізмом кордонного вуглецевого коригування (СВАМ). Це означитиме значні фінансові втрати для українських металургійних підприємств, які будуть змушені сплачувати високі мита за експорт своєї продукції до ЄС. Аглофабрики викидають в атмосферу пил та шкідливі гази, доменні печі є одним з головних джерел викидів CO₂ (табл. 1), а мартенівські печі споживають багато енергії та виділяють шкідливі речовини. Вся ця технологія потребує великої кількості вугілля, що робить нас залежними від викопного палива. В умовах глобальної боротьби зі зміною клімату та впровадження Європейським Союзом механізму кордонного вуглецевого коригування (СВАМ), таке виробництво стає економічно невідгідним. СВАМ передбачає стягнення плати за імпорту продукції з високим вуглецевим слідом, і українська сталь, вироблена за старими технологіями, просто не зможе конкурувати на європейському ринку.

Таблиця 1

Розрахунок викидів на тону сталі

Тип виробництва	Викиди, кг/т
Аглодомений процес + Мартенівська піч	2430
Midrex + ДСП	613

Один з виходів – модернізація та перехід на нові технології, такі як Midrex + ДСП рис. 1. Ця технологія дозволяє значно скоротити викиди CO₂, економити енергію та ефективніше використовувати ресурси. Замість спалювання вугілля в доменних печах, Midrex використовує природний газ, а ДСП працюють на електроенергії, яку можна отримувати із відновлюваних джерел. Це зменшує залежність від вугілля та газу, що важливо в умовах енергетичної кризи та зміни клімату. Крім того, Midrex може працювати з різними видами залізної руди, включаючи низькосортну, а ДСП переробляють металобрухт. Це зменшує потребу у видобутку нової руди та сприяє розвитку циркулярної економіки.

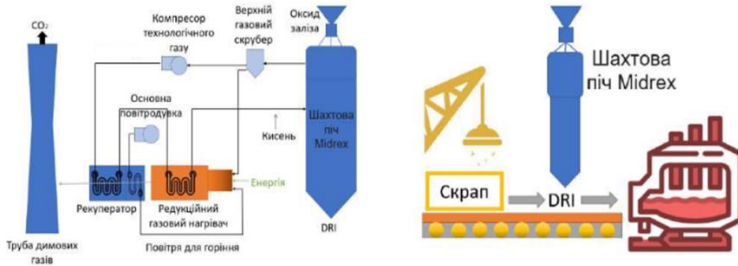


Рис. 1. Процес Midrex + ДСП

Звичайно, перехід на нові технології потребує інвестицій. Модернізація виробництва, закупівля нового обладнання, навчання персоналу – все це вимагає значних фінансових вкладень. Але важливо розуміти, що це не витрати, а інвестиції в майбутнє – майбутнє, в якому українська металургія буде екологічно чистою, ефективною та конкурентоспроможною.

Впровадження технології Midrex + ДСП, незважаючи на високе енергоспоживання, яке представлено на рис. 2, дозволить не тільки уникнути вуглецевих мит ЄВАС, а й отримати низку інших переваг:

- зниження собівартості продукції.
- підвищення якості сталі.
- розширення асортименту продукції.
- покращення умов праці.
- підвищення інвестиційної привабливості галузі.

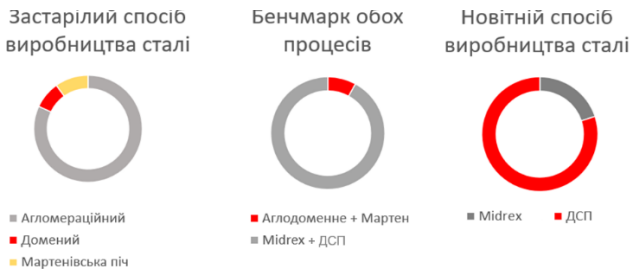


Рис. 2. Порівняльна діаграма витрат електроенергії

Інвестуючи в «зелену» металургію сьогодні, ми забезпечуємо сталий розвиток галузі та створюємо нові можливості для економічного зростання України.

Перелік використаних джерел

1. Тимошенко Д. О., Кухар В. В., Воловненко І. В. Порівняння енергоспоживання при виробництві сталі застарілими аглодоменим та мартенівським переділами із сучасною технологією прямого відновлення заліза midrex h2 та виплавою в дуговій сталеплавильній печі. *Науковий Журнал Метінвест Політехніки. Серія: Технічні науки*. 2024. № 2. С. 49–54. URL: <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2024-2-8>

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-35>

**EFFECTIVE SYSTEM FOR DEFROSTING VANISHES
IN FROZEN CARS****ЕФЕКТИВНА СИСТЕМА РОЗМОРОЖУВАННЯ ВАНТАЖІВ
В ЗАЛІЗНИЧНИХ ВАГОНАХ****Trotsenko L.N.,**

*PhD (Engineering), Senior Researcher,
The Gas Institute of the National
Academy of Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine*

Троценко Л.Н.,

*к.т.н., с.н.с.,
Інститут газу
Національної академії наук України,
м. Київ, Україна*

Pikashov V.S.,

*PhD (Engineering), Senior Researcher,
The Gas Institute of the National
Academy of Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine*

Пикашов В.С.,

*к.т.н., с.н.с.,
Інститут газу
Національної академії наук України,
м. Київ, Україна*

Vinogradova T.V.,

*Researcher, The Gas Institute
of the National Academy of Sciences
of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

Виноградова Т.В.,

*науковий співробітник,
Інститут газу Національної академії
наук України, м. Київ, Україна*

В зимовий період під час перевезення у залізничних вагонах сипкі вантажі змерзаються у міцний конгломерат через високий вміст вологи. Через це для промислових підприємств виникають великі проблеми з їх розвантаженням, особливо, якщо на виробництві відсутні вагоноперекидачі.

Одним з ефективних способів опалення виробничих приміщень та нагрівання різних поверхонь є використання радіаційних випромінювачів різних конструкцій, теплова ефективність яких на 20-40-50% вище інших способів опалення. При цьому К.К.Д. роботи високотемпературних радіаційних випромінювачів становить не більше 30% через високу температуру продуктів згорання (ПЗ), що відходять.

А обігрів деяких матеріалів, наприклад, вугілля з точки зору пожежної безпеки високотемпературними випромінювачами не рекомендований.

Спосіб опалення низькотемпературними випромінювачами різних конструкцій має К.П.Д. у 2-2,5 рази вищий, так як втрати тепла з ПЗ менше. В Інституті газу НАНУ розроблено і на Побужському феронікелевому комбінаті (ПФК) запущено в експлуатацію систему обігріву вагонів у гаражі-розморожувачі розмірами 12×5,4×90 м з одночасним розміщенням 12 ж/д вагонів вантажопідйомністю 70 т (два ряду по шість вагонів).

Кожна система розморожування для одного потягу з вагонами складається з теплогенератора, вентилятора, системи димовідведення та тепловипромінюючих труб з екранами, що складають робочий випромінюючий контур. Продукти згоряння з теплогенератора розбавляються до температури 250–350 °С, надходять в випромінюючі труби та нагрівають їх, віддаючи тепло на борти та донну частину вагонів. Частина відпрацьованих ПЗ з температурою 80-120 °С через димову трубу видаляється з системи, а частина повертається в робочий контур для підтримки заданого температурного режиму. Фотографії гаражу-розморожувача представлені на рисунку 1.



а



б

Рис. 1. Гараж-розморожувач ПФК:

а – зовнішній вигляд гаражу-розморожувача з боку приміщення встановлення теплогенераторів; б – внутрішнє приміщення з випромінюючими трубами та відбивними екранами

Теплова потужність теплогенератора, розміри труб та екранів робочого контуру, їх розташування, тепловий режим роботи системи визначені з урахуванням оптимальної опроміненості та збереження цілісності корпусу та підшипників ковзання колісних пар вагонів. Система автоматизована, забезпечує надійний захист від перегріву бортів і колісних пар вагонів.

Унікальною особливістю представленої системи розморожування є обігрів вантажів у вагонах з чотирьох сторін: опромінюванням з боків

двох бортів і днища вагонів та природною конвекцією зверху сипких матеріалів за рахунок прогрітого від випромінюючих труб повітря у приміщенні, що підіймається вгору.

При однакових витратах на будівництво експлуатаційні та капітальні витрати такої системи опалення значно менші, ніж при встановленні великої кількості окремих випромінювачів. Ця система має значну перевагу перед раніше відомими системами – надійний і безпечний прогрів донної частини вагонів. Система розморожування простіше в обслуговуванні, дешевше і надійніше в роботі, так як робочий контур складається зі звичайних сталевих труб, не вимагає великої кількості газопальникових пристроїв і приладів КВП та автоматики (в даному випадку один теплогенератор на шість вагонів), може бути зібрана з вітчизняних комплектуючих та матеріалів.

Температура випромінюючих труб виключає виникнення аварійної або пожежонебезпечної ситуації, а забруднення та запиленість труб та екранів легко усуваються. Крім того, низькотемпературні випромінюючі труби можуть бути максимально наближені до поверхонь, що нагріваються, що забезпечує компактність будівлі гаража-розморожувача. У компактному приміщенні роль природної конвекції для нагрівання вантажів збільшується.

За рахунок циркуляції гріючих газів у робочому контурі системи забезпечується відносно рівномірне підведення тепла по всій довжині складу вагонів і підвищується К.П.Д. розморожування загалом.

На рис. 2 надано приклад температурного режиму роботи системи.

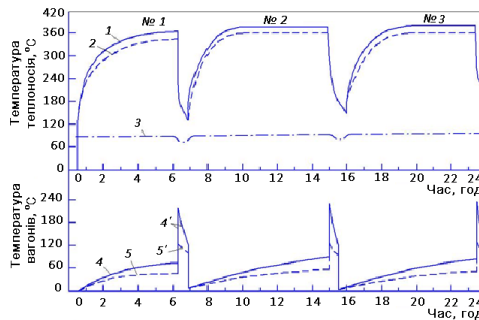


Рис. 2. Добова зміна основних параметрів теплового режиму системи розморожування у промислових умовах:
№ 1– № 3 – номери дослідів; 1, 2 – температура теплоносія на виході з теплогенератора та в районі 1-го вагона відповідно;
3 – температура теплоносія на виході з системи перед димарем (або в зворотних трубах перед димососом); 4, 5 – температура першого та останнього вагонів відповідно.

Вимірювання проводилися за температури навколишнього середовища – 23 °С. Початкова вологість руди становила 28%. У

середньому тривалість процесу повного розморожування руди становила від 4 до 6 годин залежно від товщини, температури змерзлого конгломерату та інших його характеристик.

Відмічено, що після припинення подачі палива на теплогенератор і вимикання всієї системи розморожування продовжувався потік тепла всередину вагонів від відтанутих пристінних шарів вищої температури теплопровідністю до внутрішніх замерзлих більш холодних шарів вантажів, що дає можливість подальшого вдосконалення режиму нагрівання за рахунок періодичного включення теплопостачання.

Температура на зовнішній поверхні бічних стін вагонів і на колісних парах за весь процес обігріву вагонів у гаражі-розморожувачі не досягала граничних значень: 90 °С для стін вагонів і 65 °С для підшипників ковзання, що забезпечувало цілісність рухомого складу.

Система опалення на основі загального контуру випромінюючих труб конструкції Інституту газу НАНУ може бути використана для обігріву різних поверхонь, окремих ділянок, робочих місць і може бути адаптована до відповідних технологічних умов виробництва. Вона економічна, оскільки передбачає мінімальні капітальні та експлуатаційні витрати, має ресурс економії палива за рахунок рециркуляції теплоносія та періодичного включення теплогенератора, може використовувати різні види пального.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-36>

TECHNOLOGICAL ANALYSIS OF DEEP OXIDATION OF ALUMINUM STEEL

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ГЛИБОКОГО РОЗКИСЛЕННЯ СТАЛІ АЛЮМІНІЄМ

Fedorov R.F.,

*Student (group 136-22-1a),
LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Федоров Р.Ф.,

*студент гр. 136-22-1а,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Stoianov O.M.,

*PhD (Engineering),
Associate Professor, LLC "Technical
university "Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Стоянов О.М.,

*к.т.н., доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Процес розкислення сталі є одним із ключових етапів у виробництві металів, що значно впливає на чистоту та якість кінцевого продукту. Серед найефективніших розкислювачів виступає алюміній, проте його

застосування вимагає глибокого вивчення термодинамічних і технологічних параметрів процесу. Дане дослідження аналізує три підходи до розкислення сталі алюмінієм: модель розкислення на основі асоціацій метал-кисень, технологію введення алюмінію в розплав сталі шляхом занурення, та використання алюмінієвого дроту в умовах перемішування газом у ковші. У результаті проведеного аналізу було виявлено, що кожен із підходів має свої переваги та недоліки, що дає можливість застосовувати їх для різних типів металопродукції та умов виробництва.

Актуальність питання розкислення сталі алюмінієм зумовлена необхідністю зменшення вмісту шкідливих включень у кінцевому продукті, що забезпечує покращення механічних властивостей та тривалість служби металу. Алюміній є ефективним розкислювачем, який утворює стабільні оксиди (Al_2O_3), проте процес його взаємодії зі сталлю є складним та залежить від численних факторів, зокрема від технології введення та параметрів розкислення. У даній роботі проаналізовано три підходи до розкислення сталі алюмінієм, кожен з яких був представлений у трьох незалежних дослідженнях.

Модель асоціацій метал-кисень у процесі розкислення сталі. Перше дослідження, проведене Чжаном та Чоу, розглядає розкислення сталі алюмінієм через модель взаємодії асоціатів метал-кисень, що дозволяє більш точно визначити рівновагу системи розплав-кисень.

На рис. 1 представлено порівняння експериментально вимірної концентрації розчиненого кисню в сталі з розрахованими даними моделі розкислення, що враховує утворення сполук AlO та Al_2O . Графік показує, як модель адекватно описує поведінку кисню за низьких концентрацій алюмінію і демонструє розбіжності на високих концентраціях. Це підкреслює можливість застосування моделі асоціацій для прогнозування рівноваги розкислення сталі в залежності від вмісту алюмінію.

Введення алюмінію шляхом занурення у розплав. У другому дослідженні, яке виконали Віхлевщук та колеги, розглядається метод занурення алюмінієвих злитків у сталь у ковші, що забезпечує високу ступінь поглинання алюмінію та знижує його втрати від окислення (рис. 2). Методика передбачає глибоке занурення алюмінієвих злитків у сталь на глибину до 4 метрів, що дозволяє підвищити стабільність насичення розплаву алюмінієм до 40% і більше.

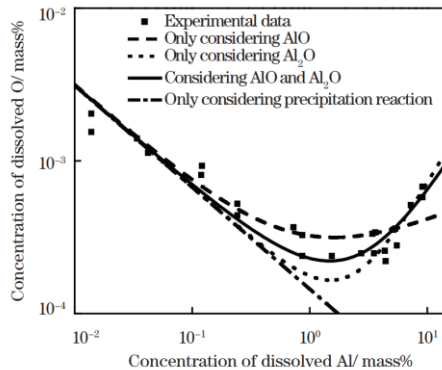


Рис. 1. Порівняння вимірних і розрахункових кривих рівноваги алюміній-кисень

Схема занурення алюмінієвих злитків може проілюструвати, як глибина занурення впливає на розподіл алюмінію в розплаві. Дослідження також показує, що додавання вапна знижує окислення шлаку, зменшуючи втрати алюмінію. Така схема могла б допомогти краще пояснити підвищення ефективності методу та стабільності алюмінію у розплаві.

Введення алюмінієвого дроту у газомішаний розплав. У третьому дослідженні, проведеному Бесковим та іншими, розглядається використання алюмінієвого дроту, що вводиться у сталевий розплав у ковші, перемішуваному аргонном. Дослідження включає чисельне моделювання з використанням обчислювальної гідродинаміки (CFD), яке дозволяє відтворити динаміку процесу утворення оксидів алюмінію та їх розподіл у розплаві. Модель показала, що найбільш активне утворення оксидів Al_2O_3 відбувається в зоні інжекції дроту, а циркуляція рідкої сталі сприяє рівномірному розподілу кисню та алюмінію в розплаві (рис. 3). Виявлено, що на початкових стадіях процесу дооксидування виникає висока ступінь пересичення, що сприяє швидкому утворенню оксидних включень і сприяє очищенню сталі. Промислові випробування на заводі Uddeholm Tooling AB підтвердили відповідність моделі реальним умовам виробництва, показуючи високий рівень узгодженості між моделлю та експериментальними результатами

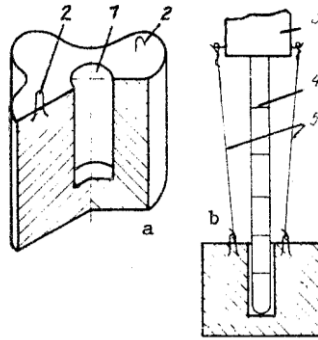


Рис. 2. Алюмінієвий злиток (а) і спосіб його кріплення до рухомої частини агрегату (б): 1) центральний отвір у зливку; 2) вушка на зливку; 3) рухома частина агрегату; 4) футерований стрижень; 5) дрiт

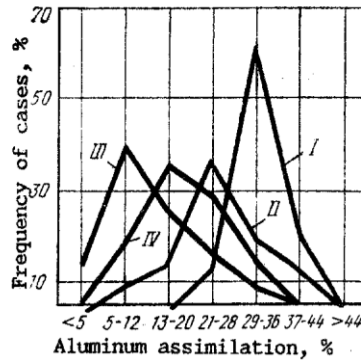


Рис. 3. Вплив способу введення алюмінію та додаткового вдування тепла на засвоєння алюмінію (кольорові криві позначають плавки, розкислені алюмінієвим зливком; чорні – плавки, розкислені алюмінієвими чушками; I та IV – плавки без додаткового вдуву; II та III показують нагрівання з додатковим обдуванням)

Результати трьох досліджень показують, що розкислення сталі алюмінієм може бути ефективно реалізоване за допомогою різних

методів, кожен із яких має свої переваги залежно від вимог до кінцевого продукту. Модель асоціацій метал-кисень дозволяє точніше прогнозувати рівновагу та вміст кисню в розплаві, метод занурення злитків забезпечує високу стабільність насичення алюмінієм, а введення алюмінієвого дроту ефективно усуває оксидні включення на початкових етапах розкислення. Подальше вдосконалення технологій розкислення стали алюмінієм може значно підвищити якість металопродукції та зменшити витрати на легуючі компоненти.

Перелік використаних джерел

1. Zhang, Gh., Chou, Kc. Deoxidation of Molten Steel by Aluminum. *J. Iron Steel Res. Int.* 22, 905–908 (2015). [https://doi.org/10.1016/S1006-706X\(15\)30088-1](https://doi.org/10.1016/S1006-706X(15)30088-1)
2. Vikhlevshchuk, V.A., Katel, L.M., Shneerov, Y.A. et al. Efficient technology for deoxidizing steel with aluminum. *Metallurgist* 30, 114–117 (1986). <https://doi.org/10.1007/BF00749428>
3. Beskow, K., Jonsson, L., Sichen, D. et al. Study of the deoxidation of steel with aluminum wire injection in a gas-stirred ladle. *Metall Mater Trans B* 32, 319–328 (2001). <https://doi.org/10.1007/s11663-001-0055-1>

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-37>

STUDY OF FORGING IN NOTCHED CYLINDER FORGINGS WITH A THROUGH HOLE

ДОСЛІДЖЕННЯ КУВАННЯ У ВИРІЗНИХ БОЙКАХ ЦИЛІНДРА З НАСКРІЗНИМ ОТВОРОМ

Chukhlib V.L.,

*DSc (Engineering), Professor,
National Technical University
“Kharkiv Polytechnic Institute”,
Kharkiv, Ukraine*

Чухліб В.Л.,

*д.т.н., професор, Національний
технічний університет «Харківський
політехнічний інститут»,
м. Харків, Україна*

Duvansky O.M.,

*PhD student,
National Technical University
“Kharkiv Polytechnic Institute”,
Kharkiv, Ukraine*

Дуванський О.М.,

*аспірант, Національний технічний
університет «Харківський
політехнічний інститут»,
м. Харків, Україна*

Кування циліндра з наскрізним отвором з корозійностійких сталей є маловивченою темою, що дає велике поле для досліджень [1].

Для моделювання було прийнято параметри кування, при яких отримано оптимальні значення формозміни металу і деформації, при яких форма поковки і течія металу є рівномірною для даної схеми.

Для кування в початковій стадії було застосовано схему кування по колу з кантуваннями по 45° та 90° . При збільшенні подовження поковки було застосовано протягування заготовки проходами, оскільки площа металу в підбойковій зоні при куванні стала більшою за половину ширини бойків. При цій схемі також було застосовано кантування на 45° та 90° . Ступінь деформації було прийнято не більше 5% (рисунок 1).

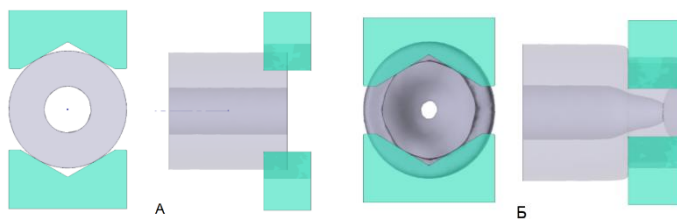


Рис. 1. Моделювання кування циліндра з наскрізним отвором, А – початкова заготовка, Б – поковка

При застосуванні даної схеми кування при куті вирізу бойків 120° і визначених параметрах було отримано більш рівномірний розподіл металу в підбойковій зоні, ніж при куванні на плоских бойках. Внутрішній і зовнішній діаметри в підбойковій зоні мають форму, близьку до кола. Також через застосування вирізних бойків окрім кращої форми вдалося отримати й більш рівномірне подовження заготовки.

Застосування комбінованої схеми кування також дало рівномірне заковування внутрішнього діаметру циліндра, а в симбіозі з використанням вирізних бойків отриманий перерозподіл металу, а також практична відсутність затисків і складок є підґрунтям для подальшого дослідження і удосконалення процесу кування циліндра з наскрізним отвором, а також для пошуку параметрів кування, які дадуть найоптимальніший результат.

Перелік використаних джерел

1. Koroliiov A. V. Experimental research of valve tightness at different closure forces / A. V. Koroliiov, P. Y. Pavlyshyn, I. V. Bandurko // Nuclear and radiation safety. 2018. Vol. 4 (80).

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-38>

**STUDY OF FORGING LARGE FORGINGS
FOR THE MANUFACTURE OF HOOKS
WITH HIGH LOAD CAPACITY**

**ДОСЛІДЖЕННЯ КУВАННЯ КРУПНИХ ПОКОВОК
ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ГАКІВ
ВЕЛИКОЇ ВАНТАЖОПІДЙОМНОСТІ**

Chukhlib V.L.,

*DSc (Engineering), Professor,
National Technical University
“Kharkiv Polytechnic Institute”,
Kharkiv, Ukraine*

Чухліб В.Л.,

*д.т.н., професор, Національний
технічний університет «Харківський
політехнічний інститут»,
м. Харків, Україна*

Kolisnyk K.D.,

*PhD student,
National Technical University
“Kharkiv Polytechnic Institute”,
Kharkiv, Ukraine*

Колісник К.Д.,

*аспірант, Національний технічний
університет «Харківський
політехнічний інститут»,
м. Харків, Україна*

Крупними поковками зазвичай є поковки для яких у якості заготовок використовуються злитки для кування і подальшого виготовлення конкретних виробів (деталей) масою декілька тон. Гаки, які виготовленні методом вільного кування мають свої переваги – вони суттєво якісніші та довговічніші, аніж вироби які виготовленні іншими методами обробки металу, такими як лиття або механічна обробка. Гаки великої вантажопідйомності виготовлені куванням крупних поковок та застосовуються у критично важливих сферах, тому вони повинні мати високу міцність, надійність та довговічність. Для отримання виробів з високими механічними властивостями, заготовку для виготовлення гаку куванням піддають ковальським операціям – спочатку осаджують, а потім протягують.

Метою дослідження є порівняння та визначення впливу параметрів процесу протягування з попередньою ковальською операцією осаджування заготовки на показники якості, а саме проробку металу шляхом пластичної деформації та рівномірність її розподілення.

Моделювання процесу осаджування та подальшого процесу протягування виконано за допомогою програмного комплексу QForm (рис. 1).

Застосування ковальської операції осаджування має великий вплив для подальшої операції протягування. В якості методу, який дозволяє оцінити і порівняти різні схеми деформування при куванні використовували розроблений авторами метод оцінки нерівномірності деформації [1] та побудували графіки показника нерівномірності деформації (наприклад, як зображено на рис. 2). Моделювання цих процесів показало, як параметри пластичної деформації (фактор форми h/D та сумарний ступінь деформації) впливають на показник нерівномірності деформації.

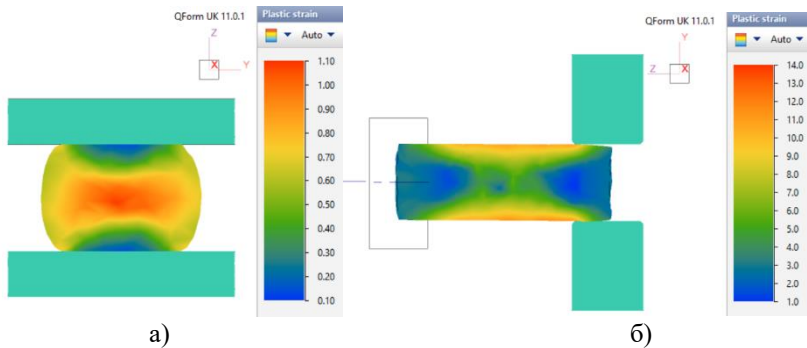


Рис. 1. Розподілення пластичної деформації заготовки гаку під час кування в перерізі при осаджуванні (а) та протягуванні (б)

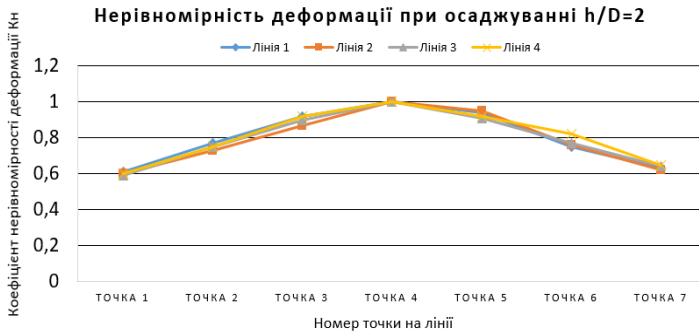


Рис. 2. Графіки показника нерівномірності деформації при осаджуванні (фактор форми) $h/D=2$

Результати досліджень показали, що саме змінюючи параметри процесів осаджування та послідуючого протягування при деформації злитку при куванні ми суттєво формуємо показники якості готового виробу, а саме гаків великої вантажопідйомності, і можемо формувати ці показники якості режимами кування при осаджуванні та протягуванні.

Перелік використаних джерел

1. Розробка технологічної концепції проектування процесів кування з урахуванням впливу режиму деформування на якість поковок / В. Л. Чухліб [та ін.]. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Сер.: *Гідравлічні машини та гідроагрегати* = Bulletin of the National Technical University "KhPI". Ser.: *Hydraulic machines and hydraulic units* : зб. наук. пр. Харків : НТУ «ХПІ», 2021. № 1. С. 95-103.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-39>**DETERMINATION OF THE MAIN TECHNICAL
CHARACTERISTICS OF THE ROLLING STAND
OF A BALL ROLLING MILL****ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ПРОКАТНОЇ КЛІТИ КУЛЕПРОКАТНОГО СТАНУ****Shtoda M.M.,***PhD (Engineering),
Associate Professor, LLC “Technical
university “Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine***Штода М.М.,***к.т.н., доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна***Bozhenko A.V.,***Student (group 136-22-1n)
LLC “Technical university
“Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine***Боженко А.В.,***студент гр. 136-22-1n,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Для зменшення фракції рудних і нерудних твердих матеріалів у промисловості широко використовується дробильно-розмольне обладнання, в яких тілами, що мелють, є кулі з твердої сталі або інших міцних і зносостійких матеріалів. Аналіз ринку сталевих кованих куль, виконаний 360 Research Reports [1] дозволив зробити прогнози зростання обсягу світового ринку кованих сталевих куль з 3,7 млрд. доларів США в 2023 році до 5,8 млрд. доларів США до 2032 року. Як зазначається у звіті, це зростання зумовлене насамперед зростанням попиту в гірничодобувній та цементній промисловості, де ці кулі відіграють вирішальну роль у процесах подрібнення.

В Україні одним із головних споживачів кованих сталевих куль є гірничо-збагачувальні комбінати, які приносять в економіку країни значну частину валюти за рахунок експорту своєї продукції та забезпечують іншу ключову галузь (металургійну промисловість) сировиною. На 2017 рік в Україні було чотири основні виробники сталевих куль: «Азовсталь» (49%), «КАМЕТ-СТАЛЬ» (21%), «Енергостіл» (27%) та Херсонський ЗКВ (3%). На даний момент реальними виробниками сталевих куль в Україні залишилися лише «КАМЕТ-СТАЛЬ» (м. Кам'янське, Дніпропетровська обл.) та

«Енергостіл» (с. Слобожанське, Харківська обл.). Тобто нарощування виробництва сталевих помольних куль на існуючих потужностях є актуальним завданням і для України, і відповідно до стану світового ринку в цілому.

Метою даної роботи є визначення основних технічних характеристик прокатної кліти кулепрокатного стану, що забезпечують задану продуктивність куль діаметром 60, 80, 90 і 100 мм.

В рамках роботи було запропоновано методика розрахунку енергосилових параметрів при прокатці сталевих куль. Перевірка адекватності моделі на основі виробничих даних показала близькість результатів розрахунків експериментальним даним.

Були виконані розрахунки енергосилових параметрів при виробництві куль діаметром 60, 80, 90 та 100 мм та отримані наступні технічні характеристики стану за умови прокатки заготовки з температурою 1020°C:

Діаметр куль, мм	Сила прокатки, кН	Момент на одному валку, кН · м	Осьова сила, кН	Частота обертання валків, об./хв.	Точка прикладення сили від торця валка з боку входу, мм	Потужність двигуна, кВт
60	400	14	40	90	115	276
80	911	20	90	90	120	395
90	989	20,5	100	80	120	352
100	1050	21	105	65	120	302

Для визначення максимальних значень силових параметрів, які можуть виникнути на стані в процесі прокатки куль діаметром 60, 80, 90 і 100 мм, розраховували потужності двигуна при різних температурах заготовки. Результати наведено на рис. 1.

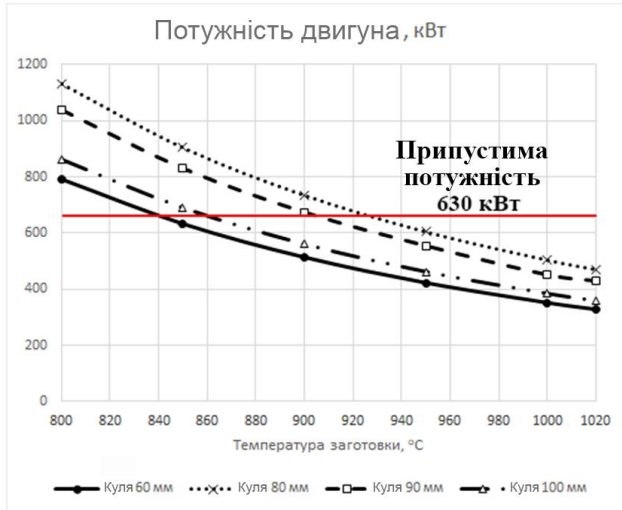


Рис. 1. Залежність потужності двигуна від температури заготовки

Як видно із рис. 1 мінімальна температура нагрівання заготовки при прокатуванні кулі діаметром 60 мм становить 840°C (при меншій температурі перевищується допустима потужність двигуна); при прокатуванні кулі 80 мм мінімальна температура заготовки – 930°C; при прокатуванні кулі 90 мм мінімальна температура заготовки – 910°C; при прокатці кулі 100 мм мінімальна температура заготовки – 860°C.

Таким чином, у роботі розроблено методику розрахунку енергосилових параметрів сталевих куль при прокатці у валках з багатозахідним калібром. На підставі запропонованої методики розраховані технічні характеристики роботи стану при прокатуванні куль діаметром 60, 80, 90 та 100 мм, які необхідні для визначення ресурсу роботи вузлів підшипникових валків.

Перелік використаних джерел

1. Forged Steel Grinding Balls Market. URL: <https://dataintelo.com/report/global-forged-steel-grinding-balls-market> (дата звернення: 30.10.2024)

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-40>

**ANALYSIS OF USE OF METALLURGICAL WASTE
DURING AGGLOMERATION**

**АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ МЕТАЛУРГІЙНИХ ВІДХОДІВ
ПРИ АГЛОМЕРАЦІЇ**

Yaholnyk M.V.,

*PhD (Engineering),
Associate Professor, LLC "Technical
university "Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia; Ukrainian State
University of Science and Technologies,
Dnipro, Ukraine*

Ягольник М.В.,

*к.т.н., доцент, ТОВ «Технічний
університет «Метінвест
політехніка», м. Запоріжжя;
Український державний університет
науки і технологій,
м. Дніпро, Україна*

Umanskyi M.A.,

*Student (group 136A-23-1m),
LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Уманський М.А.,

*студент гр. 136А-23-1м,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя; Український
державний університет науки
і технологій, м. Дніпро, Україна*

Barakhov S.I.,

*Student (group 136-22-1),
LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Барахов С.І.,

*студент гр. 136-22-1,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя; Український
державний університет науки
і технологій, м. Дніпро, Україна*

Аналіз літературних джерел свідчить, що проблема повторного використання виробничих відходів чорної металургії залишається досить актуальною. У відвалах металургійних заводів накопичені величезні запаси шламів, шлаків і ін. Щорічно у газоочисних системах агломераційного, доменного, сталеплавильного і прокатного виробництв уловлюються сотні тисяч тон залізовмісного пилу і шламів. Масова частка заліза в них складає від 40 до 72 %, що свідчить про їх високу цінність як металургійної сировини. В даний час триває накопичення цих запасів за рахунок поточного виробництва. Загальний

обсяг відходів у світі сягає майже 800 млрд. т, з них твердих відходів понад 300 млрд. т. [1].

Однак ці відходи не можуть бути залучені в доменне і сталеплавильне виробництво без попереднього окускування. Існуючі технології залучення залізовмісних відходів в агломерацію і доменне виробництво не забезпечують використання всієї кількості відходів, що утворюються. До найбільш перспективних способів утилізації пиловатих відходів відносяться агломерація, виробництво окатишів і брикетування.

Останнім часом в літературі з'явилося досить багато публікацій про розробку нових процесів, що дозволяють утилізувати металургійні відходи. Основні перспективні способи переробки металургійних відходів можна розділити на пірометалургійні, гідрометалургійні і піро-гідрометалургійні. При введенні залізовмісних відходів до складу шихти при звичайній технології агломерації знижуються показники процесу (вертикальна швидкість спікання, питома продуктивність) і якості агломерату, відбувається збільшення вмісту шкідливих домішок в готовому агломераті. Залучення цих ресурсів у виробничий процес являє собою складну науково-технічну задачу, що має великий не тільки економічний, але і екологічний інтерес.

Метою роботи є аналіз використання в агломераційній шихті відходів металургійного виробництва. Згідно поставленої мети для проведення досліджень були використані наступні матеріали: залізна руда, залізорудний концентрат, коксовий дрібняк, вапняк звичайний, відходи металургійного виробництва. Були проаналізовані спікання з використанням у якості відходів прокатної окалини. Використання прокатної окалини є перспективним варіантом враховуючи її характеристики.

Окалина відноситься до відходів прокатного виробництва з розміром часток 0,05–0,3 мм, в оболонці мінерального масла. Вона утворюється в процесі гарячої прокатки вуглеводневих сталей, при різанні злитків, заготовок, іншого сортаменту та у процесі обробки їх поверхонь. В процесі гарячої прокатки вуглеводневих сталей утворюється 11,6–19,4 кг окалини на 1 т матеріалу, що обробляється. Масова частка заліза в ній – 61–73%. Окалина, що відокремлюється від металу водою технологічних агрегатів та системою гідрозмиву, транспортується на очисні споруди. Одночасно з окалиною в воду потрапляє технологічне масло, вміст якого – 5,4–17%. Промаслену окалину, яка утворюється при виробництві сталей, можна умовно поділити на крупнодисперсну (> 0,1 мм) та дрібнодисперсну (< 0,1 мм). Крупні частки осідають,

завичай, в ямах для крупної окалини, тому їх зневоднення не представляє труднощів. Масова частка заліза у промасленій окалині перевищує масову частку заліза у залізородних концентратах, які виробляють гірничо-збагачувальні комбінати України [2].

Враховуючи переваги окалини не потрібно забувати про недоліки цих відходів такі як замаслення. При використанні у агломераційній шихті замасленої окалини можливі проблеми виходу з ладу роторів ексаустерів, аварійні ситуації. Тому підхід до цього питання повинен бути жорстким. Тільки знемаслена окалина може бути ефективно використана у агломераційному процесі. Що підтверджує наведений нижче аналіз використання окалини у агломераційному процесі.

Склад шихти до спікання кожної проби розраховувався індивідуально. Витрата звороту складала відповідно 25 %. Співвідношення між концентратом і рудою було прийнято 1:1. Витрата води на кожне спікання складала 7,5%. Після спікань розраховували показники процесу спікання і якості агломерату. Використовували два різних види окалини: окалина 1, (крупна) «Дніпропетровський завод прокатних валків» та окалина 2, (дрібна) «Дніпропетровський трубний завод». Витрата окалини складала від 0 до 12%.

При середній кількості завантаженої шихти для одного спікання 2,0 кг при висоті шару шихти 255-280 мм середній час спікання становив 10,5-16 хв. При цьому найбільша вертикальна швидкість спікання спостерігалася при вмісті окалини 2 в шихті 8-12 % – відповідно 27,6 мм/хв. Вихід агломераційного спеку за результатами дослідження практично не залежить від вмісту окалини в шихті, а залежить від висоти шару шихти та знаходиться на рівні 1905-1990 г.

Розглядаючи вплив кількості окалини на вихід годного агломерату можна зробити висновок, що вихід годного не залежить від вмісту окалини 1 і вихід годного був на рівні 48,2-49,7%. При збільшенні вмісту окалини 2 з 4 до 12 % вихід годного збільшується від 48,4 до 62,1 %, тобто добавка окалини 2 позитивно впливає на вихід годного.

Що стосується показників якості агломерату, то максимальний показник індексу на удар, по виходу фракції +5 мм після іспитів спостерігається при базовому спіканні без добавки окалини становить 93,3%. Якщо говорити про питому продуктивність агломераційної установки, то виділяються спікання з витратою «окалини 2» в 8-12 %, коли продуктивність сягала 1,23–1,30 т/м²-год.

Аналіз проведених експериментів показав, що прокатна окалина є перспективним відходом для використання у агломераційному процесі.

Хімічний склад використовуваних шламів був наступним: Fe – 72-73%, SiO₂ – 0,13-0,17%, MgO – 0,43-0,45%. Залізо в окалині міститься у вигляді оксидів, кількість яких змінюється до 78,3%. Додавання незамасленої прокатної окалини у кількості від 4 до 12 % в агломераційну шихту без будь-якої підготовки та спікання її за класичною технологією дещо навіть покращує техніко-економічні показники процесу.

Таким чином, використання відходів у агломераційному виробництві дозволить понизити витрату основних сировинних ресурсів. Переробка відходів одночасно вирішує завдання ресурсозбереження і поліпшення екологічної обстановки.

Перелік використаних джерел

1. Підлісна О.А., Філозоф В.М. Економічна ефективність використання вторинних відходів промисловості. *Економічний вісник НТУУ «КПІ»*. 2011. №. 8. С. 173-178.
2. Губіна В.Г., Горлицький Б.О. Проблема залізовмісних відходів гірничо-металургійного комплексу України – системний підхід. *Збірник наукових праць Інституту геохімії навколишнього середовища*. 2009. Вип. 17. С. 79-92.

INNOVATIONS IN MATERIALS SCIENCE, WELDING AND MECHANICAL SYSTEMS ENGINEERING

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-41>

NUMERICAL SIMULATION IN RADIAL-FORWARD EXTRUSION PROCESS TO ANALYZE FORMING CHARACTERISTICS

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РАДІАЛЬНО-ПРЯМОГО ВИДАВЛЮВАННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ ХАРАКТЕРИСТИК ФОРМОУТВОРЕННЯ

Abhari P.B.,

*DSc (Engineering), Professor,
Donbas State Engineering Academy,
Kramatorsk-Ternopil, Ukraine*

Абхари П.Б.,

*д.т.н., професор, Донбаська
державна машинобудівна академія,
м. Краматорськ-Тернопіль, Україна*

Solianov D.O.,

*PhD Student, Donbas State
Engineering Academy,
Kramatorsk-Ternopil, Ukraine*

Солянов Д.О.,

*аспірант, Донбаська державна
машинобудівна академія,
м. Краматорськ-Тернопіль, Україна*

Bochkovoi D.O.,

*PhD Student, Donbas State
Engineering Academy,
Kramatorsk-Ternopil, Ukraine*

Бочковой Д.О.,

*аспірант, Донбаська державна
машинобудівна академія,
м. Краматорськ-Тернопіль, Україна*

Extrusion is a highly efficient metal-forming technique used in a wide range of applications. It offers significant economic advantages compared to other production methods due to its high-speed capabilities. There are five primary types of extrusion: forward, backward, radial, lateral, and combined. This research focuses on analyzing the strain-stress state and change of loads on die parts during combined extrusion with material flow in both radial and forward directions. Numerical simulation using the rigid-plastic finite element method (FEM) in Deform 2D was conducted to investigate the radial-forward extrusion process [1].

The die geometry and power mode (as shown in Figure 1) are as follows: R_0 – the radius of billet ($R_0=18\text{mm}$), $t = R_1 - R$ – the thickness of branch in

forward direction ($t=4.5\text{mm}$), h – the flange height ($h=9\text{mm}$), r – the radius of fillet ($r=2\text{mm}$), V – punch velocity ($V=1\text{mm/s}$), The friction factors between the billet and tools are constant (Zibel's law, $\mu=0.08$), and also the material used for the simulation is AA 6060 aluminium alloy.

In radial-forward extrusion with an axisymmetric billet, a rigid punch forces the material through a die cavity. The billet is modeled as rigid-plastic, while the punch and other tools are rigid. All components are initially at room temperature.

Deformation patterns (gridlines distortion), distributions of effective strain and stress for this extrusion process are shown in figure 1. Based on the figure, the maximum effective strain and stress values reached are 2.0 and 220 MPa, respectively [2].

The variations of punch load and disclosure load of the upper die with punch displacement (stroke) have been shown in the figure 2.

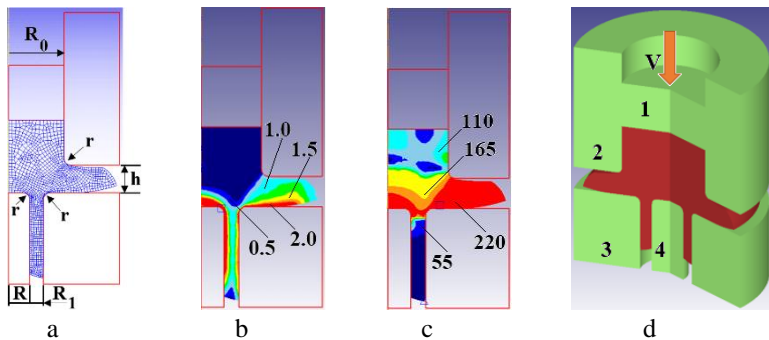


Fig. 1. Single-ended radial-forward extrusion process: deformation patterns (gridlines distortion) (a), effective strain distributions (b), effective stress distributions (c) and die scheme to design radial-forward extrusion process (d).

1 – punch, 2 – upper die, 3 – lower die 4 – mandrel

The figure 2a demonstrates that the forming loads increased rapidly and steadily with the punch stroke at all stages of the deformation. In the figure 2b shows three distinct stages in the disclosure load: an initial increase, followed by a decrease, and finally, a sharp rise in forming loads as the punch stroke continues. Changing the flow material will have a significant impact on load changes [3].

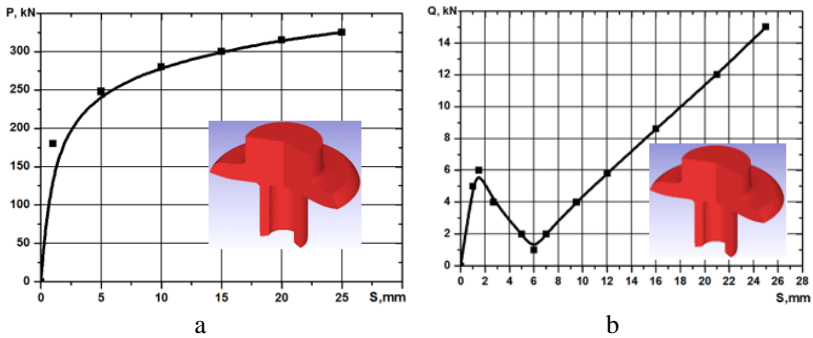


Fig. 2. The punch load vs. the punch stroke (a) and the disclosure load of the upper die vs. the punch stroke (b) in single-ended radial-forward extrusion process

Conclusions:

1. This paper presents a numerical simulation of the radial-forward extrusion process, which provides insights into the strain-stress state and load variations on die components during deformation.
2. The results demonstrate that the maximum effective strain and stress values reached were 2.0 and 220 MPa, respectively, which are crucial for understanding material behavior under specific extrusion conditions.
3. The study concludes that changes in material flow significantly impact the load distribution, offering potential optimizations for the extrusion process and tool design.

Bibliography

1. L. N. Patra and S. K. Sahoo, 3D analysis of extrusion-forging process: Pentagonal head with round shaft. *International Journal of Applied Engineering*, vol 1, PP. 2-8, 2011.
2. Payman Abhari Computer-aided simulation to investigate material flow in combined-radial extrusion / Payman Abhari // *International Journal of Engineering Research and Advanced Technology*. 2018. Vol. 4. – Issue 2. – P. 24–28.
3. Payman Abhari, Investigation of load on the tools in precision radial extrusion process with multiple ram /Payman Abhari // *XVII International scientific conference «New technologies and achievements in metallurgy, material engineering and production engineering»*: Series: Monografie. – Nr 56. – Częstochowa, Poland, 2016 – P. 330–333.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-42>

IMPROVING THE PROCESSES OF PRECISION VOLUMETRIC STAMPING OF HOLLOW PARTS

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ ТОЧНОГО ОБ'ЄМНОГО ШТАМПУВАННЯ ПОРОЖНИСТИХ ДЕТАЛЕЙ

Aliiev I.S.,

DSc (Engineering), Professor, Donbas State Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine

Алієв І.С.,

д.т.н., професор, Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, Україна

Levchenko V.M.,

PhD (Engineering), Junior Researcher, O.Ya. Usikov Institute for Radiophysics and Electronics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

Левченко В.М.,

к.т.н., молодший науковий співробітник, Інститут радіофізики та електроніки імені О.Я. Усикова Національної академії наук України, м. Харків, Україна

Chuchin O.V.,

PhD (Engineering), Senior Lecturer, Donbas State Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine

Чучін О.В.,

к.т.н., старший викладач, Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, Україна

Malii O.G.,

PhD student, Donbas State Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine

Малій О.Г.,

аспірант, Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, Україна

Для процесів холодного і гарячого деформування порожнистих деталей типу стаканів та гільз з характерно високими повними і питомими навантаженнями однією з основних цілей пошуку раціональних способів деформування є зниження параметрів силового режиму та нерівномірності деформованого стану за рахунок використання корисних сил контактного тертя, додаткових впливів на заготовку і управління кінематикою течії металу [1]. Удосконалення процесів точного об'ємного штампування деталей типу корпусів, гільз та стаканів на основі нових способів деформування надає змогу зменшити кількість переходів формоутворення, а низькі питомі навантаження на інструмент підвищують його стійкість та зменшують потужність обладнання для виробництва.

До нових перспективних способів деформування порожнистих деталей можна віднести комбіноване видавлювання на основі методів поперечного (радіального і бокового) і поздовжнього видавлювання, а також процесів формоутворення з додатковим силовим і кінематичним впливом на заготовку. Ці способи створюють можливість виготовлення деталей більш складних просторових форм та з меншими питомими і повними навантаженнями на інструмент. На рис. 1 наведена частина нових технологічних способів видавлювання порожнистих деталей.

Способи видавлювання, які засновані на керуванні кінематикою течії металу і силами контактної тертя (рис. 1, схема 1), комбінуванні простих схем видавлювання (схема 2), спрямовані на оптимізацію силового режиму та підвищення якості формоутворення деталей. Підвищення технологічних можливостей і якості виробів за рахунок виключення дефектів типу утяжин та поперечних тріщин досягають шляхом прикладення до бічної поверхні заготовки 1, розміщеної в матриці 2, сил тертя (за допомогою рухливих пуансона 4 і контрпуансона 3), які реверсивно спрямовані уздовж осі симетрії стакану (див. рис. 1, схема 1). Неодноспрямований змінний вплив на бічну поверхню силами тертя сприяє переорієнтації, вирівнюванню, заліковуванню і повному усуненню поперечних тріщин [2].

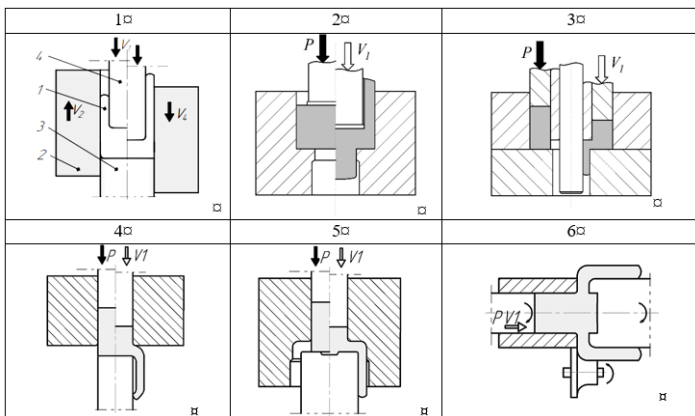


Рис. 1. Способи видавлювання порожнистих деталей

Розвитком способу комбінованого видавлювання порожнистих деталей (схема 2) є те, що деформування відбувається в два етапи таким

чином, що на першому етапі одночасно виконують зворотне видавлювання стінки стакану та пряме видавлювання з утворенням технологічного відростку в донній частини стакану, а на другому етапі відбувається витіснення металу з технологічного відростку назад у стінку стакану [3].

Способи виготовлення порожнистих деталей типу втулок шляхом комбінування радіального видавлювання до центру і прямого видавлювання (схема 3) відрізняються можливістю отримання виробів з профільованою внутрішньою поверхнею у вигляді сходин або спіральних канавок [1].

Способи виготовлення порожнистих деталей типу глибоких гільз (стаканів) відрізняються комбінуванням схем радіального і поздовжнього видавлювання. При цьому вільна течія металу на стадії радіального видавлювання (схема 4) сприяє зниженню сил деформування до треті.

За способом виготовлення порожнистих деталей типу гільз шляхом поперечно-прямого видавлювання (схема 5) під час видавлювання деталі в її донній частині прямим видавлюванням формується технологічний відросток, який видаляється в заключній стадії процесу зворотним переміщенням металу в осередок деформування на дні деталі [4].

За новим способом ротаційного комбінованого радіально-прямого видавлювання радіус зони розвороту течії з радіальної на пряму є змінним і регульованим (схема 6) [5]. В результаті створюється можливість виготовлення деталей зі складним зовнішнім або внутрішнім профілем зі змінною товщиною стінки.

Суть іншого способу виготовлення порожнистих деталей типу гільз [6] полягає в деформуванні заготовки шляхом двох перехідного комбінованого видавлювання і протягування, при цьому в першому переході процесу півфабрикат виробу виготовляють у вигляді конічного стакану і його формують способом комбінованого зворотно-прямого видавлювання, а потім з нього обтисненням і протягуванням отримують циліндричну гільзу.

Дослідження та створення нових удосконалених технологічних процесів штампування виконувалося із застосуванням сучасних методів математичного та фізичного моделювання. Розробка моделей на основі енергетичного методу верхньої оцінки дозволила отримати розрахункові залежності і рекомендації для оптимізації технологічних режимів. Моделі на основі методу скінчених елементів надали можливість встановити нові закономірності напружено-деформованого стану

деталей складної конструкції з урахуванням кінематичного впливу, умов тертя, швидкості та схем деформування.

Перелік використаних джерел

1. Алієв І.С., Грудкіна Н.С., Малій Х.В., Таган Л.В. Моделювання та розробка процесів точного об'ємного штампування видавлюванням : монографія. Краматорськ : ДДМА. 2021. 176 с. *ISBN 978-617-7889-08-2*.

2. Пат. 67977 А Україна, В21 К21/00. Спосіб видавлювання порожнистих деталей. Алієв І.С., Савчинский І.Г., Алієва Л.І., Сивак К.І. № 2003077078 ; заявл. 28.07.2003 ; опубл. 15.07.2004. Бюл. № 7.

3. Пат. 141858 Україна, В21К 21/00. Спосіб виготовлення порожнистих деталей типу гільз. Алієва Л.І., Калюжний В.Л., Корденко М.Ю., Самоглядюв А.Д. u201911074; заявл. 11.11.2019; опубл. 27.04.2020. Бюл. № 8.

4. Пат. 107950 Україна. В21J 5/12, В21К 21/00. Спосіб виготовлення порожнистих виробів типу стакану. Алієва Л.І., Гончарук Х.В., Шкіра О.В., Сивак Р.І. № u2015 13100; заявл. 30.12.2015 ; опубл. 24.06.2016. Бюл. 12.

5. Пат. 133899 Україна. В21К 21/00. Спосіб виготовлення порожнистих деталей. Алієва Л.І., Алієв І.С., Левченко В.М., Малій Х.В., Самоглядюв А.Д. u201811522; заявл. 23.11.2018; опубл. 25.04.2019. Бюл. 8.

6. Пат. 141755 Україна, В21 К21/00. Спосіб видавлювання порожнистих деталей. Алієв І.С. Калюжний В.Л. Алієва Л.І. Левченко В.М. Малій Х.В. u201910279; заявл. 10.10.2019; опубл. 27.04.2020. Бюл. № 8.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-43>

**DETERMINATION OF THE DYNAMIC COEFFICIENT
OF SAMPLES MADE OF COMPOSITE MATERIAL BASED
ON POLYMER MM «STAHL 1018»**

**ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНОГО КОЕФІЦІЄНТА ЗРАЗКІВ,
ВИГОТОВЛЕНИХ З КОМПОЗИТНОГО МАТЕРІАЛУ
НА ПОЛІМЕРНІЙ ОСНОВІ MM «STAHL 1018»**

Arustamian A.S.,

PhD (Engineering),

*Associate Professor, LLC "Technical
university "Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Арустамян А.С.,

к.т.н., доцент,

*ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

В тезі представлено визначення динамічного коефіцієнта зразків з композиційного матеріалу MM «Stahl 1018». Відновлення опорних поверхонь металургійного обладнання можливе використовуючи композитний матеріал «Stahl 1018» без виконання додаткових підготовчих операцій за технологією, розробленою авторами статті [1-4].

Визначено, що традиційні методи реставрації вимагають додаткових технологічних операцій (таких як шабрування тощо.), водночас реставрація композитними матеріалами наразі не проводиться через низьку стійкість останніх до ударних навантажень. Для визначення механічних характеристик цього матеріалу було проведено серію експериментів, і в цій тезі представлено результати визначення динамічного коефіцієнта. На рис. 1 представлено динамічну модель.

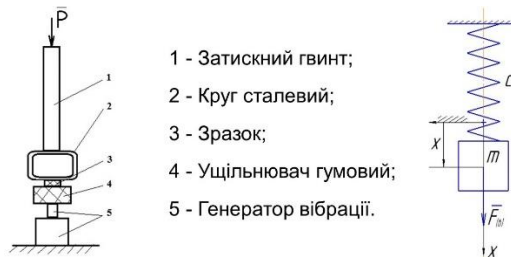


Рис. 1. Динамічна модель

Експерименти проводилися для зразків діаметром 12 мм і висотою 4 мм. Частота вібрації була встановлена на 10 Гц. Час експерименту становив 10 хв. Розрахунки на міцність при динамічних навантаженнях зводяться до визначення динамічного коефіцієнта, що дозволяє визначити допустимі динамічні напруження. На рис. 2 показано залежність лінійної деформації зразків виготовлених з композитного матеріалу ММ «Stahl 1018» від осьового навантаження для температури 20°C та 80°C.

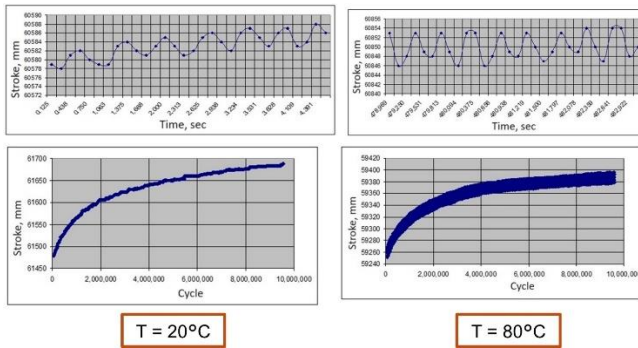


Рис. 2. Залежність лінійної деформації зразків виготовлених з композитного матеріалу ММ «Stahl 1018» від осьового навантаження для температури 20°C та 80°C

Визначення допустимих динамічних напружень визначається за формулою:

$$[\sigma_D] = k_D [\sigma_{St}]$$

де $[\sigma_D]$ – допустима динамічна напруга, МПа;

k_D – динамічний коефіцієнт;

$[\sigma_{St}]$ – допустима статична напруга, МПа.

Динамічний коефіцієнт визначається за наступною формулою:

$$k_D = 1 + \frac{A_{Wym}^{(max)}}{\delta_{St}}$$

де $A_{Wym}^{(max)}$ – максимальна амплітуда вимушених коливань, мм;

δ_{St} – статична деформація пружного з'єднання, мм.

За результатами розрахунків, отримані дані, що наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Результати розрахунків

Висота зразків Н, [mm]	Температура Т, [°C]	Статична деформація δ_{st} , [mm]	Амплітуда вимушених коливань А, [mm]	Динамічний коефіцієнт
4	20	0,439	0,00064	1,00146
4	40	0,440	0,00064	1,00146
4	60	0,443	0,00064	1,00144
4	80	0,448	0,00064	1,00143
6	20	0,454	0,00064	1,00141
6	40	0,458	0,00064	1,0014
6	60	0,467	0,00064	1,0014
6	80	0,475	0,00064	1,00136
8	20	0,469	0,00064	1,00136
8	40	0,473	0,00064	1,00135
8	60	0,479	0,00064	1,00133
8	80	0,49	0,00064	1,0013
10	20	0,485	0,00064	1,00132
10	40	0,491	0,00064	1,0013
10	60	0,5	0,00064	1,00128
10	80	0,51	0,00064	1,00125

Теоретичні розрахунки показали, що зразки з матеріалу ММ «Stahl 1018» здатні витримувати динамічні та статичні навантаження, які у багато разів перевищують сили, що діють у реальних умовах.

Перелік використаних джерел

1. Arustamian A, Kalisz D.: Doświadczalne wyznaczenie granicy plastyczności materiału kompozytowego Arch. Found. Eng. 2015 15, 7–11
2. Arustamian A, Sołek K, Kalisz D.: Identification of yield point of polymer-based composite material in the conditions of increased temperatures Arch. Metall. Mater. 2016 61 (3), 1561–1566.
3. Sołek K, Kalisz D, Arustamian A, Ishchenko A. Analysis of strength characteristics of composite materials under vibration loads at higher temperatures J. Mach. Constr. Maint. 2017 1, 93-97.
4. Arustamian A, Kalisz D, Multimetal Stahl 1018 composite – structure and strength properties Arch. Found. Eng. 2020.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-44>

INCREASING THE INITIAL HARDNESS OF HIGH-CHROMIUM DEPOSITED METAL WITH METASTABLE AUSTENITE

ПІДВИЩЕННЯ ПОЧАТКОВОЇ ТВЕРДОСТІ ВИСОКО ХРОМИСТОГО НАПЛАВЛЕНОГО МЕТАЛУ З МЕТАСТАБІЛЬНИМ АУСТЕНИТОМ

Boyko I.O.,

*PhD (Engineering),
Associate Professor, LLC "Technical
university "Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Бойко І.О.,

*к.т.н., доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Pashynskiy V.V.,

*DSc (Engineering), Professor,
LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Пашинський В.В.,

*д.т.н., професор,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Pashinska O.G.,

*DSc (Engineering), Professor,
LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Пашинська О.Г.,

*д.т.н., професор,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Popularisation of high-carbon high-chromium steels for tool hardening and restoration by cladding is connected with their relatively low cost and wear resistance. In addition, the metal clad with steels of this class allows to obtain in the structure of the clad metal a sufficiently large amount of metastable austenite [1-2].

According to standard EN14700 cladding materials of groups Fe6 and Fe8 are proposed to be used at the following types of wear. For materials of group Fe6: g-resistance to abrasion, p-impact resistance; s-edge retention; For materials of group Fe8: g-resistance to abrasion; p-impact resistance; t-hardness resistance [3]. Chemical composition, hardness and recommended structure of the weld metal are given in Table 1.

Table 1

Standart data [2]

Alloy	Chemical composition, %							Hardness HRC	Structure
	C	Cr	Mn	Mo	W	V	Nb		
Fe6	≤2,5	≤10	≤3	≤3	-	-	≤10	48-55	M+C*
Fe8	0,2-2	5-20	≤3	≤5	≤2	≤2	≤10	50-65	M+C*

* – Martensite+carbides

In this case, the standard regulates the chemical composition and hardness of the weld metal and recommends adhering to the structure of martensite + carbides.

However, a study of some clad metal compositions shows that it is difficult to obtain martensite directly after cladding without heat treatment. This requires the introduction of expensive niobium, but the result can be unpredictable. As practice and analysis of literature data shows, the main factor determining the hardness of the clad layer is the chromium-carbon ratio. In addition, a fully martensitic matrix in the structure of the clad metal may not provide high heat resistance and may lead to fracture and chipping of the clad layer during operation. Therefore, some producers of surfacing materials do not follow the recommendations of the standard regarding the structure of the clad layer and leave a rather large amount of metastable austenite in the structure.

For example, metal clad with coated electrodes of Fe6-E-X120Cr10Si2Mn type (Figure 1) has up to 85% of metastable austenite and 15% of ledeburite in its structure, while maintaining high heat resistance and work hardenability. Grains of austenite allow to keep high plasticity for this chemical composition at hardness level in the 4th cladding layer 46-48 HRC.

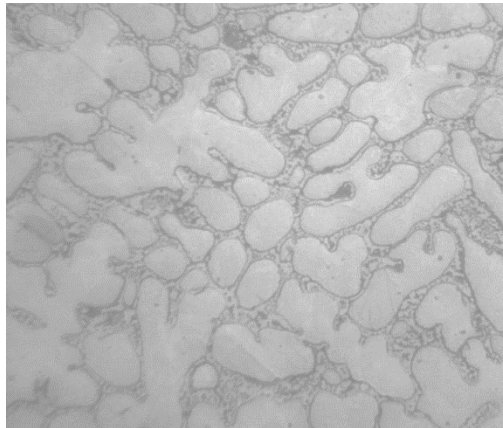


Fig. 1. Microstructure of X120Cr10Si2Mn clad metal, 46,1HRC (x800)

Reduction of the chromium-carbon ratio and additional alloying with boron at the level of 0.1-0.15% allow to start incomplete martensitic-bainitic transformation inside metastable grains in the range of continuous cooling rates from 10 to 100 C/min (Figure 2).

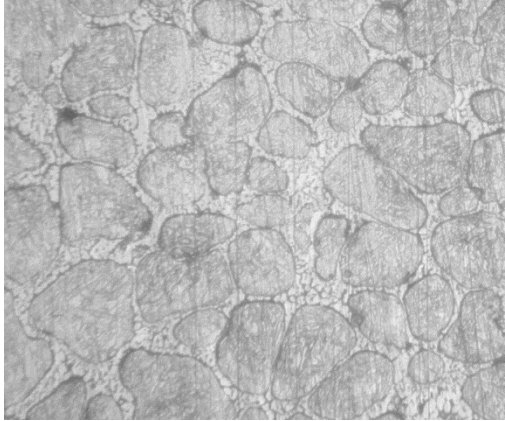


Fig. 2. Microstructure of X85Cr8Si2Mn+B clad metal, 54,1HRC (x800)

Thus, reduction of chromium-carbon ratio with additional alloying of the clad metal with boron allows to obtain a favorable structure consisting of ledeburite interlayers and austenite-martensitic grains, which have not lost the property of further martensitic transformation of metastable austenite during operation.

Bibliography

1. Попов С.М, Антонюк Д.А., Нетребко В.В. Триботехнічні та матеріалознавчі аспекти руйнування сталей і сплавів при зношуванні.: Навчальний посібник. Запоріжжя: ЗНУ, ВАТ «Мотор Січ», 2010, 368 с.
2. Попов С.М. Дослідження впливу залишкового аустеніту та твердої надлишкової фази на зносостійкість наплавлювальних сплавів/ *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»* Збірник наукових праць. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. Х.: НТУ «ХПІ», 2013, №16(989), С. 10-14.
3. ДСТУ EN 14700:2019 Матеріали зварювальні. Зварювальні матеріали для наплавлення (EN 14700:2014, IDT)
4. Malinov L. S., Malinov V. L., Burova D. V., Anichenkov V. V. Increasing the abrasive wear resistance of low-alloy steel by obtaining residual metastable austenite in the structure. *Journal of Friction and Wear*, Vol. 36, 2015, No.3, p.237–240. <https://doi.org/10.3103/S1068366615030083>

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-45>

**ENERGY-SAVING HEAT TREATMENT OF STEEL 45G
WITH HEATING IN THE INTERCRITICAL
TEMPERATURE INTERVAL (MKIT)**

**ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧА ТЕРМООБРОБКА СТАЛІ 45Г
З НАГРІВОМ У МІЖКРИТИЧНИЙ ІНТЕРВАЛ
ТЕМПЕРАТУР (МКІТ)**

Burova D.V.,

PhD (Engineering),

*Associate Professor, LCC "Technical
university "Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Буро́ва Д.В.,

к.т.н., доцент,

*ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Енергозбереження є надзвичайно актуальною проблемою в сучасному суспільстві. Одним із способів її вирішення є розробка режимів термообробки конструкційних сталей з нагрівом у МКІТ. У роботі досліджено вплив на структуру та механічні властивості сталі 45Г режимів термообробки з нагрівом в МКІТ. Зазвичай такі режими для даної марки сталі не застосовуються. У роботі використовували металографічний і дюророметричний аналізи, визначали механічні властивості під час розтягування та ударного вигину.

Загартування з нагріванням у МКІТ і низький відпуск сталі 45Г забезпечують у неї рівень міцнісних властивостей дещо нижчий, ніж після загартування з нагріванням вище A_{c3} , але при цьому вищою пластичність. Застосування загартування з нагріванням у МКІТ і високого відпуску за нижчої (на 50-70 °C) його температури, ніж зазвичай проводять, дало змогу одержати приблизно такий самий комплекс механічних властивостей, що й після поліпшення за типовим режимом, за нижчих енерговитрат на термообробку.

Встановлено, що нормалізація з нагріванням у міжкритичний інтервал температур сталі 45Г порівняно з нормалізацією за типовим режимом дає змогу отримати сприятливіший рівень властивостей. У цій сталі спостерігається підвищення міцнісних властивостей при збереженні на достатньому рівні пластичності та ударної в'язкості. Нормалізація з нагріванням у МКІТ дає змогу знизити енерговитрати на термообробку. Для неї додатково було проведено нормалізацію з

нагріванням у МКІТ з попередньою або наступною аустенізаціями, після яких охолодження здійснювалося на повітрі (у першому випадку до температури МКІТ, а в другому – до кімнатної). Попередня аустенізація перед витримкою в МКІТ створює дрібнозернистість структури, що полегшує перерозподіл елементів у МКІТ. Короточасна аустенізація після витримки в МКІТ виключає вирівнювання складу аустеніту і також, як і в попередньому випадку, забезпечує отримання дрібного зерна. Перший варіант простіший, ніж короточасна аустенізація після витримки в МКІТ, оскільки його можна здійснити в одній печі. Зазначені обробки дають змогу отримати підвищені механічні властивості.

Ізотермічне загартування з нагріванням у МКІТ, що вимагає менших енерговитрат порівняно з поліпшенням за типовим режимом, забезпечило в сталі 45Г вищі характеристики міцності за достатнього рівня пластичності та ударної в'язкості. На цій сталі досягнуто ще більш високого рівня властивостей термообробкою, що полягає в ізотермічному загартуванні з МКІТ з попереднім цьому нагріванням в аустенітну область. Міцність і ударна в'язкість значно перевершують ці характеристики після поліпшення. Дещо збільшуються і пластичні характеристики.

У всіх випадках отримані механічні властивості порівнювали з такими після термообробки за типовим режимом із нагріванням під загартування в аустенітну область. Встановлено, що чим вища температура нагріву в МКІТ (за однієї й тієї самої витримки), тим вищими є властивості міцності, але нижчими пластичність і ударна в'язкість. Під час проведення загартування з МКІТ досягається менш високий рівень міцнісних властивостей, ніж після звичайного та ізотермічного загартування з нагріванням за типовим режимом, але водночас забезпечується вища пластичність і ударна в'язкість. При зниженні температури відпуску на 100 °С рівень механічних властивостей практично такий самий, як і після термообробки за типовим режимом.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-46>

INFLUENCE OF SELF-TEMPERING TEMPERATURE ON THE STRUCTURE OF ACCELERATEDLY COOLED MEDIUM-CARBON STEEL

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ САМОВІДПУСКУ НА СТРУКТУРУ ПРИСКОРЕНО ОХОЛОДЖЕНОЇ СЕРЕДНЬОВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ

Vakulenko I.O.,

*DSc (Engineering), Professor,
Dniprovsky State Technical University,
Kamianske, Ukraine*

Вакуленко І.О.,

*д.т.н., професор, Дніпровський
державний технічний університет,
м. Кам'янське, Україна*

Plitchenko S.O.,

*PhD (Engineering), Associate
Professor, Dniprovsky State Technical
University, Kamianske, Ukraine*

Плітченко С.О.,

*к.т.н., доцент, Дніпровський
державний технічний університет,
м. Кам'янське, Україна*

Shebnikov A.V.,

*PhD student, Dniprovsky State
Technical University,
Kamianske, Ukraine*

Хлебніков А.В.,

*аспірант, Дніпровський державний
технічний університет,
м. Кам'янське, Україна*

За термічного зміцнення стрижневого прокату в лінії прокатного стану, градієнту температур, що виникає по перерізу металу, відповідає формування структур за різними механізмами. Починаючи від структурних перетворень аустеніту за механізмом зсуву, що відповідає максимальній швидкості охолодження поблизу поверхні інтенсивного тепловідведення і формуванню структур мартенситного типу, до дифузійного механізму, зі структурами різної дисперсності. Зі збільшенням відстані мікрооб'ємів металу від поверхні прокату, відбувається поступове зниження швидкості охолодження, що призводить до відповідних якісних структурних змін.

Дійсно, вже незначне зниження швидкості охолодження, порівняно з критичним значенням, стає достатнім для перетворення аустеніту за проміжним механізмом, а за значних перерізів прокату, поблизу центральних об'ємів, за дифузійним механізмом, з формуванням ферито-перлітних структур. Більше того, на момент завершення прискореного охолодження, величина градієнту температур визначатиме зміну температури розігріву металу в залежності від відстані мікрооб'єму від зовнішньої поверхні. На підставі цього, шари металу починаючи від поверхні прокату, зі структурами зміцнення неминуче будуть піддаватися додатковому нагріву від центральних об'ємів, з більш високою температурою. В результаті, в міру просування від поверхні,

прокат можна уявити, як складений з шарів з певною структурою та відповідним комплексом властивостей. Характер зміни властивостей міцності при навантаженні, для кожного окремого шару буде аналогічним впливу температури відпуску на структуру і властивості сталі після гартування [1].

На підставі адитивного внеску структурних складових в загальний рівень характеристик міцності, можна визначити, що зміна їх співвідношення, дозволить отримати необхідну структурну неоднорідність по перерізу прокату і відповідний рівень властивостей.

З підвищенням температури відпуску загартованої середньовуглецевої сталі, характеристики міцності знижуються з одночасним підвищенням пластичних властивостей [2]. За температурою відпуску, крива пом'якшення сталі після гартування (рис. 1, а) відповідає розвитку якісно різних процесів структурних змін.

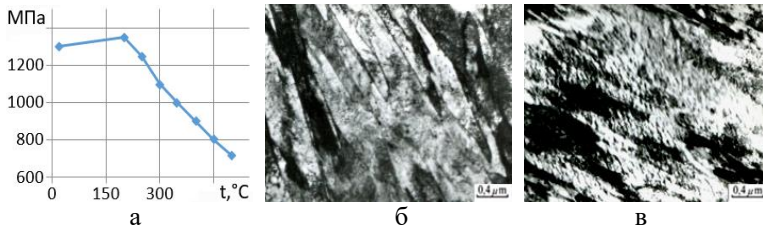


Рис. 1. Вплив температури відпуску на міцність сталі після гартування (а) та структуру після відпуску при 200 °С (б, в)

За аналізом мікроструктури визначено, що в результаті гартування від температур вищих за A_{c3} , та самовідпуску, сформована структура сталі відповідає рейковому мартенситу з високою щільністю дислокацій та шириною рейок менших за 1 мкм (рис. 1, б). В окремих кристалах мартенситу виявляються дисперсні двійники та випадково орієнтовані карбідні частки (рис. 1, в). Присутність в структурі частинок карбідної фази свідчить про розвиток процесів самовідпуску мартенситу, формування якого завершується за температур, достатніх для прискорення процесів дифузії атомів вуглецю. Так, для сталі з вмістом вуглецю 0,3 %, температура початку мартенситного перетворення становить близько 400...450 °С, чого цілком достатньо для початку виділення атомів вуглецю вже в процесі формування самих кристалів мартенситу [3, 4]. Відсутність приросту міцності, після відпуску при температурі 200 °С сталі після гартування (рис. 1, а), пояснюється недостатньою концентрацією атомів вуглецю в аустеніті досліджуваної сталі.

При відпуску сталі за температур 300...350 °С, ефект пом'якшення від розвитку процесів перерозподілу дислокацій і зниження їх щільності, частково компенсується дисперсійним зміцненням від формування додаткової кількості частинок цементиту, що підтверджується

монотонним зниженням мікротвердості при 400°C та початком полігонізації в мартенситних кристалах. На підставі цього, поява в структурі сталі додаткових субмеж та вдосконалення субмеж, що були утворені раніше, представляє собою додатковий фактор диспергування елементів внутрішньої будови металу. Хоча зазначені зміни субструктури і мають ефект зміцнення, в дійсності їх вплив на характеристики міцності не достатньо значний. Подальше підвищення температури відпуску до 500 °C супроводжується формуванням субструктури близької до рівновісної (рис. 2), що пояснює прогресуюче пом'якшення сталі після гартування.

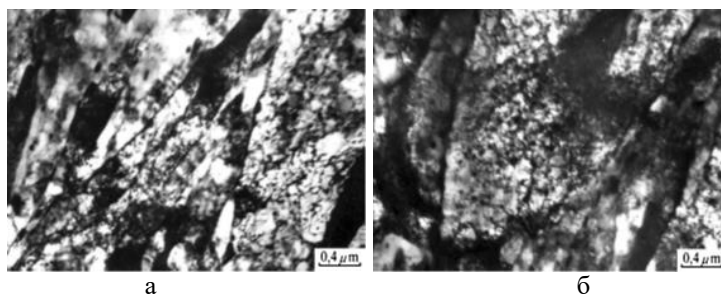


Рис. 2. Вплив відпуску при 500 °C на структуру сталі після гартування

Характер впливу на характеристики міцності більш високих температур відпуску сталі після гартування на мартенсит, залишається незмінним. За аналізом отриманих результатів визначено, що сумарний ефект пом'якшення при відпуску сталі після гартування від розпаду твердого розчину, зменшення щільності дислокацій та коалесценції карбідних частинок перевищує рівень зміцнення від взаємодії дислокацій з атомами вуглецю, формування додаткових субмеж і дисперсійного зміцнення від карбідних частинок.

Перелік використаних джерел

1. Lonardelli I. et al. Powder metallurgical nanostructured bainitic steel: kinetics, structure, and in situ thermal stability studies. *Materials Science and Engineering*. 2012. Vol. A 555. P. 139–147.
2. Vakulenko I. Influence of cooling rate on the strength of the ring of railway wheel. *Materials Science*. 2016. Vol. 51, № 6. P. 839–842.
3. Bhadeshia H.K.D.H. Bainite in steels. *Cambridge: The University Press*, 2001. 460 p.
4. Caballero F. G., Bhadeshia H.K.D.H. Very Strong Bainite. *Current Opinion in Solid State and Materials Science*. 2004. Vol. 8. P. 251–257.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-47>

**DETERMINATION OF THE CRITICAL PENETRATION
VELOCITY OF ALUMINUM ALLOY TARGETS
BY INDENTATION**

**ВИЗНАЧЕННЯ МЕТОДОМ ІНДЕНТУВАННЯ
КРИТИЧНОЇ ШВИДКОСТІ ПРОБИТТЯ МІШЕНЕЙ
З АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ**

Goncharuk V.A.,

*PhD (Physics and Mathematics),
Frantsevich Institute for Problems
of Materials Science of the National
Academy of Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine*

Гончарук В.А.,

*к.ф.-м.н., Інститут проблем
матеріалознавства імені
І.М. Францевича Національної
академії наук України,
м. Київ, Україна*

Iefimov M.O.,

*PhD (Physics and Mathematics),
Frantsevich Institute for Problems
of Materials Science of the National
Academy of Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine*

Єфімов М.О.,

*к.ф.-м.н., Інститут проблем
матеріалознавства імені
І.М. Францевича Національної
академії наук України,
м. Київ, Україна*

Goncharova I.V.,

*PhD (Physics and Mathematics),
Frantsevich Institute for Problems
of Materials Science of the National
Academy of Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine*

Гончарова І.В.,

*к.ф.-м.н., Інститут проблем
матеріалознавства імені
І.М. Францевича Національної
академії наук України,
м. Київ, Україна*

Tsivilitsin V.Yu.,

*Researcher, Frantsevich Institute
for Problems of Materials Science
of the National Academy
of Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine*

Цивіліцин В.Ю.

*науковий співробітник, Інститут
проблем матеріалознавства імені
І.М. Францевича Національної
академії наук України,
м. Київ, Україна*

Авторами запропонована методика визначення критичної швидкості пробиття мішеней v_{cr} в процесі статичних випробувань. Ця методика спрощує процес досліджень, оскільки балістичні випробування є досить складною процедурою і потребують досить багато коштів.

З метою прогнозування критичної швидкості пробиття v_{cr} матеріалу авторами було використано методику вимірювання твердості за Мартелем. В 1895 р. Мартелем було впроваджено поняття динамічної твердості. В експериментах використовувались сталеві кульки, які падали з певної висоти на гладку металеву поверхню і залишали сферичні відбитки на поверхні зразку. Було показано, що

$$\frac{A}{V} = const ,$$

де A – кінетична енергія кульки, а V – об'єм відбитку.

Це співвідношення має розмірність тиску – Па, тому його можна розглядати як динамічну твердість металів [2,3]. HMR твердість за Мартелем визначають зі співвідношення:

$$HMR = \frac{A}{V} , \quad (1)$$

де A – робота інденування, V – об'єм відбитку.

Твердість за Мартелем HMR та твердість за Меїром HM (середній контактний тиск під час вдавнення) характеризують однаковий процес та співвідносяться як:

$$HMR = K \cdot HM , \quad (2)$$

де K – безрозмірний параметр.

В роботі процес проникнення кінетичного ударника (КЕР) в мішень розглядається як "глибоке" інденування за умовою, що КЕР не деформується. В статичних умовах твердість за Мартелем визначали за допомогою методу інструментального інденування. Досліджували проникнення КЕР в мішені з трьох алюмінієвих сплавів. Товщина листа мішені становила 25 мм. Маса КЕР $m = 7,9$ г, а діаметр каналу проникнення практично співпадав з діаметром КЕР $d = 7,62$ мм.

Об'єм каналу проникнення (V) визначається за формулою:

$$V = \frac{\pi d^2}{4} h , \quad (3)$$

де d – діаметр каналу проникнення, h – товщина мішені.

«Статичну» твердість за Мартелем HMR_s визначали на приладі «Мікрон-Гамма» за кривими інденування тригранним пірамідальним індентором в координатах «навантаження – глибина занурення індентору» [4]. Робота інденування визначалася як площа під відповідною кривою. Об'єм інденування визначався:

$$V = \frac{Sh}{3} ,$$

де S – площа проекції відбитку, h – глибина занурення індентору.

Кінетична енергія КЕР визначалась як:

$$E = \frac{mv^2}{2},$$

де v – швидкість КЕР перед зіткненням з мішенню.

Таким чином, динамічну твердість за Мартелем визначали:

$$HMR_d = \frac{mv^2}{2V}. \quad (4)$$

Приймаючи до уваги формули (3) та (4) можна визначити критичну швидкість пробиття, вважаючи глибину проникнення рівною товщині мішені:

$$v_{cr} = \sqrt{\frac{HMR_d \pi d^2 h}{2m}}. \quad (5)$$

За формулою (6) за відомою швидкістю КЕР (v) можна визначити критичну товщину мішені (h_{cr}):

$$h_{cr} = \frac{2mv^2}{HMR_d \pi d^2}. \quad (6)$$

Результати досліджень зведені в таблицю 1.

Таблиця 1

Хімічний склад, твердість за Меїром (HM) та Мартелем (статична (HMR_s) та динамічна (HMR_d)) та критична швидкість пробиття мішеней v_{cr} (експериментальна та розрахункова за формулою (5))

№	Хімічний склад	HM , ГПа	HMR_s , ГПа	HMR_d , ГПа	v_{cr} , м/с	
					експериментальна	розрахункова
#1	Al-4,45Mg-0,7Mn-0,13Cr	0,99	1,03	1,00	545	562
#2	Al-4,45Mg-0,4Mn-0,3Sc-0,1Zr	1,48	1,42	1,38	638	654
#3	Al-6Zn-2,3Mg-1,5Cu-0,3Sc-0,1Zr	2,07	2,07	2,0	780	756

Таким чином, проникнення недеформівним кінетичним індентором (КЕР) в цілому можна розглядати як “глибоке” індентування. На прикладі алюмінієвих сплавів було показано, що динамічна твердість за Мартелем HMR_d може бути використана для описання цього процесу. Можна досить

точно розрахувати критичну швидкість пробиття v_{cr} мішені із заданою товщиною. Відносне відхилення експериментальних значень критичної швидкості пробиття від розрахованих не перевищує 3 %.

Перелік використаних джерел

1. Martell R. Commission de Methodes d'Essai des Materiaux de Construction. Paris, 1895. 261 p.
2. Tabor D. The hardness of metals. Oxford: Clarendon Press, 1951. 130 p.
3. Kohlhöfer W., Penny R. K. Dynamic hardness testing of metals. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*. 1995. Vol.61. P. 65–75.
4. Ігнатович С.Р., Закієв І.М. Прилад для дослідження фізико-механічних властивостей поверхневих шарів матеріалів в манометричному діапазоні. *Приладобудування 2005: стан і перспективи*. Збірник доповідей 4-ої наук. техн. конф. (Київ, 26-27 квітня 2005 р.). Київ, НТТУ «КПІ», 2005. С. 225.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-48>

REVIEW OF 3D PRINTING TECHNOLOGIES IN MECHANICAL ENGINEERING

ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ 3D-ДРУКУ В МАШИНОБУДУВАННІ

Gorobets D.S.,

*Student (group PM2211), Ukrainian
State University of Science and
Technology, Dnipro, Ukraine*

Горобець Д.С.,

*студент гр. ПМ2211, Український
державний університет науки
і технологій, м. Дніпро, Україна*

Plitchenko S.O.,

*PhD (Engineering),
Associate Professor, Ukrainian State
University of Science and Technology,
Dnipro, Ukraine*

Плітченко С.О.,

*к.т.н., доцент,
Український державний
університет науки і технологій,
м. Дніпро, Україна*

На сьогоднішній день однією з найперспективніших технологій по створенню елементів деталей у машинобудуванні вважається 3D-друк. Принцип створення тривимірних виробів за цієї технології заснований

на рівномірному пошаровому нанесенні різноманітного матеріалу за цифровими CAD-моделями.

До найбільш поширених технологій 3D-друку відносять *Selective Laser Sintering*, *Electron Beam Melting*, *Stereolithography*, *Rapid Liquid Printing* і термопластиком – *Fused Deposition Modeling*, які можуть створювати вироби з металоглини, світлочутливої смоли, силікону, пінопласту, гуми чи пластиків.

Вибіркове лазерне спікання (SLS) є першою серед адитивних технологій для друку металом, яка була запатентована наприкінці 1980-х. За *SLS* технологією металевий порошок набуває необхідної температури для друку під впливом лазерного променя, а його спікання відбувається в середовищі захисних газів. З часом за допомогою наведеної технології почали виготовляти вироби і з неметалевих матеріалів.

Широкий вибір матеріалів для 3D-друку з різними механічними властивостями, можливість створення складних геометрій, в тому числі і внутрішніх, висока швидкість друку, висока міцність, гнучкість, гарна деталізація забезпечують достатню популярність технології і зараз. До недоліків відносять високу пористість надрукованих поверхонь, усадку та деформацію, значні об'єми відходів порошку, необхідне тривале охолодження виробу та додаткова термічна обробка.

Іншою адитивною технологією є *електронно-променева плавка (EBM)*, яка в якості джерела енергії для вибіркового розплавлення та пошарового сплавлення металевих порошків використовує потужний електронний промінь. Плавлення та друк здійснюються у вакуумі за багато вищих температур, що дозволяє створити більш щільний матеріал з меншою усадкою і підвищеною міцністю. У порівнянні з іншими методами металевого 3D-друку, вироби, надруковані за допомогою *EBM* характеризуються високою міцністю, а в їхній поверхні відсутні будь-які пори, при цьому деталь не потрібно піддавати додатковій термічній обробці.

За останніми аналітичними дослідженнями, основна більшість металевих деталей, що друкуються на 3D-принтерах, виготовляється зі сталей різного ступеня легування, алюмінієвих сплавів, титану. Ці матеріали забезпечують основні потреби машинобудівної галузі.

Відносно новою технологією вважається *Stereolithography (SLA)*, яка використовує світлочутливу смолу та ультрафіолетовий лазер, який визначає місця затвердіння смоли, дозволяючи створювати деталь пошарово. Наведене дозволяє отримувати вироби високої точності та деталізації, але які обмежені за габаритами.

Інноваційною технологією 3D-друку є *Rapid Liquid Print (RPL)*, технологічний процес якої заснований на пошаровому екструзуванні силікону, пінопласту, пластику, гуми у гелеву суспензію для швидкого та ефективного виготовлення виробів, яка мають поверхню з мінімальною шорсткістю, з розмірами від кількох сантиметрів до кількох метрів.

До найбільш поширених технологій також відносять і *Fused Deposition Modeling (FDM)*, принцип друку якої полягає у пошаровому видавлюванні розплавленої пластикової нитки на робочу поверхню. Основною відзнакою цієї технології є низька вартість отриманих виробів та покращені умови праці.

Металеві деталі, виготовлені за допомогою 3D-друку, в порівнянні з заготівками, виготовленими традиційними технологіями, мають невелику внутрішню пористість й характеризуються вищими механічними властивостями й ізотропією в усіх напрямках та частинах виробу. Проте такі елементи мають менший опір до циклічних навантажень.

Розглянуті технології дозволяють отримувати вироби з складно оброблюваних матеріалів традиційними технологіями, таких як композитні матеріали, вуглеволокна тощо.

Таким чином, використання технологій 3D-друку відкриває перспективи для вирішення широкого кола завдань машинобудівної галузі, до яких, в тому числі, відносять створення прототипів, складних та індивідуальних деталей високої точності, використання для виробництва великого вибору матеріалів, в тому числі композитних, що дає змогу отримувати унікальні механічні властивості, що важко досягти традиційними методами.

Подальший розвиток технологій 3D-друку має потенціал вирішити наведені актуальні проблеми та розширити можливості застосування в машинобудівній промисловості. Однак для більш ширшого застосування технології необхідно підвищувати її економічну ефективність.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-49>

**REASONS FOR LOW TECHNOLOGICAL PLASTICITY ABOUT
THE PROBLEMS OF LOW TECHNOLOGICAL PLASTICITY
OF STEEL 04H14T3R1F USED IN THE PRODUCTION OF PIPES
FOR NUCLEAR ENERGY**

**ПРИЧИНИ НИЗЬКОЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПЛАСТИЧНОСТІ
СТАЛІ 04Х14Т3Р1Ф, ЩО ВИКОРИСТОВУЄТЬСЯ
ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ТРУБ ДЛЯ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ**

Gubenko S.I.,

*DSc (Engineering), Professor, Iron
and Steel Institute of Z.I. Nekrasov
of the National Academy of Sciences
of Ukraine; Ukrainian State University
of Science and Technologies:
ESI Prydniprovskia Academia
of Civil Engineering and Architecture,
Dnipro, Ukraine*

Губенко С.І.,

*д.т.н., професор, с.н.с., Інститут
чорної металургії імені З.І. Некрасова
Національної академії наук України;
Український державний університет
науки і технологій:
ІНІ Придніпровська академія
будівництва та архітектури,
м. Дніпро, Україна*

Bespalko V.M.,

PhD (Engineering), Senior Researcher

Беспалько В.М.,

к.т.н., с.н.с

Introduction. When boron is introduced into steel, a large quantity of borides is formed, which negatively affects its mechanical properties and technological ductility during the production of hot-rolled pipes [1]. The **goal of the work** was to study the influence of boride inclusions on the mechanical and technological properties of 04H14T3R1F steel.

Materials and Procedures. The studies were carried out on the samples taken from pipe blanks, as well as from hot-rolled pipes made of steel 04H14T3R1F. Deformation by oblique rolling was carried out in the temperature range 850...1150 °C (feed angle 5°30', roll rotation speed – 40 rpm). Tensile tests were carried out according to GOST 1497, in addition, tensile tests were carried out at elevated temperatures (Instron 1195). The microstructure of steel was studied using an optical microscope "Neophot – 31" and a scanning electron microscope JSM 35.

Results of investigation. Steel 04H14T3R1F contains a large amount of boride phases of the two types: light and dark inclusions, the latter being heterophase. The volume fraction of dark and light borides in the steel structure was 2.7 and 3.5% (vol.), respectively. Large borides were brittlely destroyed during hot deformation; due to the localization of stresses near inclusions, microcracks arose and the destruction of borides was facilitated.

The content of elements in borides of various types and in the ferrite matrix after deformation at temperatures of 1100, 1150°C was analyzed. Dark borides are heterophase inclusions of complex composition, their base is a

complex boride $(\text{Ti,Fe,Cr,V})_2\text{B}$, and the shell is a boride $(\text{Ti,Cr,V})_2\text{B}$, in which there is a phase containing V. Analysis of the content of alloying elements in light borides at a temperature of $1100\text{ }^\circ\text{C}$ showed that they are inclusions based on Fe, Cr – $(\text{Fe,Cr})_2\text{B}$. When the deformation temperature increases to $1150\text{ }^\circ\text{C}$, a change in the composition, structure and shape of borides occurs, which is associated with the diffusion redistribution of chemical elements in the borides. The study of thermogravimetric analysis curves indicates transformations in the boride inclusions themselves. DTA curves are due to transformations in borides. Perhaps, at a higher deformation temperature, the boride transformation $(\text{Ti,Fe,Cr})_2\text{B} \rightarrow (\text{Fe,Cr})_2\text{B}$ occurs. Boride transformation is also possible during the heating process of 04H14T3R1F steel under deformation, or during cooling after deformation

The mechanical and technological properties of 04H14T3R1F steel are largely determined by the initial structure of the pipe blank, as well as the possibilities of its transformation during the process of plastic deformation (Fig. 1). In the samples taken from the workpiece and sleeves after the first piercing, large borides of both types are present. A significant change in mechanical characteristics, especially ductility, occurs during the process of piercing a pipe blank into a sleeve, where the main deformation of the metal occurs (Table 1).

Table 1

Mechanical characteristics of steel 04H14T3R1F

Metal condition	ultimate strength, MPa	yield point, MPa	specific elongation, δ %	Impact strength, KCU, J/cm^2
Initial workpiece	435...452	320...372	8,2...10,3	5,1...6,2
sleeve	480...510	310...330	16,0...18,5	6,3...7,4
Hot rolled pipe	550...586	410...445	13,0...15,5	10,2...19,2

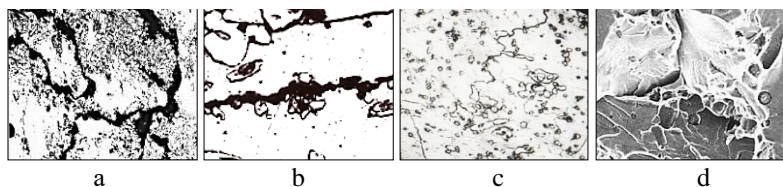


Fig. 1. Microstructure of steel 04H14T3R1F after hot deformation at temperatures of 1150 (a), 1050 (b) and $950\text{ }^\circ\text{C}$ (c), as well as fracture after dynamic tests (d); a, c – $\times 200$, b – $\times 600$, d – $\times 500$

Mechanical tensile tests were carried out to determine the mechanical characteristics of 04H14T3R1F steel at elevated temperatures (Table 2). Thus, the test results showed that the use of elevated temperatures during piercing ($1150\text{ }^\circ\text{C}$) and rolling pipes on an automatic TPA 350 installation ($1050\text{ }^\circ\text{C}$) is undesirable. Research was carried out to determine the optimal temperatures and degrees of

deformation during rolling on an automatic installation and the influence of temperature-deformation parameters of rolling on the development of destruction processes in steel 04H14T3R1F under dynamic loading (Table 3).

Table 2

**Mechanical characteristics of steel 04H14T3R1F
at elevated temperatures**

property	test temperature, °C							
	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200
ultimate strength, MPa	92,3	78,1	56,4	46,2	38,5	35,6	29,3	23,2
yield point, MPa	81,2	62,4	51,3	39,3	32,4	29,6	25,4	22,4
specific elongation, δ , %	61,4	64,0	71,8	76,3	62,3	66,4	46,2	18,7
contraction ratio, ψ , %	68,3	72,1	75,4	81,2	87,2	92,5	69,1	33,4

Table 3

**Values of impact strength of steel 04H14T3R1F after deformation
at various rolling parameters**

Deformation degree, ϵ , %	Impact strength, KCU, J/cm ² , after deformation at temperatures				
	850 °C	900 °C	950 °C	1000 °C	1050 °C
20	4,7	7,3	5,0	5,0	5,0
34	4,4	20,8	10,4	5,0	5,0
50	4,7	5,0	5,0	5,0	5,0

In the process of hot deformation, phase and structural transformations occur: a change in the composition of borides due to the redistribution of elements, dynamic diffusion crushing and separation of "satellite" particles, brittle destruction of borides, boride transformation, as well as melting of inclusions. Boride inclusions in the process of hot deformation are not plastic and are the sources of the appearance of cracks, which contributes to a decrease in the technological plasticity of 04H14T3R1F steel. The study of the behavior of boride inclusions during hot pressure treatment of steel and their influence on the formation of the structure of the deformed matrix, the development of destruction near the inclusions, as well as the mechanical properties made it possible to determine the treatment regimes (temperature and degree of deformation) that contribute to obtaining an optimal structure that provides increased impact strength of 04H14T3R1F steel.

Bibliography

1. Gubenko S.I., Bepalko V.N., Zhilenkova E.V. The influence of temperature and the degree of deformation on the nature of the change in borides in high-chromium steel with boron. Theory and practice of metallurgy, 2006. – No. 4-5. – p.158-160.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-50>**ABOUT NECESSITY OF LOCAL LASER STRENGTHENING
OF THE TREAD OF RAILWAY WHEELS****ПРО НЕОБХІДНІСТЬ ЛОКАЛЬНОГО ЛАЗЕРНОГО
ЗМІЦНЕННЯ ПОВЕРХНІ КОВЗАННЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ КОЛІС****Gubenko S.I.,**

DSc (Engineering), Professor, Iron and Steel Institute of Z.I. Nekrasov of the National Academy of Sciences of Ukraine; Ukrainian State University of Science and Technologies: ESI Prydniprovskaya Academy of Civil Engineering and Architecture, Dnipro, Ukraine

Губенко С.І.,

д.т.н., професор, с.н.с., Інститут чорної металургії імені З.І. Некрасова Національної академії наук України; Український державний університет науки і технологій: ННІ Придніпровська академія будівництва та архітектури, м. Дніпро, Україна

Parusov E.V.,

DSc (Engineering), Iron and Steel Institute of Z.I. Nekrasov of the National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro, Ukraine

Парусов Е.В.,

д.т.н., с.н.с., Інститут чорної металургії імені З.І. Некрасова Національної академії наук України, м. Дніпро, Україна

Chuiko I.M.,

PhD (Engineering), Senior Researcher, Iron and Steel Institute of Z.I. Nekrasov of the National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro, Ukraine

Чуйко І.М.,

к.т.н., с.н.с., Інститут чорної металургії імені З.І. Некрасова Національної академії наук України, м. Дніпро, Україна

Parusov O.V.,

PhD (Engineering), Senior Researcher, Iron and Steel Institute of Z.I. Nekrasov of the National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro, Ukraine

Парусов О.В.,

к.т.н., с.н.с., Інститут чорної металургії імені З.І. Некрасова Національної академії наук України, м. Дніпро, Україна

Актуальність проблеми. Залізничне колесо служить опорою екіпажу, елементом, що спрямовує при русі і гальмівним барабаном. Кожен з його елементів (обід, диск, маточина) має свої функції і відчуває властиві йому напруження. При експлуатації колесо знаходиться в складному напруженому стані, який визначається системою контактних, динамічних, теплових і циклічних напружень [1]. Динамічні напруження виникають від тиску колеса при його ковзанні по рейці, навантаження при ударах у місцях стиків рейок і ін. Контактні напруження обумовлені взаємодією колеса з рейкою і гальмівними колодками, коли виникають дотичні напруження і напруження від тепла тертя при гальмуванні. Теплові напруження, що діють у ободі і диску, є циклічними. У колесі

при експлуатації виникають різного роду ушкодження: знос поверхні ковзання (зміна профілю поверхні ободу по колу ковзання), підріз гребенів, дефекти теплового впливу (повзуни, навари, гальмівні вищербини, термічні тріщини), втомне викришування, тендітні (крихкі) тріщини [2].

Слід зазначити, що були спроби локального зміцнення гребенів коліс за допомогою плазмового впливу з метою боротьби з бічним зносом, у цих роботах була отримана мартенситна структура зони обробки [3]. Крім того, нагрівання від ТВЧ успішно застосовується в залізничних депо при відновленні зношеного профілю поверхні ковзання коліс рейкового транспорту. Найбільш близьким за технічною сутністю і досягається результату до технічного рішення, що є метою даних досліджень, є спосіб термічного зміцнення поверхні ковзання залізничних коліс за допомогою лазерної обробки [4]. Застосування високих технологій зміцнення дозволить поліпшити властивості колісної сталі і підвищити ресурс роботи залізничних коліс.

Мета роботи – вивчення можливості додаткового лазерного зміцнення зони викружки з метою усунення підрізу гребенів.

Матеріали и методи досліджень.

Досліджено зношені колеса різних конструкцій: стандартне колесо з плоскоконічною поверхнею ковзання, що має ухили 1:20 і 1: 7 (колесо 1), а також колесо з комплексно-криволінійною поверхнею ковзання, яке було розроблене в ДМетІ (колесо 2). Хімічний склад колісних сталей: марка 2.

Колеса 1 і 2 пропрацювали понад 5 років під пасажирським потягом. Дослідження проводили за допомогою оптичного мікроскопу “Neophot-31”, а також шляхом рентгеноструктурного аналізу. Для лазерної обробки відбирали зразки колісної сталі (колеса 3 і 4 в табл. 1 виробництва ВАТ ІНТЕРПАЙП НТЗ, колісна сталь марки 2), з ободу, що зазнав попередню термічну обробку (температура нагрівання під гартування 860⁰С, витримка 20 хв, охолодження у воді зі швидкістю 10⁰С / с + відпуск при температурі 520 ⁰С з витримкою 2 ч), а також з диску після гарячої деформації в інтервалі температур 1250 ... 850⁰С (охолодженого на повітрі від температури 850⁰С).

Результати досліджень. На основі дослідження зношених в процесі експлуатації залізничних коліс, що мають різний профіль поверхні ковзання, показано, що протікання інтенсивних пластичних зсувів в умовах дії досить високих контактних напружень умовах експлуатації призводить до інтенсивного зносу в зоні викружки, що може призвести до підрізу гребенів. Встановлено, що за лазерної обробки колісної сталі в режимі імпульсного випромінювання виникає лазерно-загартована зона зі структурою дисперсного мартенсита, яка ідентична «білому шару», що утворюється за умов експлуатації на поверхні ковзання. Дослідження показали, що така структура є несприятливою з точки зору експлуатації.

Показано, що за лазерної обробки в режимі безперервного випромінювання можна отримати мікрокомполітну бейнітну структуру лазерно-зміщеного шару, яка сприятлива для умов експлуатації. При цьому, параметри зміщеного шару, тонкої структури сталі, а також мікротвердість і твердість можна варіювати в певних межах залежно від вихідного стану колісної сталі, а також режиму безперервного лазерного впливу.

На основі порівняльного аналізу показано, що режими лазерної обробки, а також ступінь дисперсності вихідної мікроструктури визначають ефект лазерного зміщення колісної сталі. Запропоновано перспективний режим з потужністю лазерного променя 600 Вт і швидкістю його переміщення 5 ... 15 мм / с, який рекомендовано використовувати особливо у поєднанні з традиційною термічною обробкою. Рекомендовано також проведення локального лазерного зміщення зони викружки в умовах виробництва залізничних коліс після гартування перед відпуском для зменшення термічних напружень. Показано, що підвищення зносостійкості колісної сталі після лазерної обробки свідчить про ефективність застосування зміцнюючої лазерної технології шляхом цілеспрямованого використання внутрішніх резервів структурної пристосованості поверхневих шарів сталі в умовах експлуатації. Обговорені перспективи локальної лазерної обробки викружки з отриманням мікрокомполітної бейнітної структури в режимі безперервного лазерного випромінювання, що дозволить не тільки підвищити зносостійкість поверхні ковзання залізничних коліс, а й знизить ризик підрізу гребенів в процесі експлуатації. Такій обробці можна піддавати як нові залізничні колеса після традиційної термічної обробки, так і використовувати її в залізничних депо під час проведення відновлення зношених профілів поверхні ковзання шляхом переточок.

Перелік використаних джерел

1. Sladkovsky A. Analysis of Stress and Strain in Freight Car Wheels / Sladkovsky A., Yessaulov V., Shmurygin N., Taran Y., Gubenko S. // Computational Method and Experimental Measurements VIII. – Southampton, Boston: Computational Mechanics Publications, 1997. – P.15-24.
2. Taran Y.N., Esaulov V.P., Gubenko S.I. Increase of wear-resistance of railway wheels with different profile of tread // Metallurgical and Mining Industry, 2000. – № 2. – p. 42-44.
3. Петров С.В., Сааков А.Г.. Плазма продуктів згоряння в інженерії поверхні, – К., вид. ТОПС, 2000, 220с.
4. Gubenko S. About the possibility of local laser hardening of the tread of railway wheels. MTM Machines, Technologies, Materials. 2021, v.3, issue 5, p. 266-269.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-51>

APPLICATION OF DIFFUSION COATINGS IN ENGINEERING

ЗАСТОСУВАННЯ ДИФУЗІЙНИХ ПОКРИТТІВ В МАШИНОБУДУВАННІ

Degula A.I.,
*PhD (Engineering),
Associate Professor, Sumy State
University, Sumy, Ukraine*

Дегула А.І.,
*к.т.н., доцент,
Сумський державний університет,
м. Суми, Україна*

Sytnikov V.O.,
*PhD student (group A-25/MT),
Sumy State University,
Sumy, Ukraine*

Ситніков В.О.,
*аспірант (група А-25/МТ),
Сумський державний університет,
м. Суми, Україна*

Hryb V.V.,
*PhD student (group A-35/MT),
Sumy State University,
Sumy, Ukraine*

Гриб В.В.,
*аспірант (група А-35/МТ),
Сумський державний університет,
м. Суми, Україна*

Кожен виріб машинобудування, що надходить на ринок, в умовах жорсткої конкуренції повинен відповідати постійно зростаючим вимогам споживачів до його функціональних, екологічних та естетичних властивостей. Тенденції підвищення вимог до якості виробів знайшли відображення у міжнародних стандартах якості ISO-9000. Отримання нового технічного рівня та високої якості виробів відповідно до світових стандартів, все частіше пов'язують з нетрадиційними конструкторськими та технологічними рішеннями, реалізація яких неможлива на основі традиційних технологій [1].

Сучасне виробництво ставить високі вимоги до підвищення ресурсу та надійності роботи машин та механізмів. Проблема вирішення підвищення довговічності деталей машин і виробів в останні роки є дуже актуальною. Працездатність виробів, які знаходяться у контактній взаємодії в багатьох випадках визначається зносом [2].

Відомо багато способів нанесення зміцнюючих покриттів, а саме електродугові покриття, газотермічне напилювання тощо. Найпоширеним способом нанесення зміцнюючих покриттів, є хімічне хіміко-термічна обробка (ХТО) металів [2].

Однак традиційні процеси ХТО не завжди задовольняють сучасним вимогам, що пред'являються до деталей машин та інструменту. Останнім часом у якості захисних покриттів широко застосовуються тугоплавкі сполуки, які істотно підвищують експлуатаційні властивості деталей механізмів, термін служби інструмента в умовах тертя ковзання, дії високих температур та агресивних середовищ. Вибір оптимального складу покриття та технології його нанесення визначається умовами експлуатації певного виробу. До того ж мають бути враховані такі властивості та характеристики матеріалу основи і покриття, як міцність, твердість, коефіцієнти термічного розширення, жароміцність тощо [3].

Після титанування на полірованих шліфах після травлення спостерігається шар TiC світлого забарвлення (рис. 1) з чіткою границею розділу з основою.

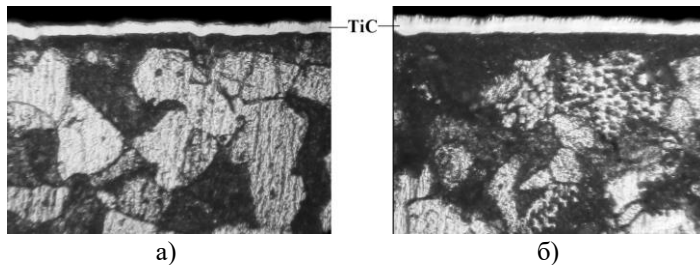


Рис. 1. Мікроструктура сталі 45 (а) та У8А (б) після титанування; $T=1050^{\circ}\text{C}$, $\tau=2$ год.; $\times 250$

Сформований шар відповідає карбїду титану TiC. Його товщина залежить від часу та температури насичення, а також вмісту вуглецю та легуючих елементів в матеріалі основи. На сталі 45, при насиченні протягом 2 годин і $T=1323\text{K}$, товщина покриття коливається в межах 8-11 мкм. В той же час, за ідентичних умов насичення, на сталі У8А товщина покриття складає 14-17 мкм. Під шаром карбїду титану на сталі 45 спостерігається зона перліту, що зумовлено підтягуванням вуглецю з основи.

Отримані дифузійні покриття значно підвищують поверхневу твердість та зносостійкість деталей машин та інструменту.

Перелік використаних джерел

1. Високі технології в машинобудуванні : конспект лекцій для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» / уклад.: В. В. Калініченко. Краматорськ : ДДМА, 2018. 111 с.

2. Погребова І.С., Янцевич К.В. Структура та зносостійкість дифузійних покриттів за участю хрому та кремнію. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського, Серія: Технічні науки*. 2022. Том 33 (72) № 4. С. 6-10.

3. Dehula A.I., Kharchenko N.A., Hovorun T.P. Structure and Properties of Multilayer Coatings Obtained by Chromotitanizing. *Journal of Nano- and Electronic Physics*. 2024. Vol. 16 No 4. P. 04031-1-04031-4

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-52>

INNOVATIVE POLYMER MATERIALS FOR ENHANCING THE EFFICIENCY OF IRRIGATION SYSTEMS

ІННОВАЦІЙНІ ПОЛІМЕРНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДОЩУВАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Yeriomina Ye.A.,

*PhD (Engineering),
Associate Professor, Dniprovsk State
Technical University,
Kamianske, Ukraine*

Єр'оміна К.А.,

*к.т.н., доцент,
Дніпровський державний технічний
університет,
м. Кам'янське, Україна*

Oliynik G.V.,

*Student (group FIA-22-1du),
Dniprovsk State Technical University,
Kamianske, Ukraine*

Олійник Г.В.,

*студент гр. ФІА-22-1ду,
Дніпровський державний технічний
університет,
м. Кам'янське, Україна*

Shostak R.V.,

*PhD student,
Dniprovsk State Technical University,
Kamianske, Ukraine*

Шостак Р.В.,

*аспірант, Дніпровський державний
технічний університет,
м. Кам'янське, Україна*

Аналіз стану та перспектив розвитку зрошувальних систем в Україні показує, що країна стикається з серйозними проблемами у зрошувальній інфраструктурі, особливо у зв'язку зі змінами клімату і тривалим недофінансуванням. Основні зрошувальні системи, такі як Каховський канал і Північно-Кримський канал, мають зношеність понад 50 років, що суттєво знижує їхню ефективність. У зв'язку з цим, нинішня зрошувальна інфраструктура функціонує лише на чверть від потенціалу, і використання зрошуваних земель зменшилося на 80% порівняно з їх історичним максимумом [1].

В рамках «Стратегії зрошення та дренажу до 2030 року», затвердженої урядом, планується відновити та розширити зрошувальні потужності до 1,5–1,7 млн га, збільшити ефективність використання водних ресурсів та адаптувати сільське господарство до кліматичних змін. Це включає модернізацію насосних станцій, заміну зношених труб та встановлення централізованих систем управління, що дозволить збільшити врожайність культур та зменшити екологічні ризики. Оцінки показують, що інвестиції у відновлення та модернізацію можуть сягати 2 млрд доларів США, що покrije частину зрошуваних земель в найбільш посушливих районах півдня України [2].

Залучення приватного сектору до розвитку зрошувальної інфраструктури є важливим аспектом у цій стратегії. Зокрема, підписана угода з Міжнародною фінансовою корпорацією (IFC) передбачає залучення приватних інвестицій для впровадження високовартісних технологій, таких як автоматизовані системи зрошення, що знижують витрати та підвищують продуктивність аграрного сектору [1].

Штучне зрошення має суттєвий вплив на ґрунтові ресурси. Внаслідок інтенсивного зрошення відбувається ущільнення ґрунтів, засолення та ерозія, що призводить до деградації земель. За дослідженнями Українського науково-дослідного інституту зрошуваного землеробства, 20% зрошуваних земель в Україні зазнають деградаційних процесів, особливо через погіршення дренажних систем. Це зумовлює необхідність розробки та впровадження нових матеріалів і технологій, які дозволять зменшити негативні екологічні впливи зрошення. Екологічно безпечні полімерні композиційні матеріали (ПКМ) пропонують ефективне рішення за рахунок низької питомої ваги, високої зносостійкості, а також можливості зниження матеріалоемності конструкцій дощувальних машин.

ПКМ мають високі фізико-механічні характеристики та можливість самозмащування, що забезпечує довготривалу експлуатацію без потреби у зовнішньому змащуванні, знижуючи, таким чином, ризик забруднення ґрунтів і води. Лабораторія композиційних матеріалів Дніпровського державного технічного університету розробляє екологічно безпечні ПКМ з поліпшеними трибологічними властивостями та рівномірним розподілом наповнювачів, що сприяє підвищенню зносостійкості та міцності дощувальних апаратів у складних умовах експлуатації.

Застосування ПКМ у вузлах дощувальних апаратів дозволяє знизити масу конструкцій, підвищити їхню зносостійкість і зменшити екологічне навантаження. Успішне впровадження розроблених екологічно безпечних ПКМ у сільськогосподарській техніці забезпечить підвищення економічної ефективності, зниження екологічних ризиків та підвищення рівня технічної надійності зрошувального обладнання.

Перелік використаних джерел

1. Irrigation and Drainage Strategy of Ukraine (English). Washington, D.C.: World Bank Group. URL: <http://documents.worldbank.org/curated/en/917821550690263058/Irrigation-and-Drainage-Strategy-of-Ukraine>.

2. Romashchenko M., Yatsyuk M., Zhovtonog O., Dekhtiar O., Saydak R., Matiash T. Scientific principles of restoration and development of irrigation in Ukraine in the current conditions. *Land Reclamation and Water Management*. 2017. Vol. 106, Is. 2. P.102-108.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-53>

**STUDY OF THE INFLUENCE OF CLAD ALLOY P6KH-15
ON THE TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF POLYMER COMPOSITE
MATERIALS BASED ON AROMATIC POLYAMIDE PHENYLONE**

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПЛАКОВАНОГО СПЛАВУ П6КХ-15
НА ТРИБОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОЛІМЕРНИХ
КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ
АРОМАТИЧНОГО ПОЛІАМІДУ ФЕНІЛОН**

Yeriomina Ye.A.,

*PhD (Engineering), associate professor,
Dniprovsk State Technical University,
Kamianske, Ukraine*

Єрьоміна К.А.,

*к.т.н., доцент, Дніпровський
державний технічний університет,
м. Кам'янське, Україна*

Shermet D.B.,

*Student (group MTZ-22-1du),
Dniprovsk State Technical University,
Kamianske, Ukraine*

Шермет Д.Б.,

*студент гр. МТЗ-22-1ду,
Дніпровський державний технічний
університет, м. Кам'янське, Україна*

Yarovyi Ya.Ye.,

*Deputy Director for educational work,
Donbas Vocational College
of Technology and Management,
Kamianske, Ukraine*

Яровий Я.Є.,

*заступник директора з виховної
роботи, Донбаський фаховий коледж
технологій та управління,
м. Кам'янське, Україна*

За останні роки використання полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) стало популярним у вузлах тертя високопродуктивного обладнання в різних промислових галузях, таких як авіаційна,

металургійна, текстильна та харчова, а також у сільському господарстві [1]. Це обумовлено унікальними функціональними властивостями ПКМ порівняно з металами. Вони демонструють високу стійкість до абразивного, кавітаційного та корозійного зношування [2], працюють стабільно у режимі тертя без змащення або з мінімальним використанням мастильних матеріалів, а також є зручнішими у виробництві.

Одним з найперспективніших матеріалів серед ПКМ є ароматичний поліамід (ПА), який завдяки своїм характеристикам – зносостійкості, стійкості до корозії та впливу агресивних середовищ – стає незамінним у виготовленні сучасної техніки. До складу ПА додаються різні наповнювачі, такі як вуглецеві волокна, метали, аморфні сплави, карбіди, силікагель і графіт, що дозволяє створювати композити з поліпшеними властивостями, здатні перевершити традиційні матеріали, наприклад, бронзу чи металокераміку.

На практиці такі ПКМ застосовуються в трубопрокатних пілігримових станах, гальмівних колодках тролейбусів, культиваторах і посівних комплексах, що дозволяє підвищити ефективність обладнання та знизити витрати на обслуговування. Однак, недостатньо досліджено вплив плакованих металів як наповнювачів (Нп) для ПА. У літературі зазначається, що застосування плакованих сплавів може значно збільшити робочий ресурс деталей, тому науковий інтерес у цьому напрямі зумовив дослідження впливу плакованих сплавів на властивості ПА.

Для створення нових ПКМ обрано ароматичний поліамід фенілон марки С-1. Як наповнювач обрано дисперсний (40–100 мкм) сплав ПКХН-15 на основі карбіду хрому (Cr_3C_2), плакований 15% нікелю. Процес виготовлення нових ПКМ передбачав активацію наповнювача у магнітному полі вихрового змішувача, як зазначено в літературі [3].

Дослідження показали, що введення плакованого сплаву ПКХН-15 до фенілону значно знижує інтенсивність лінійного зношування та коефіцієнт тертя композиту майже в 15 та 1,8 разів відповідно. Найкраща зносостійкість спостерігалась у ПКМ з 20 мас.% Нп. Температура в зоні тертя ПКМ залишається стабільною, а поверхні тертя не мають слідів схоплювання, що вказує на зменшення локального перегріву і зношування.

Для подальшого аналізу була проведена експериментальна заміна стандартних втулок з високомолекулярного поліетилену на втулки з розробленого композиту (20 мас.% ПКХН-15) у конвеєрі для транспортування соняшника. У ході експлуатації з 8 квітня по 8 вересня 2024 року нові втулки продемонстрували відсутність слідів зношування,

що підтвердило їх високу зносостійкість. Таким чином, використання плакованого сплаву ПКХН-15 як наповнювача для ароматичного ПА фенілон є ефективним рішенням для підвищення зносостійкості матеріалів, що працюють у вузлах тертя.

Перелік використаних джерел

1. Полімерні композити нановуглець-метал: структура і електричні властивості/ Лазаренко О.А., Вовченко Л.Л., Овсієнко І.В., Мацуї Л.Ю. Київ Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2018. 200 с.

2. Полімерні композиційні матеріали спеціального призначення / Л. Зозуля, В. Трачевський, Н. Столярова. *Актуальні проблеми хімії та хімічної технології*: всеукраїнська науково-практична конференція, 20–21 листопада 2014 р. К.: НУХТ, 2014. С. 173-174.

3. The effect of various metallic filling materials on the wear resistance of aromatic-polyamide-based composite materials // Burya, A.I., Yeriomina, Y.A. *Journal of Friction and Wear*, 2016, 37(2), pp. 151–154.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-54>

TECHNOLOGY AND EQUIPMENT FOR THE PRODUCTION OF COLD-DEFORMED REINFORCING REBARS IN COILS

ТЕХНОЛОГІЯ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ХОЛОДНОДЕФОРМОВАННОГО АРМАТУРНОГО ПРОКАТУ В МОТКАХ

Ivchenko A.O.,

PhD student, State University of Science and Technology, Dnipro, Ukraine

Івченко А.О.,

аспірант, Державний університет науки та технологій, Дніпро, Україна

Perchun G.I.,

PhD (Engineering), Associate Professor, State University of Science and Technology, Dnipro, Ukraine

Перчун Г.І.,

к.т.н., доцент, Державний університет науки та технологій, Дніпро, Україна

Сучасне світове будівництво орієнтоване на масове використання арматурного прокату (АП) класу міцності 500 Н/мм², що виготовляється та поставляється споживачам у мотках. Переваги виробництва та

використання АП у мотках полягає в тому, що, використовуючи сучасне обладнання для заготовки та переробки АП у вигляді правильно-відрізних верстатів, ліній автоматизованого розкрою та виготовлення арматурних елементів, а також ліній з виготовлення зварної сітки з АП діаметром від 4,0 до 16,0 мм у мотках, на підприємствах будівельної індустрії виробляють широкий спектр елементів для армування конструкцій. При цьому АП може застосовуватися у вигляді стрижнів розрахункової арматури, а також у вигляді скобо-згинальних виробів будь-якої форми, з яких далі виготовлятимуть різноманітні каркаси за формою конструкцій, у тому числі і довгомірні. Останнє підвищує продуктивність та значно скорочує чисельність робітників, які задіяні у виробничому процесі. Тому головною проблемою для успішної реалізації передових будівельних технологій стає наявність якісного АП в мотках, який характеризується підвищеними властивостями (міцності та пластичності).

Для підвищення властивостей АП для залізобетону використовується три найпоширеніших способи зміцнення продукції: легування сталі, термічну обробку і холодну деформацію. Легування сталі, яке масово використовувалося з 60-х років минулого століття при виробництві гарячекатаного АП, стає менш ефективним методом через суттєве подорожчання продукції через значну вартість феросплавів. Цим методом виготовляється АП по ДСТУ 9130:2021 класів міцності А400, А600, А800 та А1000. Термічна обробка – це найпоширеніший сучасний метод, який застосовується у процесі виготовлення АП по ДСТУ 3760:2019 класів міцності А500С, А600С, А800 та А1000. Але цей метод не дозволяє виготовляти якісний АП класу міцності А500С в мотках через велику неоднорідність механічних властивостей по довжині стрижня, що формується в моток на прокатному стані у процесі гарячої деформації та примусового прискореного охолодження. Метод зміцнення АП по ДСТУ EN 10080:2009 шляхом холодної деформації (ХД) в Україні має менше поширення, хоча застосовується вже понад 60 років. Цим методом отримували арматуру класу А-IIIв, яку виготовляли з арматури А400 (А-III згідно з ГОСТ 5781) шляхом деформації витягуванням на ступінь 3,5 – 4,5% окремих стрижнів мірної довжини. Така арматура мала нормовану межу плинності ≥ 540 Н/мм², що відповідає класу А500 згідно сучасного ДСТУ 3760:2019 та використовувалась для плит перекриття житлових споруд і прогонових будов мостів. Холодна деформація арматури здійснювалась безпосередньо на заводах залізобетонних виробів, а виготовлення з неї попередньо напружених залізобетонних виробів дозволяло отримувати

економію сталі. Метод зміцнення АП шляхом ХД набув значного розвитку та поширення в багатьох європейських країнах, однак з ряду причин не був втілений в Україні. Тому розробка технології та сучасного обладнання (технологічної лінії) для виробництва АП класу міцності 500 Н/мм² в мотках залишається актуальним питанням сьогодення.

Завданням роботи є розробка комбінованої технології [1] та лінії [2] для виготовлення АП в мотках з підвищеними характеристиками міцності ($\sigma_{0,2} \geq 500$ Н/мм²; $\sigma_b \geq 600$ Н/мм²) при одночасному збереженні високої пластичності ($\delta_{max} \geq 7,5\%$) згідно сучасних вимог національного (ДСТУ) та міжнародних (EN, DIN) стандартів.

В роботі запропоновано технологію комбінованого виробництва АП періодичного профілю в мотках, яка включає деформацію сталевий заготовки на металургійному переділі (перший етап), коли в процесі гарячої деформації на поверхні стрижня формують періодичний профіль, який прискорено охолоджують до середньомасової температури 740...800 °С. Після чого здійснюють змотування арматури в моток та охолодження на повітрі до температури навколишнього середовища. Це дозволяє отримати АП з межею плинності (σ_T) на рівні 350...450 Н/мм². Далі на метизному переділі (другому етапі), отриманий раніше АП піддають холодній деформації шляхом розтягу стрижня на 2...12% в процесі перемотки його з мотка в моток. При цьому перед формуванням нового мотка стрижень додатково піддають примусовій механоциклічній обробці багаторазовим знакозмінним вигином у стані натягіння навколо 3 ... 8 обвідних роликів, діаметром рівним 12...24 діаметрам прокату при куті 60 ...120⁰ огинання прокатом робочої поверхні кожного з них. Це дозволяє отримати АП з межею плинності ($\sigma_{0,2}$) не менше 500 Н/мм², що відповідає продукції класу міцності А500С за ДСТУ 3760:2019.

Для реалізації другого етапу комбінованої технології (холодної деформації розтягом) запропонована лінія (рис.1), що містить встановлені в технологічній послідовності розмотувальний пристрій (1), окалиноломатель (2), пристрій для холодного деформування прокату (3), приводний намотувальний механізм (4) та пристрій, що формує моток (5). Пристрій для холодного деформування прокату виконано у вигляді двох обвідних барабанів, першого і другого по ходу руху прокату, які кінематично пов'язані між собою за допомогою електропривідної зубчастої передачі. Цей пристрій розміщено на ділянці між окалиноломателем і приводним намотувальним пристроєм, а за рахунок різниці лінійної швидкості зовнішньої поверхні першого та другого

обвідних барабанів забезпечується розтяг прокату на 2...12%, що і призводить до підвищення його класу міцності.

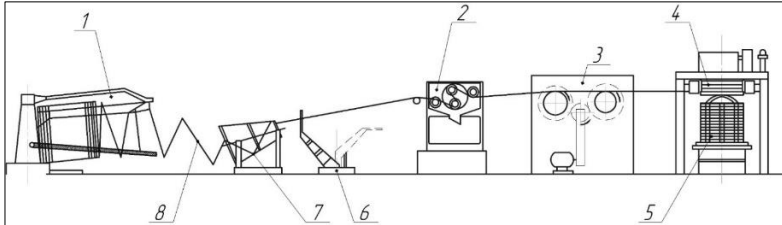


Рис. 1. Лінія для виготовлення холоднодеформованого арматурного прокату в мотках: 1 – розмотувальний пристрій; 2 – окалиномател; 3 – пристрій для холодного деформування прокату; 4 – приводний намотувальний механізм; 5 – пристрій, що формує моток; 6 – датчик аварійної зупинки лінії; 7 – блок для вирівнювання арматурного стрижня; 8 – арматурний стрижень

Відмінною рисою запропонованої лінії є наявність пристрою 3 для деформації розтягом арматурного стрижня періодичного профілю 8. Сама лінія дозволить при перемотуванні з мотка в моток АП металургійного виробництва з готовим періодичним профілем класу міцності А300С та А400С шляхом додаткової холодної деформації розтягом отримувати новий моток, але вже класу міцності А500С. Реалізація додаткового розтягу здійснюватиметься у пристрої 3 за рахунок його конструктивних особливостей.

Таким чином, шляхом комбінованого виробництва, яке відбувається у два етапи (шляхом гарячої та холодної деформації), можливо виготовляти АП періодичного профілю діаметром від 6,0 до 22,0 мм в мотках класу міцності 500 Н/мм² з рівнем механічних властивостей готової продукції у відповідності до вимог національного та міжнародних стандартів.

Перелік використаних джерел

1. Спосіб комбінованого виробництва арматурного прокату періодичного профілю в мотках / Івченко А.О., Перчун Г.І., Івченко О.В. Заявка UA № а2024 03411 від 01.07.2024 р.
2. Лінія для виготовлення холоднодеформованого арматурного прокату в мотках / Івченко О.В., Івченко А.О., Перчун Г.І., Поворотній В.В. Заявка UA № а2024 04313 від 03.09.2024 р.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-55>

**DETERMINATION OF THE LAW OF MOTION
FOR AN UNSTEADY MODE OF A MACHINE UNIT
WITH A NON-LINEAR MECHANICAL CHARACTERISTIC**

**ВИЗНАЧЕННЯ ЗАКОНУ РУХУ ДЛЯ НЕУСТАЛЕНОГО
РЕЖИМУ МАШИННОГО АГРЕГАТУ З НЕЛІНІЙНОЮ
МЕХАНІЧНОЮ ХАРАКТЕРИСТИКОЮ**

Kaidash M.D.,

*PhD (Engineering),
Associate Professor, LLC «Technical
university «Metinvest polytechnic»,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Кайдаш М.Д.,

*к.т.н., доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Процес розбігу (запуску) машинного агрегату є одним з неусталених режимів руху, що характеризуються неперіодичними змінами швидкості головного вала машини. При запуску агрегату кутова швидкість головного вала ω монотонно зростає від нуля до певного усталеного значення ω_y , при якому обертання вала є рівномірним. В окремих випадках динамічного дослідження режиму розбігу сили та моменти є функціями швидкості, що не залежать від переміщень, а зведений до головного вала момент інерції машини J є сталою величиною: $J = const$. Типовими прикладами для таких режимів є турбо– та гідрогенераторні агрегати, вантажопідіймальні машини з електричним приводом, відцентрові помпи, вентиляторні установки та ін. Для дослідження процесу розбігу зазначених машин використовується рівняння руху в диференціальній формі [1].

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_z(\omega), \quad (1)$$

де $M_z(\omega)$ – момент, зведений до валу двигуна або валу робочої машини, що визначається, як алгебраїчна сума моментів двигуна $M_d(\omega)$ та опору $M_{оп}(\omega)$.

На сьогодні в дослідженнях режимів неусталеного руху, як правило, використовують характеристики двигуна та робочої машини, для яких функція $M_z(\omega)$ близька до лінійної, що дозволяє отримати наближене рішення в аналітичній формі [1].

Основним завданням даної роботи є дослідження процесу розбігу, що виконується асинхронним двигуном з нелінійною механічною характеристикою [2].

$$M_D(\omega) = \frac{2M_K}{\frac{S}{S_K} + \frac{S_K}{S}}, \quad (2)$$

де M_K – критичний момент; S і S_K – значення поточного та критичного ковзання, що визначаються через синхронну та критичну швидкості обертання ω_0 і ω_K відповідно: $S = (\omega_0 - \omega) / \omega_0$, $S_K = (\omega_0 - \omega_K) / \omega_0$.

Механічну характеристику робочої машини прийнято, як лінійну функцію:

$$M_{Or}(\omega) = a + b\omega. \quad (3)$$

З урахуванням (2) і (3) рівняння (1) можна представити у вигляді

$$\frac{t}{J} = \int_0^{\omega} F(\omega) d\omega, \quad (4)$$

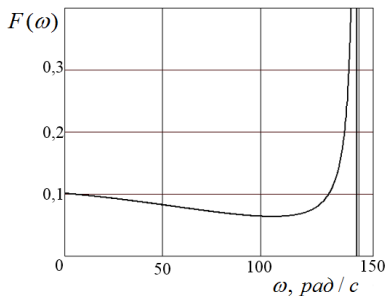
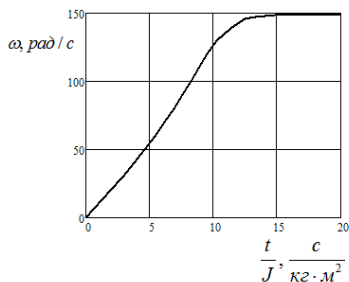
$$\text{де } F(\omega) = \frac{1}{M_S(\omega)} = \frac{(S_K \omega_0)^2 + (\omega_0 - \omega)^2}{2M_K S_K \omega_0 (\omega_0 - \omega) + (a + b\omega)((S_K \omega_0)^2 + (\omega_0 - \omega)^2)}.$$

Оскільки функція $F(\omega)$ (рис.1) не може бути проінтегрована з отриманням аналітичного виразу, то для розв'язку рівняння (4) було застосовано чисельне інтегрування. Розрахунок виконано для асинхронного двигуна та робочої машини з характеристиками:

$$M_K = 21,6 \text{ Н} \cdot \text{м}; S_K = 0,30; \omega_0 = 157 \text{ рад} / \text{с}; a = -2; b = -0,036.$$

Усталене значення кутової швидкості $\omega_y = 148,7 \text{ рад} / \text{с}$ визначено з умови: $M_{Or}(\omega_y) + M_D(\omega_y) = 0$.

В результаті обчислення визначеного інтеграла для кожного із вибраних значень кутової швидкості в межах $0 \leq \omega < 0,98\omega_y$, отримано ряд дискретних значень функції $\frac{t}{J}(\omega)$, за якими визначено обернену залежність $\omega(\frac{t}{J})$, (рис. 2).

Рис. 1. Графік функції $F(\omega)$ Рис. 2 – Графік функції $\omega\left(\frac{t}{J}\right)$

Викладений в роботі підхід до динамічного синтезу машини з нелінійною функцією зведеного моменту дозволяє по вибраним умовам руху визначати її параметри.

Зокрема, якщо задати час розбігу машини від нуля до кутової швидкості усталеного руху, то можна визначити відповідну величину зведеного моменту інерції J та характер зміни зведеного моменту машини $M_z(\omega)$.

Наведений метод розрахунку є прийнятним, як для фази розбігу машинного агрегату, так і для фази зупинки для будь-яких нелінійних механічних характеристик двигуна та робочої машини.

Отримані в роботі результати можуть бути використані при викладанні курсів «Теоретична і прикладна механіка», «Теорія механізмів і машин».

Перелік використаних джерел

1. Theory of mechanisms and machines. In 2 parts. [Electronic resource]: Textbook / O. P. Zakhovaiko. – Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2020. – Part 1. : Classification and analysis of mechanisms. – Electronic text data (1 file: 9,13 MB). 188 p.

2. Ю. О. Єрмолаєв, Т.Г. Руденко. Визначення параметрів асинхронних двигунів з побудовою статичних характеристик для приводів фрезерувального верстата СФ-АСТРА-РК8. Збірник наукових праць КНТУ. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Кропивницький, 2010. № 23. С. 71–77.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-56>

**FINITE ELEMENT MODELING OF A MULTI-STAGE COMBINED
EXTRUSION PROCESS FOR HOLLOW PRODUCTS
WITH A FLANGE**

**МОДЕЛЮВАННЯ МЕТОДОМ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ
ПРОЦЕСУ ПОЕТАПНОГО КОМБІНОВАНОГО
ВИДАВЛЮВАННЯ ПОРОЖНИСТИХ ВИРОБІВ З ФЛАНЦЕМ**

Kosariiev V.S.,

*PhD Student, Donbas State
Engineering Academy,
Kramatorsk-Ternopil, Ukraine*

Косарєв В.С.,

*аспірант, Донбаська державна
машинобудівна академія
м. Краматорськ-Тернопіль, Україна*

Chuchin O.V.,

*PhD (Engineering), Senior Lecturer,
Donbas State Machine
Building Academy,
Kramatorsk-Ternopil, Ukraine*

Чучин О.В.,

*к.т.н., старший викладач,
Донбаська державна машинобудівна
академія,
м. Краматорськ-Тернопіль, Україна*

Порожністі деталі з фланцем широко застосовуються в різних галузях промисловості [1]. В цих виробках оптимально поєднуються легкість, міцність та функціональність.

Для базового варіанта виготовлення деталі «Стакан з фланцем» в процесі комбінованого зворотне–радіального видавлювання з одним активним верхнім пуансоном характерна поява таких дефектів як затиск та не заповнення матеріалом заготовки нижнього кута порожнини в фланцевій зоні. Одним з варіантів вирішення цієї проблеми є застосування для виготовлення порожнистих деталей з фланцем процесу поетапного комбінованого видавлювання [1].

Метою даної роботи є дослідження процесу поетапного комбінованого видавлювання порожнистих деталей з фланцем. Основними завданнями є підтвердження можливості виготовлення бездефектної порожнистої деталі з фланцем, визначення оптимальних параметрів комбінованого видавлювання та розробка рекомендацій щодо покращення процесу виготовлення деталі.

Дослідження процесу поетапного комбінованого видавлювання порожнистої деталі з фланцем (рис. 1) було проведене у програмі DEFORM 2D, яка базується на методі скінченних елементів.

На першому етапі поетапного комбінованого видавлювання заготовки з алюмінієвого сплаву Al – 2017 (рис. 1,а) для виготовлення якісного бездефектного фланцю здійснюється одночасний зустрічний рух верхнього та нижнього пуансонів з однаковою швидкістю $V_1=1$ мм/с (швидкість верхнього пуансона не змінюється до кінця процесу видавлювання) і ходом обох пуансонів $S = 19$ мм.

На другому етапі нижній пуансон змінює напрямок руху на протилежний (рис. 1,б), тобто переміщується в тому ж напрямку, що і верхній пуансон, але вже зі швидкістю $V_2=0,2$ мм/с. При цьому хід верхнього пуансона дорівнює $S = 30$ мм, а нижнього пуансона – $S = 6$ мм.

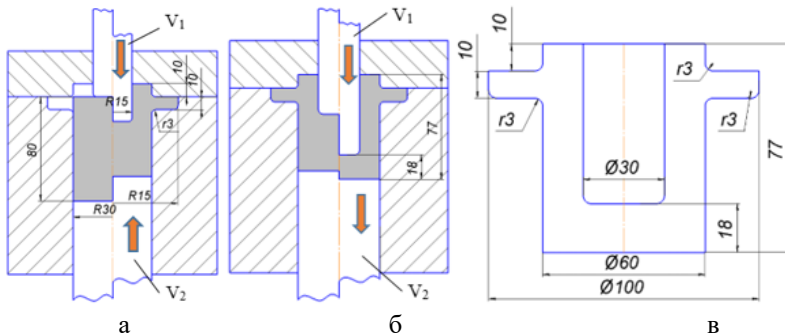


Рис. 1. Перший (а) та другий (б) етапи поетапного комбінованого видавлювання порожнистої деталі з фланцем (в)

Слід зауважити, що збільшення швидкості переміщення нижнього пуансона понад 0,2 мм/с призводить до руйнування фланцю.

Результати дослідження процесу поетапного комбінованого видавлювання в програмі DEFORM 2D (рис. 2) наступні: отримано бездефектний (без затисків) фланець (а), встановлений в перетині заготовки, яка деформується, розподіл інтенсивності деформацій ε_i (б) та розподіл інтенсивності напружень σ_i в МПа (в).

Виявлено, що найбільші інтенсивність деформації $\varepsilon_i=2,5$ та інтенсивність напруження $\sigma_i=355$ МПа зосереджені у верхнього торця фланця (з боку верхньої напівматриці).

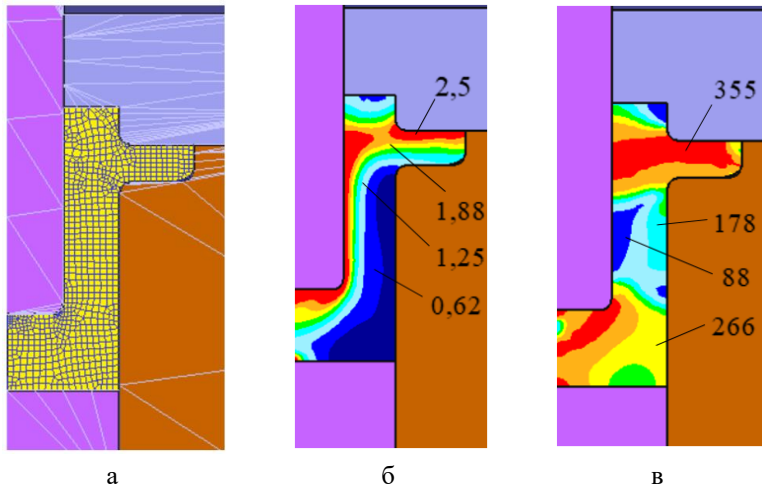


Рис. 2. Результати роботи в програмі DEFORM 2D: викривлення ділільної сітки (а), розподіл інтенсивності деформацій ϵ_i (б), розподіл інтенсивності напружень σ_i , МПа (в)

Висновки. Розглянута схема процесу поетапного комбінованого видавлювання дозволила отримати бездефектну порожнисту деталь з фланцем (див. рис. 2,а).

Найбільші інтенсивності деформації $\epsilon_i=2,5$ (див. рис. 2,б) та інтенсивності напруження $\sigma_i=355$ МПа (див. рис. 2,в) знаходяться біля верхнього торця фланця (з боку верхньої напівматриці).

Досліджена схема є закритою, а це потребує виготовлення заготовки з точними розмірами, щоб уникнути можливі руйнування інструментів через підвищене навантаження на них.

Перелік використаних джерел

1. Абхарі П. Б. Аналіз напруженого стану порожнистих деталей в процесі зворотно-радіального видавлювання / Абхарі П. Б., Малій Х. В., Кузенко О. А. // Обробка матеріалів тиском : збірник наукових праць. – Краматорськ : ДГМА, 2019. – № 2 (49). – С. 123–127.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-57>

**INCREASING THE OPERATIONAL DURABILITY
OF THE FRICTION TOOL FOR SPINNING OF NECKS**

**ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ДОВГОВІЧНОСТІ
ІНСТРУМЕНТУ ТЕРТЯ ДЛЯ РОТАЦІЙНОЇ
ОБКАТКИ ГОРЛОВИН**

Kulik T.O.,

*PhD (Engineering), LLC "Technical
university "Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Кулік Т.О.,

*к.т.н., ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Kulik O.M.

*PhD (Engineering),
Associate Professor, LLC "Technical
university "Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Кулік О.М.,

*к.т.н., доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

One of the main tasks of blank production is to reduce the cost price by maximally bringing the blank closer to the final geometric characteristics of the finished part and, as a result, reducing the labour intensity and energy intensity of the technological process, increasing the material utilization factor, and improving the performance characteristics of the manufactured products. It's essential for mass and large-scale production parts, such as belt conveyor rollers. Hot spinning (rotational running-in) with a friction tool, compared to other methods of plastic deformation of tubular blanks, has several advantages: high productivity, insignificant deformation force, and excellent technological capabilities, including those allowing the forming necks of a relatively small diameter at the ends of a tubular blank, to obtain a blank that is maximally close in shape to the finished product [1].

In addition, as shown by the experience of operating rollers of an axless design obtained by spinning from a hollow blank, their performance is 2.5 times higher than traditional rollers on axles. This is because the technology of spinning of necks provides improved metal properties in necks from the point of view of the thermomechanical aspect [2].

At the same time, the research on the process showed that the necks of the rollers are especially sensitive both in macro-geometry and in the stability of thermomechanical parameters to the geometric characteristics of the working profile of the friction spinning tool. This places increased demands on the

operational durability of the tool, requires constant strict control of the condition of its working surface and compels its prompt and timely replacement.

To increase the operational durability of the friction tool, ensure quick replacement of its working surfaces and reduce the consumption of wear-resistant alloy, a design of a friction tool with a separate base is proposed. The tool's design is such that the tool unit has several working areas with the required working surface (Fig. 1). The tool base is made in the form of a rectangular prism with grooves along the perimeter and in the side walls and is equipped with a fastening unit for the working part of the tool unit in the form of a support flange located in the base grooves, as well as at least one support insert installed on one side of the base with the possibility of plane-parallel movement. The working part of the tool unit is made with end ribs and an even number of working sections. During the tool's operation, only a section of the working part of the tool unit comes into contact with the workpiece, which is replaced after it wears out.

Such a design allows for quick reinstallation of the tool unit so that an unworn section of the working surface comes into contact with the workpiece.

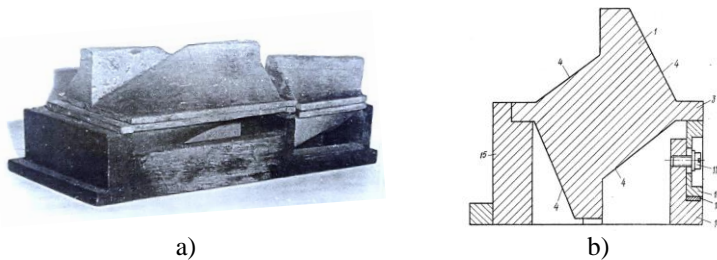


Fig. 1. Set of tools for rotary spinning of necks of relatively small diameter with quick-change working part (a) and cross-section of the assembled instrument (b)

Thus, the use of the proposed design of a friction tool with a separate base and several working sections of the spinning tool unit increases the operational durability of the tool and ensures stable macrogeometric parameters of the finished product.

Bibliography

1. Study on optimization of thermal spinning process of accumulator shell / Bin Li et al. *Mechanics & Industry*. 2020. Vol. 21 P. 2073–2084.
2. Кулік О. М., Кулік Т. О. Термомеханічний аспект технології отримання труб з горловиною відносно малого діаметру ротаційною обкаткою. *Литво. Металургія. 2024* : матеріали XX Міжн. наук.-практ. конф., м. Київ, 28-30 трав. 2024 р. С. 409-412.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-58>

THE FORCE MODE OF TRANSVERSE EXTRUSION PROCESSES

СИЛОВИЙ РЕЖИМ ПРОЦЕСІВ ПОПЕРЕЧНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ

Levchenko V.M.,

*PhD (Engineering), Junior Researcher,
O.Ya. Usikov Institute for Radiophysics
and Electronics of the National
Academy of Sciences of Ukraine,
Kharkiv, Ukraine*

Левченко В.М.,

*к.т.н., молод. наук. співробітник,
Інститут радіофізики
та електроніки імені О.Я. Усикова
Національної академії наук України,
м. Харків, Україна*

Markov O.Ye.,

*DSc (Engineering), Professor,
Donbas State Engineering Academy,
Kramatorsk, Ukraine*

Марков О.Є.,

*д.т.н., професор,
Донбаська державна машинобудівна
академія, м. Краматорськ, Україна*

Abhari P.B.,

*DSc (Engineering), Professor,
Donbas State Engineering Academy,
Kramatorsk, Ukraine*

Абхари П.Б.,

*д.т.н., професор,
Донбаська державна машинобудівна
академія, м. Краматорськ, Україна*

Titov A.V.,

*PhD (Engineering),
Associate Professor, National Technical
University of Ukraine "Igor Sikorsky
Kyiv Polytechnic Institute",
Kyiv, Ukraine*

Тітов А.В.,

*к.т.н., доцент, Національний
технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»,
м. Київ, Україна*

Значним резервом підвищення конкурентоспроможності машинобудування є новітні ресурсозберігаючі технології заготівельного виробництва, до яких можна віднести процеси точного об'ємного штампування (ТОШ). Останнім часом спостерігається стійка тенденція до розширення можливостей процесів ТОШ [1, 2]. Все більше застосування знаходять способи поперечного (радіального та бокового) видавлювання, які спрямовані на виготовлення складних деталей з фланцем або з одним чи декількома бічними відростками [3, 4]. Розвиток технологій ТОШ пов'язано також з освоєнням способів деформування, які утворюються комбінуванням схем поздовжнього та поперечного видавлювання. Ці способи видавлювання дозволяють отримувати

штампуванням складно профільовані порожнисті деталі типу стаканів та гільз з фланцем за одну технологічну операцію у роз'ємних матрицях закритих штамів. Основне обмеження досліджень вказаних способів видавлювання полягає в тому, що аналіз силового режиму проводиться без вивчення сил розкриття роз'ємних матриць. Але цей фактор є важливим при проектуванні штампового оснащення, особливо враховуючи те, що геометрія інструменту та умови тертя відіграють значну роль в формуванні силового режиму саме в рівні зусиль розкриття роз'ємних матриць. Неправильна оцінка зусиль розкриття може призвести до втрати надійної роботоспроможності штампів і зниження точності деталей.

Мета роботи – аналіз силового режиму процесу видавлювання деталей складної конфігурації з відростками та фланцями за допомогою криволінійного кінематичного модуля трикутної форми.

Для отримання залежностей енергосилових параметрів використовували метод кінематичних модулів (МКМ). Відповідно до МКМ розрахункові схеми процесу плоского бокового видавлювання містять модулі для аналізу течії металу в характерних зонах деталі: в центральній зоні 1, де відбувається стиснення і видавлювання металу, та в перехідній зоні 2, де на кромці матриці, виконаній із закругленням (рис. 1, а) або у вигляді прямолінійної фаски (рис. 1, б), метал додатково піддається обтиску. Для аналізу процесів видавлювання деталей з криволінійними формоутворюючими поверхнями використовували криволінійний трикутний елемент.

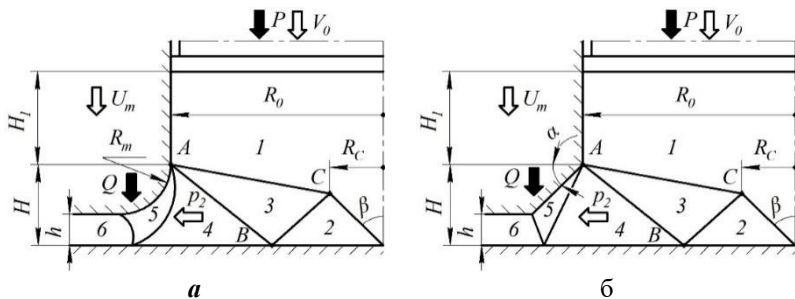


Рис. 1. Розрахункові схеми процесу бокового видавлювання з криволінійним (а) та трикутним (б) кінематичними модулями

Уточнено характер залежності приведенного тиску криволінійного трикутного кінематичного модуля для деформування металу на перехідній кромці матриці, який використовується для аналізу процесів видавлювання деталей з криволінійними формоутворюючими поверхнями, в тому числі процесу бокового видавлювання. Визначення приведенного тиску розкриття матриць для криволінійного модуля на перехідній кромці матриці виконано введенням віртуального переміщення напівматриць і на основі використання рівняння енергетичного балансу потужностей. Як параметр, що характеризує ступінь деформації в процесі поперечного видавлювання, застосовується величина відносного радіуса закруглення перехідної кромки напівматриці $\varepsilon = h/R_m$. Отримана залежність для приведенного тиску розкриття напівматриць в параметричному запису має наступний вигляд:

$$\bar{q} = \frac{I}{2 \cdot \bar{F}_2} \cdot [\bar{R}_2^2 \cdot \theta + \bar{R}_3^2 \cdot \varphi + \pi \cdot \mu].$$

де $\theta = 2 \cdot \arctg\left(\frac{\bar{R}_m - \varepsilon \cdot \text{ctg}(\beta)}{\bar{R}_m + \varepsilon}\right)$; $\bar{R}_2 = \frac{\bar{R}_m + \varepsilon}{\sin(\theta)}$; $\bar{F}_2 = \bar{R}_2 - \bar{R}_m$;

$$\bar{\Delta} = \bar{F}_2 \cdot \text{ctg}(\beta) + \frac{\varepsilon}{2} \cdot (\text{ctg}^2(\beta) - 1); \quad \bar{R}_3 = \sqrt{\bar{F}_2^2 + [\varepsilon + \bar{\Delta}]^2};$$

$$\varphi = 2 \cdot \arcsin\left(\frac{\varepsilon}{\bar{R}_3 \cdot 2 \cdot \sin(\beta)}\right).$$

Параметром оптимізації була величина кута β . Аналіз залежності приведенного тиску деформування \bar{p}_2 на кромці матриці показав, що зусилля \bar{p}_2 суттєво зростає при $\varepsilon < 2$, а при більших значеннях ε його величина не перевищує 1,25 (рис. 2, а). Вплив коефіцієнта тертя μ на зростання тиску \bar{p}_2 збільшується зі зменшенням параметру ε . Аналіз залежності зусилля розкриття напівматриць \bar{q} від параметру ε показує, що для ε також існують оптимальні значення на інтервалі 0,6...0,7 (рис. 2, б), для яких величина \bar{q} не перевищує 2.

Для приведених тисків запропоновано інженерні розрахункові формули. Отримані результати дозволяють використовувати криволінійний трикутний кінематичний модуль для аналізу силового режиму процесів бокового видавлювання деталей та видавлювання порожнистих виробів у матрицях з закругленими формоутворюючими поверхнями.

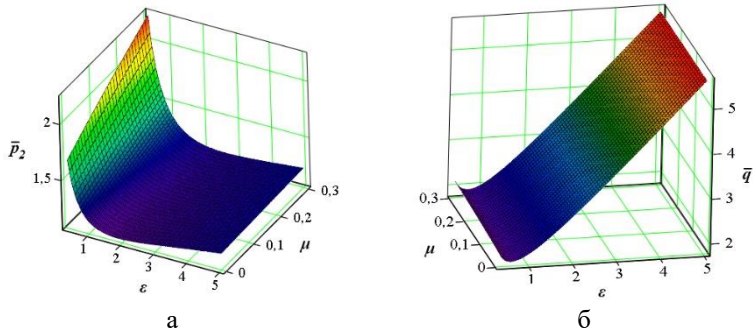


Рис. 2. Графіки залежностей для приведених тисків деформування \bar{p}_2 (а) та розкриття напівматриць \bar{q} (б)

Перелік використаних джерел

1. Lee H.Y., Hwang B.B., Lee S.H. Forming load and deformation energy in combined radial backward extrusion process. Proceedings of the Int. Conf. “Metal Forming 2012” 16-19.09.2012, AGH, Krakow. pp. 487–490.
2. Wälder J., Liewald M. Hollow lateral extrusion of tubular billets – further development of the cold forging process. Applied Mechanics and Materials. 2015. 794, pp. 160–165.
3. Forging Solutions. Design Engineering Information FIA. Cold Forging. 28 p.
4. Balendra R. Injection forging: Engineering and research. *Journal of Materials Processing*. 2004. 145, pp. 189–206.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-59>

**ANLYSIS OF MODERN METHODS OF RESTORATION
AND STRENGTHENING OF STAMPS USING THE FUSION METHOD**

**АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СПОСОБІВ ВІДНОВЛЕННЯ
ТА ЗМІЦНЕННЯ ШТАМПІВ МЕТОДОМ НАПЛАВЛЕННЯ**

Makarenko N.O.,

*DSc (Engineering), Professor,
Donbas State Engineering Academy,
Kramatorsk – Ternopil, Ukraine*

Макаренко Н.О.,

*д.т.н., професор, Донбаська
державна машинобудівна академія,
м. Краматорськ – Тернопіль, Україна*

Kushchii A.M.,

*PhD (Engineering),
Associate Professor, Donbas State
Engineering Academy,
Kramatorsk – Ternopil, Ukraine*

Кушій Г.М.,

*к.т.н., доцент,
Донбаська державна машинобудівна
академія,
м. Краматорськ – Тернопіль, Україна*

Biezghin O.A.,

*PhD student, Donbas State
Engineering Academy,
Kramatorsk – Ternopil, Ukraine*

Безгін О.А.,

*аспірант, Донбаська державна
машинобудівна академія, м.
Краматорськ – Тернопіль, Україна*

Borysenko Yu.Yu.,

*PhD student, Donbas State
Engineering Academy,
Kramatorsk – Ternopil, Ukraine*

Борисенко Ю.Ю.,

*аспірант, Донбаська державна
машинобудівна академія, м.
Краматорськ – Тернопіль, Україна*

Відновлення і зміцнення штампів є актуальною проблемою, оскільки вони працюють у важких умовах при термоциклічних і ударних навантаженнях. В умовах великого серійного виробництва заміна штампів є економічно не вигідною, тому їх відновленню і зміцненню приділяється велика увага, адже це дозволяє продовжити їх робочий ресурс і знизити витрати на їх виробництво.

Для відновлення та зміцнення штампів застосовують наплавлення різноманітних сплавів і металевих матеріалів на їх робочу поверхню. Це дозволяє відновити їх оригінальну геометрію та зміцнити їх поверхню [1], збільшити термін служби, скоротити простої виробництва та зменшити витрати на пресові інструменти.

Для відновлення штампів застосовують наплавлення різними методами, зокрема дуговими, наприклад, плазмовим наплавленням із

використанням порошкових матеріалів (з них найбільш перспективним і сучасним є плазмове-дугове наплавлення з аксіальною подачею порошкового дроту, порошкової стрічки та площенки [1]). Цей метод відрізняється економічністю, високою продуктивністю та гнучкістю у виборі матеріалів. Але є і недоліки. Наприклад, при використанні наплавлення порошковим дротом спостерігається відставання швидкості плавлення його осердя від оболонки, що призводить до забруднення зварювальної ванни неметалевими включеннями.

Плазмове наплавлення з аксіальною подачею дроту забезпечує високу міцність покриття, точність процесу, мінімальну термічну зону впливу та зменшене перемішування з основою, що дозволяє досягти необхідні характеристики покриття вже в першому-другому шарі. Проте, і цей метод має певні недоліки – високу вартість та конструктивну складність обладнання (промисловість серійно не випускає устаткування для цього процесу); складність процесу; висока енергоспоживаність.

Найбільш перспективним, з точки зору ефективності нанесення покриттів, є новітня технологія наплавлення з використанням керованих магнітних полів, яка допомагає стабілізувати зварювальну дугу, покращити перемішування рідкого металу та зменшити кількість дефектів у зоні наплавлення. Цей метод поділяється на методи наплавлення із поздовжніми (ПДМП) і поперечними магнітними полями (ПОМП).

Накладення поздовжніх магнітних полів (ПДМП) на дугу змінює її форму, перетворюючи з дзвіноподібної на конусну, що підвищує ефективність наплавлення, зменшує розмір зони проплавлення основного металу та сприяє контролю форми шва [2].

Критичний аналіз публікацій показав, що недостатньо розрахункових методик для точного визначення частоти та індукції знакозмінного ПДМП, які забезпечують ефективне перемішування рідкого металу ванни при дуговому наплавленні [1-2]. Фізичні процеси, що відбуваються під дією ПДМП, недостатньо вивчені, що стримує практичне використання цього методу. Також бракує досліджень щодо індукції керуючого ПДМП і методів його розрахунку.

Введення ПОМП при наплавці покращує якість зварних швів і зменшує дефекти. Вісь дуги, відхилена поперечним магнітним полем, займає такі точки, де індукція дорівнює нулю. На зміщення плями дуги на поверхні додатково впливають сили Лоренца як в дузі, так і в рідкому металі ванни. Відомо, що ефект розширення валика при наплавленні досягається через взаємодію струму із керуючим магнітним полем.

Останні дослідження зосереджені на стабілізації зварювальної дуги за допомогою магнітного поля та його впливі на рух рідкого металу у

ванні. Відомо [3-4], що ПДМП змінює форму дуги, викликаючи її обертання та перетворення з дзвіноподібної на конусоподібну, що покращує контроль над зварювальним процесом. Також дослідниками встановлено, що магнітне поле дозволяє покращити перемішування рідкого металу, що особливо важливо, наприклад, при зварюванні під шаром флюса. Однак, оптимальні частоти та індукції ПДМП ще потребують подальшого уточнення. Необхідно удосконалити методики розрахунку параметрів магнітних полів для ефективного перемішування металу та покращення якості швів. Важливим є також вивчення впливу магнітного поля на зварювання феромагнітних матеріалів і гідродинамічні процеси в ванні.

Таким чином, подальші дослідження у сфері наплавлення із використанням магнітних полів є необхідними для покращення якості, надійності та ефективності процесів, а також для розвитку новітніх методів управління процесами наплавлення. Для поліпшення техніко-економічних показників наплавлення з використанням керованих магнітних полів, необхідно розв'язати деякі задачі: уточнити параметри магнітного поля (такі, як його частота та інтенсивність); глибше дослідити як поперечні, так і поздовжні компоненти магнітного поля, їх взаємодію з рідким металом; визначитись з механізмами стабілізації зварювальної дуги та уточнити вплив дії Лоренцевих сил на процес наплавлення.

Перелік використаних джерел

1. Новомлинець О. О. Проектування технологічних процесів зварювального виробництва : навчальний посібник / О.О. Новомлинець, С.В. Олексієнко, С.М. Ющенко. – Чернігів: НУ «Чернігівська політехніка», 2023. – 130 с. – ISBN 978-617-7932-50-4.
2. Размишляєв О.Д, Агєєва М.В. Характеристики стовпа дуги при TIG-зварюванні з дією поздовжнього магнітного поля // Журнал «Автоматичне зварювання», № 11, 2021, с. 3-7.
3. Лебедев В.О. Інноваційна техніка і технології для електродугового зварювання та наплавлення : монографія / В.О. Лебедев, С.Ю. Максимов, М.М. Бриков [та ін.]. – Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2024. – 262 с. – ISBN 978-617-7932-49-8.
4. Лебедев В.О. Адитивні технології електродугового зварювання, наплавлення та напилення : монографія / В.О. Лебедев, М.М. Бриков, Н.О. Макаренко [та ін.]. – Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2024. – 156 с. – ISBN 978-617-7932-66-5.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-60>**THE MAIN DIRECTIONS FOR IMPROVING THE PROCESS
OF COMBINED EXTRUSION FOR STAMPING SLEEVES****ОСНОВНІ НАПРЯМКИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ
КОМБІНОВАНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ
ДЛЯ ШТАМПУВАННЯ ГІЛЬЗ**

Malii O.H.,
*postgraduate, Donbas State
Engineering Academy,
Kramatorsk-Ternopil, Ukraine*

Малій О.Г.,
*PhD student, Донбаська державна
машинобудівна академія,
м. Краматорськ-Тернопіль, Україна*

Удосконалення процесів штампування гільз на основі комбінованого видавлювання – актуальне завдання для підвищення ефективності виробництва у машинобудівній та металургійній галузях, зменшення собівартості й покращення якості кінцевих виробів. Гільзи, які часто виготовляються з високою точністю та потребують високої міцності, широко використовуються в автомобілебудуванні, авіаційній промисловості, приладобудуванні та інших сферах. Комбіноване видавлювання дозволяє поєднати кілька технологічних операцій, таких як пряме і зворотне видавлювання, в одному технологічному процесі, що зменшує потребу в додаткових операціях і забезпечує більш ефективне використання матеріалу.

Основні напрямки вдосконалення процесу комбінованого видавлювання для штампування гільз є оптимізація конструкції інструменту [1], мінімізація витрат енергії та матеріалів [2, 3], управління температурним режимом процесу, застосування систем автоматизованого контролю та керування, моделювання та чисельний аналіз [4, 5].

Використання інструментів з покриттями з високою зносостійкістю (наприклад, покриття з нітриду титану) дозволяє значно збільшити їхній термін експлуатації. Крім того, комбінована конструкція інструментів з різними функціональними елементами сприяє ефективнішому розподілу навантажень, що знижує ймовірність зносу й підвищує точність виробів.

За рахунок комбінованого видавлювання можна зменшити витрати матеріалів, зокрема, знизивши обсяг відходів. Зменшення енерговитрат забезпечується за рахунок оптимізації процесу та зменшення кількості окремих операцій штампування, що особливо важливо у великосерійному виробництві.

Підвищення температури заготовки до оптимальних значень дозволяє зменшити зусилля, потрібне для штампування, і покращити пластичні властивості металу, запобігаючи утворенню тріщин і

дефектів. Це особливо важливо при роботі з високовуглецевими і високоміцними сталлями.

Автоматизація та роботизація процесу комбінованого видавлювання дозволяє забезпечити стабільність і точність на кожному етапі виготовлення гільз. Такі системи можуть контролювати основні параметри процесу, зокрема, товщину стінок, розміри заготовок, рівномірність розподілу матеріалу, що дозволяє знизити кількість бракованих виробів.

Комп'ютерне моделювання (CAE – Computer-Aided Engineering) дозволяє прорахувати оптимальні параметри процесу, оцінити потенційні зони ризику виникнення дефектів і вибрати найбільш ефективні конструктивні рішення для інструменту. Це дозволяє заздалегідь відкоригувати процес і зменшити затрати часу на налагодження та тестування виробництва.

Переваги впровадження комбінованого видавлювання:

- підвищення продуктивності – скорочення кількості окремих операцій дозволяє виготовляти більше деталей за одиницю часу.
- зниження собівартості виробництва – економія на матеріалах, енергії та обслуговуванні інструменту.
- підвищення точності і якості виробів завдяки мінімізації дефектів та покращенню розподілу матеріалу в процесі формування.

Впровадження вдосконалених процесів штампування із застосуванням комбінованого видавлювання сприяє підвищенню конкурентоспроможності виробництва за рахунок зниження витрат та підвищення якості продукції, що особливо важливо у сучасній промисловості.

Перелік використаних джерел

1. Noh J.H., Hwang B.B. Influence of punch geometry on surface deformation and tribological conditions in backward extrusion. *J. of Mechanical Science & Technology*. 2018. 32(1), P. 323-331.

2. Aliieva, L. I., Markov, O. E., Aliiev, I. S., Levchenko, V. N., Malii, K. V. Analysis of Power Parameters of Combined Three-Direction Deformation of Parts with Flange / *FME Transactions*, 2021, 49(2), pp. 344–355.

3. Алієва Л.І. Енергосилові параметри процесів холодного видавлювання видавлювання порожнистих деталей / Л.І. Алієва, Д.О. Картамишев, К.Д. Махмудов, О.В. Чучин // Вісник НТУ «ХП». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії, №30(1306), 2018.

4. Н С. Грудкіна, Л І. Алієва Моделювання процесів комбінованого видавлювання із використанням трапецеїдальних криволінійних кінематичних модулів // Вісник Херсонського національного технічного університету. 2020. №1-1 (72).

5. Hrudkina, N. S., Markov, O. E., Shapoval, A. A., Abhari, P., Malii, K. V. Mathematical and Computer Simulation for the Appearance of Dimple Defect by Cold Combined Extrusion / FME Transactions, 2022, 50(1), pp. 90–98.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-61>

ROLLER BEARINGS MADE OF HYBRID POLYMER COMPOSITE BASED ON POLYAMIDE

ПІДШИПНИКИ КОЧЕННЯ ВИГОТОВЛЕННІ З ГІБРИДНОГО ПОЛІМЕРНОГО КОМПЗИТУ НА ОСНОВІ ПОЛІАМІДУ

Naberezhna O.O.,

*PhD (Engineering), Dniprovsk State
Technical University,
Kamianske, Ukraine*

Набережна О.О.,

*к.т.н., Дніпровський державний
технічний університет,
м. Кам'янське, Україна*

Mizina V.V.,

*Student FIA-23-1d, Dniprovsk State
Technical University,
Kamianske, Ukraine*

Мізіна В.В.,

*студентка ФІА-23–1д, Дніпровський
державний технічний університет,
м. Кам'янське, Україна*

Однією з найпопулярніших категорій КМ є волокнисті композити, в яких наповнювачем слугують волокна. Ці матеріали характеризуються високою міцністю, яка визначається трьома параметрами: міцністю армувальних волокон, жорсткістю матриці та міцністю зв'язку між компонентами. Вперше такі композити були розроблені ще у ХХ столітті, коли почали використовувати фенопласти з бавовняними волокнами. Сучасні волокнисті матеріали містять волокна різної природи, наприклад, вуглецеві, органічні або скляні. Правильна технологія формування композиту є вирішальною для забезпечення його міцності та довговічності, оскільки недотримання технологічних параметрів може значно знизити якість готових виробів.

При створенні композитних матеріалів на основі ароматичних поліамідів, таких як фенілон С-1, застосовують спеціальні методи змішування компонентів у електромагнітному полі. У досліджуваних зразках використовувалися органічні волокна Танлон (довжина 3 мм; модуль пружності при розтягуванні 7,45 ГПа, густина 1,42 г / см³) та вуглецеві волокна Торейка (довжина 3 мм, модуль пружності при розтягуванні 220 – 230 ГПа, густина 1,76-1,80 г / см³), що дозволило створити композити з різними співвідношеннями наповнювачів. Отримані зразки формувалися методом компресійного пресування, а їхня структура досліджувалась за допомогою мікроскопії. Підтримка

точних температур і тиску в процесі виготовлення дозволяє досягти рівномірного розподілу волокон, що є ключовим для забезпечення стабільності властивостей композиту.

Сучасні КМ активно використовуються в машинобудуванні, зокрема для деталей, що працюють в умовах інтенсивного зносу. За результатами випробувань було встановлено, що під час випробувань триботехнічних характеристик було встановлено (табл.1), що інтенсивність зношування отриманих композицій на порядок перевищує показники вихідного полімеру, водночас коефіцієнт тертя знижується у 1,6–2 рази.

Таблиця 1
Триботехнічні показники гібридних композитів на основі фенілону

Показники	Композит 1	Композит 2	Композит 3	Композит 4	Композит 5
Коефіцієнт тертя	0,52	0,259	0,294	0,310	0,320
Інтенсивність лінійного зношування	$2,2 \cdot 10^{-8}$	$2,43 \cdot 10^{-9}$	$1,36 \cdot 10^{-9}$	$1,94 \cdot 10^{-9}$	$3,9 \cdot 10^{-9}$

Це підтверджує високу зносостійкість композитів, що дозволяє їх використовувати в умовах високих механічних навантажень без застосування мастильних матеріалів.

Успішні результати випробувань дозволили перейти до виробничих випробувань: експериментальні деталі були встановлені замість серійних підшипників кочення UCF 212 у опорних вузлах шнекової сушарки ШС-1 (рис.1) в умовах тертя без змащування, підвищеної запиленості та високих температур (200-230 °С).

За результатами технічної експертизи, проведеної протягом 30 днів фахівцями ДДТУ та ТОВ «САС ІНВЕСТ», було встановлено, що підшипники ковзання з ПКМ підходять для використання в опорних вузлах шнекової сушарки ШС-1, але потребують подальших випробувань для визначення їх ресурсу надійності та довговічності.

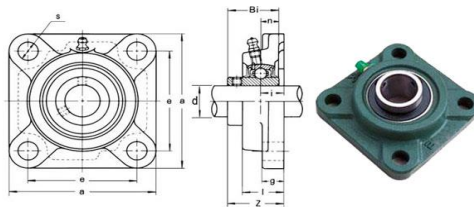


Рис. 1. Підшипник UCF 212

Перелік використаних джерел

1. Патент на винахід № 113813 Україна. Зносостійка полімерна композиція / Буря О.І., Набережна О.О., Томіна А.-М.В. [та ін.] ; заявник і патентовласник Буря О.І. – № а 2016 03209; заяв. 28.03.2016; опубл. 10.03.2017, Бюл. № 5.

2. Гарг М. та ін. «Останні досягнення в галузі гібридних композитів: огляд». Журнал армованих пластмас і композитів , 2012, том. 31, випуск 5, стор. 285-297.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-62>

**INVESTIGATION OF THE POSSIBILITY OF DUCTILE IRON
PLASTICITY INCREASING****ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ПІДВИЩЕННЯ
ПЛАСТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВИСОКОМІЦНОГО ЧАВУНУ****Pashynskiy V.V.,**

*DSc (Engineering), Professor,
LLC “Technical university
“Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Пашинський В.В.,

*д.т.н., професор,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Pashinska O.G.,

*DSc (Engineering), Professor,
LLC “Technical university
“Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Пашинська О.Г.,

*д.т.н., професор,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Boyko I.O.,

*PhD (Engineering),
Associate Professor, LLC “Technical
university “Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Бойко І.О.,

*к.т.н., доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Cast iron with spheroidized graphite (ductile iron) finds lot of application as material for details, which must combine the high strength, plasticity with good cast properties, in order to be produced by casting. Main peculiarity of ductile iron as material is dependence of its mechanical properties mostly on microstructure (ferrite/pearlite ratio, degree of nodularization, size and distribution of graphite particles). But formation of these parameters depends

not only on chemical composition, but on time-temperature parameters of cast mould pouring and following crystallization of metal. That's why choosing of optimal ductile iron composition needs experimental determination of chemical composition for certain detail. It is time and cost consuming process.

The determination of material composition and manufacturing technologies, which permit to obtain high level of mechanical properties in details with different wall thickness is actual task. In this case there will be no necessity to experimentally adjust the composition of material for details with different geometrical parameters. For example, authors of article [1] proposed variants of technological process of ductile iron production with extremely high complex of mechanical properties, relative elongation A_5 , in particular, for wide range of geometrical parameters of details. Process includes high quality raw material selection, using of multicomponent nodularizators and heat treatment of cast part. This technology permits to obtain combination of strength and plasticity, that exceed the requirements of standard [2].

But this technology has high productive cost. The main aim of current investigation was to develop less expensive technology for cases, when main requirements was high plasticity – relative elongation A_5 more than 15% in combination with R_m in the range 400 – 500 MPa. Main approach was to obtain fully ferritic matrix of the ductile iron in details with wall thickness in the range 10 – 40 mm without heat treatment. This result may be obtained with using of iron compositions with increased content of Si. Materials of this type are included in standard [2] under the name of spheroidal graphite cast iron with a matrix mainly consisting of ferrite, solution strengthened mainly by silicon. But standard does not determine the chemical composition of such iron, it determines only grades, in particular EN-GJS-450-18 ($A_5 \geq 18\%$, $R_m \geq 450$ MPa) and EN-GJS-500-14 ($A_5 \geq 14\%$, $R_m \geq 500$ MPa).

Ductile iron was produced from pure raw materials – scrap of low-carbon steel and ductile iron return scrap by melting in electric induction furnace and treatment of molten iron in the ladle by Fe-Si-Mg nodularizator (1,5 kg/t). Following composition, proposed in [3] was used as basis for experimental determination of new composition (Table 1, Test 1)

Table 1
Chemical composition of metal in the ladle after pouring, % wt.

Technology	C	Si	Mn	Mg	P	S	R_m , MPa	A_5 , %
Test 1	3,63	2,48	0,3	0,0418	0,04	0,011	585	10,6
Test 2	3,21	3,21	0,19	0,036	0,021	0,009	506	16
Test 3	3,49	3,43	0,37	0,037	0,02	0,006	566	14
Test 4	3,51	3,53	0,44	0,033	0,018	0,006	610	18

To obtain the fully ferritic matrix, it is necessary to increase the content of Si, but as it was shown in [3], it may lead to decreasing of tensile strength and plasticity due to increasing of ferrite pearlite ratio in combination with solid solution strengthening of ferrite and its embrittlement. To compensate this effect, the content of sulfur and phosphorus must be decreased simultaneously. Carbon content was decreased too. Examples of experimental compositions and their mechanical properties are shown in Table 1.

General view of microstructures for analysis of graphite particles parameters and ferrite pearlite ratio are shown at Fig. 1. Microstructure is formed by fully ferritic matrix with dispersed, well spheroidized graphite particles. Quantitative parameters of microstructure are shown on Fig. 1.

From analysis of mechanical testing results depending on chemical composition it is possible to make an assumption that increasing of silicon content up to 3.53% and carbon content up to 3.5% leads to increasing of strength properties. Tensile strength, comparable with the properties of GJS-500-7 ДСТУ EN 1563:2015 ductile iron with ferritic/pearlitic matrix may be obtained with increasing of plasticity to the level of 14-18%. But simultaneous decreasing of sulfur and phosphorus is necessary.

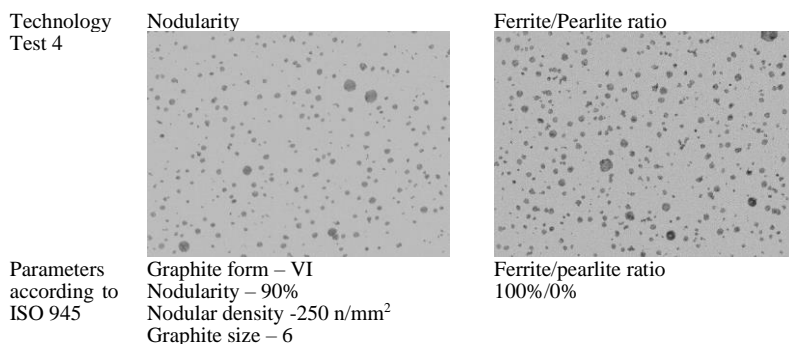


Fig. 1. Microstructure of ductile iron with highest mechanical properties (Test 4)

Conclusions. Obtained results shows that the ductile iron for cast details with wall thickness up to 40 mm with mechanical properties that corresponds to grade EN-GJS-500-14 ДСТУ EN 1563:2015 may be obtained without heat treatment due to reclamation of C, Si, Mn content and decreasing of S and P content.

Bibliography

1. Бубликов В.Б., Нарівський А.В., Бачинський Ю.Д., Нестерук О.П. Розвиток технологій одержання високопластичних високоміцних

чавунів феритного класу. *Метал та лиття України.*, vol. 30, 2022. №3, с. 72 – 78.

2. ДСТУ EN 1563:2015 Литво. Чавун з кулястим графітом. Технічні умови (EN 1563:2011, IDT URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=63675)

2. Pashynskiy V.V., Pashynskaya O.G., Boyko I.O. Structure aspects of mechanical properties of ductile iron formation/ International scientific conference “*MININGMETALTECH 2023 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education*” : conference proceedings (November 29–30, 2023. Riga, the Republic of Latvia). Riga, Latvia : “Baltija Publishing”, 2023. Vol. 1.p. 106–109. DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-32>

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-63>

**RESOURCE-SAVING TECHNOLOGY FOR STRENGTHENING
PRESS EQUIPMENT IN CONDITIONS OF SELF-PROPAGATING
HIGH-TEMPERATURE SYNTHESIS WHEN OBTAINING
SPECIAL-PURPOSE PARTS**

**РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧА ТЕХНОЛОГІЯ ЗМІЦНЕННЯ
ПРЕСОВОГО ОСНАЩЕННЯ В УМОВАХ
САМОРОЗПОВСЮДЖУВАЛЬНОГО
ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗУ ПРИ ОТРИМАННІ
ДЕТАЛЕЙ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

Sereda B.P.,

*DSc (Engineering), Professor,
Dnipro State Technical University,
Kamianske, Ukraine*

Середа Б.П.,

*д.т.н., професор, Дніпровський
державний технічний університет,
м. Кам'янське, Україна*

Udod A.M.,

*PhD student, Dnipro State
Technical University,
Kamianske, Ukraine*

Удод А.М.,

*аспірант, Дніпровський державний
технічний університет,
м. Кам'янське, Україна*

Strengthening of structural materials with multicomponent chromium coatings obtained under non-stationary temperature conditions of self-propagating high-temperature synthesis (SHS) is a promising way to obtain

coatings with controlled composition, structure, and performance characteristics with limited or minimal time of their formation. Protective coatings were obtained on pressing equipment of dies used for pressing special-purpose parts made of elastomeric materials [1].

Degradation mechanisms observed in pressing equipment used in pressing processes are primarily associated with the surface layer of the tool. Given the above, modifying the properties of the surface layer of a forging tool is the most effective way to increase its durability. The formation of the properties of the tool surface layer is possible due to the development of surface engineering methods [2]. In general, methods of forming the properties of the surface layer can be divided into: methods based on thermochemical treatment (diffusion layers), methods of CVD and PVD coating deposition, mechanical methods (polishing, shot peening, etc.), radiation methods (ion implantation, laser treatment), hybrid methods.

Coatings obtained under SHS conditions have special characteristics. They are formed from a film of the applied product, similar to a gas-phase deposition process, and a wide transition diffusion zone, similar to diffusion saturation. These features allow SHS coatings to have superior properties compared to other analogs: they can have improved characteristics of the applied material (e.g., improved wear resistance or thermal resistance compared to the base material) and high adhesion strength between layers of powders where particles of one material are covered by a layer of another. This provides a large contact area for the reagents, especially when small particles are used. Micron particle sizes also remain acceptable under these conditions. If the particles do not melt, reactions between reactants proceed through the solid phase by reaction diffusion.

Process of applying protective coatings under SHS conditions was carried out on a specially designed experimental and industrial unit DDTU12. This unit includes not only reaction equipment, but also a system of control and regulation of technological parameters, as well as a system of gas utilization, which ensures safe and efficient coating process. For the application of protective coatings on samples of 40X steel, mixtures of powders with different dispersions from 60 to 150 microns were used. These powders included elements such as chromium, silicon, boron, aluminum oxide, aluminum, iodine and ammonium fluoride. Resource-saving technology makes it possible to produce multi-component chrome coatings on 40X steel in a short period of time, up to 60 minutes, with the following phases: a) when alloyed with boron and aluminum, it includes the following phases $(\text{Fe,Cr,Al})_2\text{B}$, $(\text{Fe,Cr})_7\text{C}_3$, $(\text{Fe,Cr,Al})_{23}\text{C}_6$, Fe_3Al and a solid solution of boron, chromium, aluminum in α -iron; b) when alloyed with silicon and aluminum

(Fe,Cr,Al)₃Si, Fe₅Si₃, (Fe,Cr)₇C₃, Fe₃Al, (Fe,Cr,Al)₂₃C₆, (Fe,Cr,Al)₅Si₃, under which the solid solution zone is located Cr, Al and Si in α -Fe; c) when alloyed with titanium and aluminum Fe₂Ti, Cr₂Ti, Fe₃Al, TiAl₅, TiAl, and solid solution of titanium, aluminum and chromium in α -iron.

Wear tests of the samples are carried out on the friction machine SMT-1 under the conditions of boundary friction-sliding with lubrication with motor-tractor oil M-10B₂) roller – pad design with a rotation speed of 500 rpm of the counter body (roller). The counter body is made of U8 steel with subsequent hardening and low tempering to a hardness of 61-63 HRC. The test results showed that, when tested under friction-sliding conditions, the best wear resistance among the alloy coatings under consideration was achieved by coatings alloyed with boron and titanium. Their wear resistance is 1.8-2.1 times higher than that of coatings obtained under isothermal conditions. The data obtained for comparing wear resistance with alloyed chrome coatings correlate with the values of microhardness, which is for coatings obtained under SHS conditions with boron alloying H100 = 15000 MPa, with titanium alloying H100 = 17000 – 18000 MPa.

Bibliography

1. Серета Б.П., Турпак С.М., Кругляк І.В., Острогляд О.О., Муковська Д.Я., Серета Д.Б., Кругляк Д.О. Підвищення експлуатаційної стійкості та ефективності роботи промислового транспорту в умовах металургійного підприємства: монографія – Кам'янське: ДДТУ, 2021. 272 с.
2. Gronostajski, Z., Hawryluk, M., Widomski, P., Kaszuba, M., Nowak, B., Polak, S., Rychlik, M., Ziemia, J., & Zwierzchowski, M. (2019). Selected effective methods of increasing the durability of forging tools in hot forging processes. *Procedia Manufacturing*, 27, 124–129. DOI: 10.1016/j.promfg.2019.03.142

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-64>

RESOURCE-SAVING TECHNOLOGY FOR HARDENING STAMPS USING FUNCTIONALLY ACTIVE CHARGES

РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧА ТЕХНОЛОГІЯ ЗМІЦНЕННЯ ШТАМПІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ФУНКЦІОНАЛЬНО АКТИВНИХ ШИХТ

Sereda D.B.,

Doctoral student,

*Mykhailo Ostrohradskyi National
University of Ukraine,
Kremenchuk, Ukraine*

Середа Д.Б.,

докторант,

*Національний університет
імені Михайла Остроградського,
м. Кременчук, Україна*

Modern conditions of use of machine parts, assemblies, equipment, tools, and mechanisms require improvement of their physical and mechanical characteristics and increase of their service life. The aim of our study is to develop multicomponent alitized coatings alloyed with boron and titanium to strengthen the working surfaces of stamping equipment elements using advanced methods of surface hardening of materials. The importance of surface strengthening processes in ensuring the durability of machines and mechanisms has increased significantly, as the development of mechanical engineering is accompanied by an increase in the level of loads and operating temperatures at which critical parts exposed to aggressive environments operate.

These requirements are best met by the technology of obtaining protective coatings using functionally active charges (FAC), which allows to obtain materials and coatings with controlled composition, structure, and performance characteristics [1]. The essence of the use of functionally active blends is to carry out exothermic reactions in the mode of combustion wave propagation with the formation of combustion products in the form of material compounds that have practical value and valuable characteristics.

Tests of 5KhNM steel samples on the MT-5 friction unit showed that boron-alloyed protective coatings demonstrated the highest wear resistance. In this case, the wear was $\Delta J = 31 \cdot 10^{-4} \text{ g/m}^2$, while when alloyed with titanium, this figure was $\Delta J = 48 \cdot 10^{-4} \text{ g/m}^2$. Boron-doped alloyed coatings contain the following phases: $(\text{FeCr})_{23}\text{C}_6$, $(\text{FeCr})_7\text{C}_3$, $(\text{FeCrAl})_2\text{B}$, Fe_2Al_5 and α -solid solution of boron in iron. In the case of alloyed coatings with titanium alloying, the structure includes the phases: $(\text{FeCr})_{23}\text{C}_6$ and Fe_2Al_5 aluminide,

alloyed with chromium and titanium, with Cr₂Ti inclusions, ordered solid solution of Fe₃Al doped with Cr and Ti.

Bibliography

1. Б.П. Серета, О.С. Баскевич, І.В. Кругляк, Д.Б. Серета, Д.О. Кругляк Отримання захисних покриттів з використанням комплексних функціонально активних шихт та електроосадженням: монографія – Кам'янське: ДДТУ, 2023. 191 с.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-65>

INFLUENCE OF ANNEALING PARAMETERS IN FURNACES ON THE SURFACE FINISH OF COLD-ROLLED STEEL

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ВІДПАЛУ У КОВПАКОВИХ ПЕЧАХ НА ЧИСТОТУ ПОВЕРХНІ ХОЛОДНОКАТАНОГО ПРОКАТУ

Spichak O.Yu.,

*Cold-rolling manager,
Zaporizhstal PJSC; Master,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Спічак О.Ю.,

*начальник відділу холодного прокату
технічного управління,
ПАТ «Запоріжсталь», магістр,
м. Запоріжжя, Україна*

Kukhar V.V.,

*DSc. (Engineering), Professor,
LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Кухар В.В.,

*д.т.н., професор,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Shirokobokov V.V.,

*PhD (Engineering),
Associate Professor, National University
"Zaporizhzhia Polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Широкобоків В.В.,

*к.т.н., доцент,
Національний університет
«Запорізька політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

В умовах сучасного машинобудування, особливо якщо продукція поставляється на високомаржинальні Європейські ринки, до холоднокатаного прокату висувуються більші вимоги з якості порівняно з продукцією попередніх переділів так як він використовується в

найбільш відповідальних металоконструкціях та деталях, де важливим є не тільки їх властивості, а ще й зовнішній вигляд та якість покриття таких деталей. Значний вплив на ці параметри виявляє показник загальної забрудненості холоднокатаного прокату, який визначається ваговим методом або експрес-методом реплік. На показник забрудненості поверхні холоднокатаного прокату впливає багато факторів таких як якість травлення, вид прокатного емульсону, шорсткість валків, показники прокатної емульсії, тощо. В даній роботі висвітлений вплив саме параметрів відпалу на чистоту поверхні.

За результатами проведеного дослідження та аналізу впливу додаткової витримки (10 годин) при відпалі на чистоту поверхні було встановлено, що рівень відбивної здатності на рулонах з додатковою витримкою при відпалі та без неї однаковий (рис. 1), тобто практично спростовано ствердження деяких дослідників, що додаткова витримка при температурі возгонки емульсії впливає на чистоту поверхні прокату. Скасування такої витримки при відпалі тонкого прокату та удосконалення режиму відпалу принесли економічний ефект ЦХП ПАТ «Запоріжсталь» у розмірі 389,76 тис грн/рік.

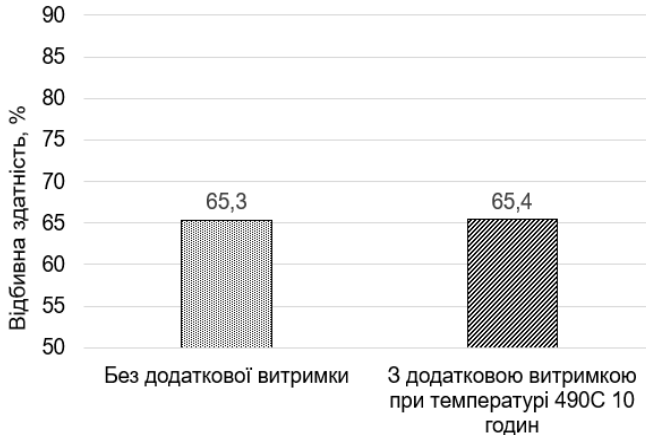


Рис. 1. Вплив додаткової витримки при температурі возгонки емульсону на відбивну здатність

Іншим важливим чинником який впливає на чистоту поверхні є атмосфера відпалу, а саме наявність в ній водню. Завдяки зібраним

статданим встановлено, що середній рівень відбивної здатності на прокаті, який відпалений у печах ф. «Ебнер» в атмосфері 100% водню проти печей з NH_x газом складає 78% проти 61% (рис. 2). Більш висока чистота поверхні прокату в печах ф. «Ебнер» обумовлена саме впливом захисної атмосфери водню.

В умовах печей відпалу з NH_x газом, коли кількість водню (за рахунок якого проходить очищення холоднокатаного прокату при відпалі) не може бути збільшена, запропоновано дієвий спосіб підвищення чистоти поверхні холоднокатаного прокату за рахунок збільшення подачі та відповідно і тиску захисного газу (підвищували тиск захисного газу з 60-90 кгс/м² до 100-140 кгс/м²) під муфелем. Ефект поліпшення чистоти поверхні у 1,6 рази (рис.3) досягається за рахунок інтенсивнішого відновлення атмосфери підмуфельного простору, а також збільшення кількості водню, який проходить через садку печі та забезпечує утворення та видалення газоподібних сполук з залишками прокатної емульсії.

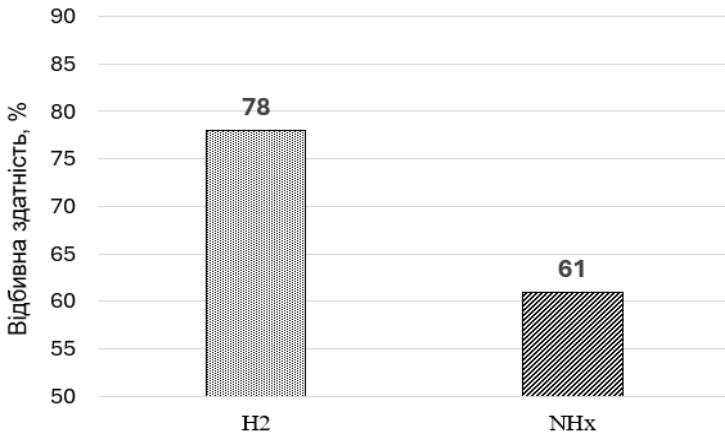


Рис. 2. Середні значення відбивної здатності в печах «Ебнер» в атмосфері 100% H_2 проти печей з NH_x газом

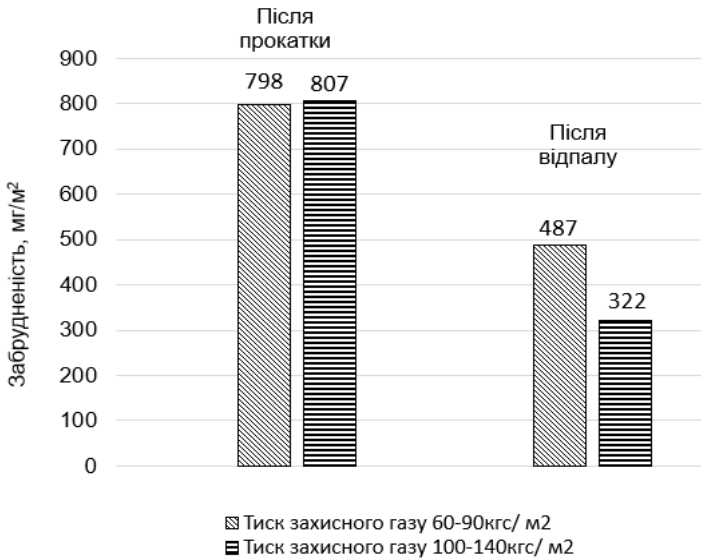


Рис. 3. Забрудненість холоднокатаного металу відпаленого при різному тиску захисного газу

Перелік використаних джерел

1 Дьяков А. В., Евтушенко И. Ю., Пономарева А. Г., Хицко Е. П. АО «АрселорМиттал Темиртау» (г. Темиртау, Республика Казахстан). Опыт использования технологических смазок при холодной прокатке в АО «Арселормиттал Темиртау». *Сталь*. 2017. № 9. С.31-33.

2 Kukhar V., Spichak O., Malii K., Pashynskiy V. Testing and selection of lubricating emulsions to reduce the undesirable soot marks formation during the annealing of cold-rolled steel coils. *II Міжнародна науково-теоретична конференція «модельювання і комп'ютерний інжиніринг в машинобудуванні – 2024» МСЕМЕ-2024, Lviv, Ukraine, 2024, P. 1–14.*

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-66>

PREPARATION OF SAMPLES FOR THE SCANNING MICROSCOPE

ПІДГОТОВКА ЗРАЗКІВ ДЛЯ РАСТРОВОЇ МІКРОСКОПІЇ

Sukhomlyn V.I.,

*PhD (Engineering),
Associate Professor, Dnipro State
Technical University,
Kamianske, Ukraine*

Сухомлин ВІ.

*к.т.н., доцент,
Дніпровський державний технічний
університет,
м. Кам'янське, Україна*

Popil O.I.,

*PhD student, Dnipro State
Technical University,
Kamianske, Ukraine*

Попіль О.І.,

*аспірант, Дніпровський державний
технічний університет,
м. Кам'янське, Україна*

Hurin I.V.,

*PhD student, Dnipro State
Technical University,
Kamianske, Ukraine*

Гурін І.В.,

*аспірант, Дніпровський державний
технічний університет,
м. Кам'янське, Україна*

Korkh B.S.,

*Student (group FKS-23-1dm)
Dnipro State Technical University,
Kamianske, Ukraine*

Корх Б.С.,

*студент гр. ФКС-23-1дм,
Дніпровський державний технічний
університет, м. Кам'янське, Україна*

В матеріалознавстві процеси розробки нових матеріалів, чи покращення властивостей відомих, завжди починаються з досліджень структури (мікроструктури). Для таких досліджень існує багато різновидів мікроскопів, які поділяються на два основні класи: оптичні і електронні. Серед електронних мікроскопів, найбільш близькими до оптичних, є растрові електронні мікроскопи (РЕМ). Зближення цих приборів відбулося за рахунок використання зразків металевих об'єктів дослідження, під назвою металографічні шліфи.

Стандартна методика виготовлення металевих шліфів складається з декількох послідовних операцій. З об'єкту досліджень відбирають частку площиною 10...20 мм². Поверхню для дослідження шліфують наждачним папером, поступово зменшуючи його шорсткість, потім полірують до дзеркальної поверхні. Кінцева операція – травлення поверхні дослідження в розчині кислоти, промивка від залишків кислоти

і продуктів травлення, просушка і шліф готовий для вивчення його структури на оптичному мікроскопі.

Подібна пробопідготовка існує вже, майже 90 років і основні зміни процесу стосуються лише автоматизації окремих етапів отримання якісного шліфа.

З появою РЕМ шліфи з оптичного мікроскопу почали переносити на електронний, і отримувати набагато більше інформації про мікроструктуру, використовуючи збільшення більше ніж 1000 крат, яке є межею для оптичних мікроскопів.

Але просте перенесення шліфа з оптичного мікроскопу на електронний не дасть очікуваного результату. Адже принцип формування зображення в цих приборах різний. В оптичному мікроскопі формується контраст як, від рельєфу на поверхні металу, так і від оксидної плівки на поверхні металу, яка утворює дифракційні картини у вигляді різнокольорового забарвлення поверхні шліфа. В растровому мікроскопі контраст формується виключно топографією поверхні зразка. Але різний фізичний принцип формування зображення не є основною проблемою. Набагато більші артефакти виникають на зображенні мікроструктури від деформації і напружень що виникають, після механічного шліфування і полірування, на глибині близько 1,0...1,5 мкм від поверхні шліфа. Така деформація і напруження призводять до не контрольованого протравлення поверхні шліфа і викривлення мікроструктури (рис. 1, *a*)

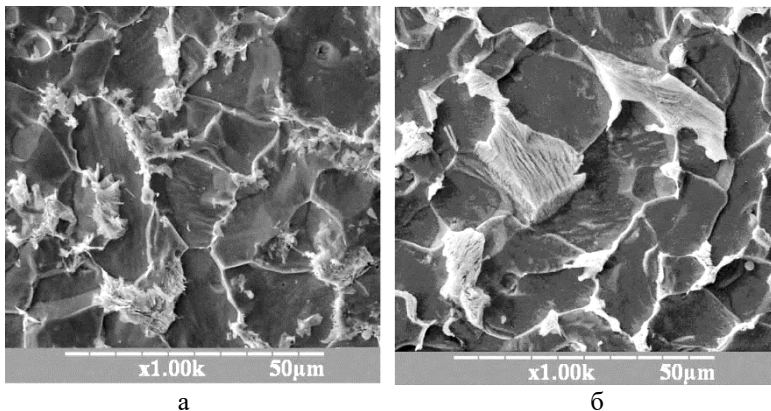


Рис. 1. Мікроструктура сталі Ст 3кп

***a* – механічне полірування та стандартне травлення,
б – додаткове електрополірування та глибоке травлення**

На рис. 1 б показана мікроструктура після механічного шліфування, електролітичного полірування та глибокого травлення в стандартному електроліті. Глибина різкості, при формуванні зображення в растровому мікроскопі, значно більша у порівнянні з оптичним. Така властивість РЕМ дозволяє застосувати глибоке травлення зразка і отримати об'ємне зображення мікроструктури перлітної колонії в центральній частині рисунка.

На рис. 2 а наведена мікроструктура евтектоїдної сталі У8 після механічного полірування і травлення у стандартному електроліті. Добре видно, що структура дрібно дисперсного перліту не проявляється. Під час механічного шліфування і полірування, феритна структурна складова, яка має меншу твердість, інтенсивно накопичувала деформаційні зміни у вигляді дислокацій і вакансій. Цементитна фаза (міцна і крихка), під дією зовнішніх сил, відламувалася та застрягала у феритних прошарках не допускаючи рівномірного травлення як самого цементиту, так і феритних прошарків. Все це і призвело до формування квазіструктур, які не відповідають реальній будові морфології перліту.

Після електролітичного полірування і глибокого травлення мікроструктура сталі У8 (рис. 2 б) набула необхідного вигляду, типового для евтектоїдної сталі з дрібно дисперсним перлітом. На рисунку добре видно дефектну структуру цементитних пластин у вигляді окремих щілин та отворів.

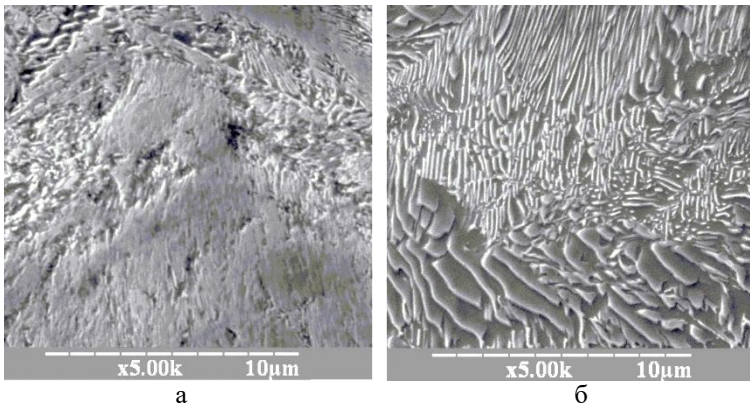


Рис. 1. Мікроструктура сталі У8

а – механічне полірування та стандартне травлення,

б – додаткове електрополірування та глибоке травлення.

Висновки. Растровий електронний мікроскоп має потужний потенціал для дослідження особливостей структурної будови

мікрошліфів, але, для реалізації його можливостей, необхідна відповідна пробо підготовка.

Глибоке травлення мікрошліфа після електролітичної поліровки, завдяки значній глибини різкості РЕМ, значно збільшує інформативність будови окремих фаз за рахунок виявлення об'ємної будови структурних складових.

Перелік використаних джерел

1. Металлографічна пробо підготовка в промисловості: етапи, системи, матеріали. URL: <https://industry.hlr.ua/articles/metallographic-sample-preparation-in-industry-stages-systems-materials/>

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-67>

THE INFLUENCE OF HIGH-ENTROPY ALLOYS ON THE ABRASIVE WEAR RATE OF ULTRA-HIGH MOLECULAR WEIGHT POLYETHYLENE

ВПЛИВ ВИСОКОЕНТРОПІЙНИХ СПЛАВІВ НА ПОКАЗНИК АБРАЗИВНОГО СТИРАННЯ НАДВИСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛІЕТИЛЕНУ

Tomina A.-M.V.,

*PhD (Engineering), Associate
Professor, Dniprovsk State Technical
University, Kam'yanske, Ukraine*

Томіна А.-М.В.,

*к.т.н., доцент, Дніпровський
державний технічний університет,
м. Кам'янське, Україна*

Voloshyna K.R.,

*Student (group FIA-21-1d),
Dniprovsk State Technical University,
Kam'yanske, Ukraine*

Волошина К.Р.,

*студентка гр. ФІА-21-1д,
Дніпровський державний технічний
університет, м. Кам'янське, Україна*

Pluzhnyk V.R.,

*Student (group MTS-22-1d),
Dniprovsk State Technical University,
Kam'yanske, Ukraine*

Плужник В.Р.

*студентка гр. МТЗ-22-1д,
Дніпровський державний технічний
університет, м. Кам'янське, Україна*

Однією з основних причин зменшення робочого ресурсу агрегатів транспортних машин і систем, вузли тертя яких укомплектовані серійними металевими деталями, є абразивне зношування. Через це

понад 30% світових енергетичних витрат спрямовуються на боротьбу з його наслідками. Одним із рішень даної проблеми є використання полімерних композиційних матеріалів (ПКМ), що містять порошкові наповнювачі (Нп). Використання таких ПКМ дозволяє зменшити кількість планових і позапланових профілактичних заходів з обслуговування обладнання, підвищуючи довговічність та надійність вузлів тертя. Одними із ефективних ПКМ, стійких до впливу часток абразиву, є матеріали на основі надвисокомолекулярного поліетилену (НВМПЕ), що містять як Нп наноглину та наноалмази [1], діоксид і карбід кремнію, оксид цинку, цирконію, алюмінію та графену [2, 3], цеоліт, сплав Ti-Al-V [4], вуглецеві нанотрубки, гідроксиапатит, антрацит, боксит [5, 6]. Проте, незважаючи на відмінні характеристики даних ПКМ, висока вартість Нп та багатостадійна технологія отримання, що значно підвищує виробничі витрати та потребує спеціального технологічного обладнання, обмежують їх широке використання в багатьох галузях техніки.

Враховуючи вищесказане, пошук нових зносостійких ПКМ на основі НВМПЕ є актуальним завданням сучасного матеріалознавства.

Як матрицю для нових ПКМ, було використано НВМПЕ фірми Jiujiang Zhongke Xinxing New Material Co.,Ltd. (Китай), технічні характеристики якого наведені в роботі [7]. Як дисперсний Нп для НВМПЕ обрали два високоентропійних сплави (ВЕС): $Al_{40}Co_{12}Cu_{12}Cr_{12}Ni_{12}Fe_{12}$ (сплав №1) та $Fe_{20}Ni_{20}Co_{20}V_{20}Si_{14}B_6$ (сплав №2). Дані сплави зазвичай містять від 5 до 13 елементів в еквіатомних або близьких до еквіатомних концентраціях. Високоентропійні (багатокомпонентні) сплави зараз привертають значну увагу дослідників завдяки наявності у них низки поліпшених фізичних і експлуатаційних властивостей, високої корозійної стійкості. Формування виробів з ПКМ, що містили 5-30 мас.% ВЕС, здійснювали методом компресійного пресування за режимом, який наведений у роботі [7]. Визначення показника абразивного стирання (V_b , мм³/м) по жорстко закріплених частках абразиву для НВМПЕ та ПКМ на його основі здійснювали з використанням дослідної машини HECKERT. Визначення шорсткості поверхні (R_a , мкм) проводили з використанням щупового профілометра 170621.

Оцінка результатів трибологічних властивостей (див. рис. 1) розроблених ПКМ свідчить, що використання в якості Нп високоентропійних сплавів № 1 та № 2 є ефективним способом зменшення на 45 % показника абразивного стирання НВМПЕ.

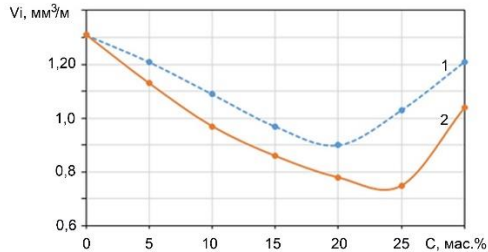


Рис. 1. Вплив відсоткового вмісту (C, мас.%) ВЕС сплавів № 1 та № 2 на показник абразивного стирання (V_i , мм³/м) НВМПЕ

Зростання зносостійкості НВМПЕ до часток абразиву пов'язано з тим, що дисперсно-зміцнені наповнювачами ПКМ набувають високу міцність та стійкість до механічних пошкоджень.

Розроблені склади ПКМ можна використовувати при виготовленні деталей триботехнічного призначення для сільськогосподарської, гірничорудної та автомобільної промисловості, які експлуатуються в агресивних умовах (під впливом УФ-випромінювання, змінних температур, вологи та часток абразиву). Їх використання, натомість серійним металевим деталям, дозволить не тільки зменшити масу конструкції, а й підвищити термін експлуатації обладнання.

Перелік використаних джерел

1. Suveda Arya, Pawan Kumar, Mamta Bhatia, Sanjeev Kumar, Jyotsna Sharma, Siddhartha Gamma Rays Induced Modification in Ultrahigh Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE). *Recent Advances in Polymer Solar Cells*. 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/7013154>
2. Peng C.Z. Improved interfacial properties of carbon fiber/UHMWPE composites through surface coating on carbon fiber surface. *Surface and Interface Analysis*. 2018. Vol. 50, No 5. P. 558–563.
3. Abdul Jawad Mohammed, Anwaruddin Siddiqui Mohammed, Abdul Samad Mohammed Prediction of Tribological Properties of UHMWPE/SiC Polymer Composites Using Machine Learning Techniques. *Polymers*. 2023. Vol.15, No 20. P. 1-15.
4. Baena J., Wu J., Peng, Z. Wear Performance of UHMWPE and Reinforced UHMWPE Composites in Arthroplasty Applications. *A Review. Lubricants*. 2015. Vol. 3(2), P. 413–436.

5. UHMW (Ultra-High Molecular Weight Polyethylene): веб-сайт. URL: <https://www.thyssenkrupp-materials-na.com/materials/plastics/engineering-plastics/uhmw-ultra-high-molecular-weight-polyethylene>

6. Deplancke T., Lame O., Barrau S., Ravi K., Dalmas F. Impact of carbon nanotube prelocalization on the ultra-low electrical percolation threshold and on the mechanical behavior of sintered UHMWPE-based nanocomposites. *Polymer*. 2017. Vol. 111. P. 204–213.

7. Tomina A.-M., Yeromenko O. The dependence of the abrasive wear resistance of ultra-high-molecular-weight polyethylene on the content of mineral fillers with needle-like structure. *Functional Materials*. 2023. Vol. 30, No 3. P. 403–406.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-68>

INFLUENCE OF DISPERSED ALLOYS ON THE TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF ULTRA-HIGH MOLECULAR WEIGHT POLYETHYLENE

ВПЛИВ ДИСПЕРСНИХ СПЛАВІВ НА ТРИБОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ НАДВИСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛІЕТИЛЕНУ

Tomina A.-M.V.,

*PhD (Engineering),
Associate Professor, Dniprovsk State
Technical University,
Kamyanske, Ukraine*

Томіна А.-М.В.,

*к.т.н., доцент,
Дніпровський державний технічний
університет,
м. Кам'янське, Україна*

Cheshenko Ye.D.,

*Student (group FIA-22-1da),
Dniprovsk State Technical University,
Kamyanske, Ukraine*

Чешенко Є.Д.,

*студент гр. ФІА-22-1ду,
Дніпровський державний технічний
університет, м. Кам'янське, Україна*

Dormed A.V.,

*Student (group FCS-24-1dm),
Dniprovsk State Technical University,
Kamyanske, Ukraine*

Дормед А.В.,

*студентка гр. ФКС-24-1дм,
Дніпровський державний технічний
університет, м. Кам'янське, Україна*

Сьогодні полімерні композиційні матеріали (ПКМ), завдяки покращеним функціональним властивостям і високій довговічності, стали

невід'ємною частиною автомобільної, аерокосмічної та сільсько-господарської промисловості. Особливу увагу привертають до себе ПКМ на основі надвисокомолекулярного поліетилену (НВМПЕ), що містять порошковий (оксид цинку та цирконію, вуглецеві нанотрубки, боксит, антрицит) наповнювач (Нп), вироби з яких характеризуються високими показниками зносостійкості, ударної в'язкості, стабільною стійкістю до впливу концентрованих кислот, вологи, органічних розчинників, часток абразиву, ударних навантажень та ультразвуку [1]. Однак інтенсифікація їх застосування вимагає підвищення експлуатаційних характеристик сучасних ПКМ. Мета роботи полягала в розробці та дослідженні нових ПКМ на основі НВМПЕ.

Як матрицю для нових ПКМ, було використано НВМПЕ фірми Jiujiang Zhongke Xinxing New Material Co.,Ltd. (Китай), технічні характеристики якого наведені в роботі [2]. Як Нп, обрали високоміцні сплави: промислових алюмінієвий В95 та високоентропійний (ВЕС) $\text{FeNiCoB}_{0,7}\text{Si}_{0,3}\text{BeNb}$ (ат.%). Дані сплави характеризуються високими показниками стійкості до зношування та корозії, що робить їх ефективними матеріалами для використання в умовах інтенсивних механічних навантажень і агресивних середовищ. Формування виробів з ПКМ, що містили 15-35 мас.% В95 чи ВЕС, здійснювали методом компресійного пресування за режимом, який наведений у роботі [2]. Визначення показника абразивного стирання (V_i , $\text{мм}^3/\text{м}$) по жорстко закріплених частках абразиву для НВМПЕ та ПКМ на його основі здійснювали з використанням дослідної машини НЕСКЕРТ. Визначення шорсткості поверхні (R_a , мкм) проводили з використанням щупового профілометра 170621.

Із табл.1 видно, що використання обох сплавів призводить до зменшення показника абразивного стирання НВМПЕ майже на 60%. Зазначимо, що найбільше зростання зносостійкості спостерігається для ПКМ, які містять, як Нп, високоентропійний сплав. Це обумовлено тим, що наявність у даному сплаві в еквіатомному співвідношенні семи компонентів забезпечує йому високий рівень напруженості кристалічної решітки завдяки різниці в атомних радіусах елементів, коли кристалічна решітка отримує дуже високий рівень мікронапружень ($\Delta a/a \sim 2,7 \cdot 10^{-3}$), що забезпечує підвищену зносостійкість ПКМ.

Таблиця 1

Функціональні властивості НВМПЕ та ПКМ на його основі

Вміст Нп мас. %	Показник абразивного стирання*, V_i , мм ³ /м		Шорсткість поверхні тертя* R_a , мкм	
	В95	ВЕС	В95	ВЕС
0	1,36		2,57	
15	1,24	0,75	2,35	2,21
20	1,10	0,70	2,08	2,03
25	0,87	0,52	1,65	1,77
30	0,92	0,58	1,71	1,82
35	1,15	0,62	2,13	1,85

* середнє значення з 5 вимірів

Перелік використаних джерел

1. Veena Priyadarshini Industrial applications of Polymer Composite Materials. *Journal of Industrial Engineering and Managemen.* 2022. Vol. 11:1 DOI: 10.37421/2169-0316.22.11.335
2. Tomina A.-M., Yeromenko O. The dependence of the abrasive wear resistance of ultra-high-molecular-weight polyethylene on the content of mineral fillers with needle-like structure. *Functional Materials.* 2023. Vol.30, No 3. P. 403–406.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-69>

APPLICATION OF KIRIGAMI INSPIRED STRUCTURES IN DEFORMATION-THERMAL TREATMENT OF COMPOSITE MATERIAL SHEETS¹

ЗАСТОСУВАННЯ КІРІГАМІ-СТРУКТУР У ДЕФОРМАЦІЙНО-ТЕРМІЧНІЙ ОБРОБЦІ ШТАБ З КОМПОЗИТНОГО МАТЕРІАЛУ

Frolov Ya. V.,

*DSc (Engineering), Professor,
Ukrainian State University of Science
and Technology, Dnipro, Ukraine*

Фролов Я.В.,

*д.т.н., професор, Український
державний університет науки
і технологій, м. Дніпро, Україна*

Bobukh O.S.,

*PhD (Engineering),
Associate Professor, Ukrainian State
University of Science and Technology,
Dnipro, Ukraine*

Бобух О.С.,

*к.т.н., доцент,
Український державний університет
науки і технологій,
м. Дніпро, Україна*

Boiarkin V. V.,

*PhD (Engineering),
Associate Professor, Ukrainian State
University of Science and Technology,
Dnipro, Ukraine*

Бояркін В.В.,

*к.т.н., доцент, Український
державний університет науки
і технологій,
м. Дніпро, Україна*

Konovodov D. V.,

*PhD (Engineering),
Associate Professor, Ukrainian State
University of Science and Technology,
Dnipro, Ukraine*

Коноводов Д.В.,

*к.т.н., доцент,
Український державний університет
науки і технологій,
м. Дніпро, Україна*

На початку XXI сторіччя отримало розвиток виробництво шаруватих металевих композитів, армованих кірігами-структурами – листовими комірчастими структурами з вирізами та складками, що розташовані у визначеному порядку. В сучасній інженерії кірігами-структури використовуються для створення інноваційних конструкцій та матеріалів з унікальними механічними, морфологічними та функціональними властивостями (механічна міцність, жорсткість, здатність до поглинання енергії, адаптивність, термоізоляція та звукоізоляція, зменшення ваги та ін.). Такі матеріали все частіше

¹ Дослідження виконуються в рамках проекту «Розробка технології застосування кірігами-структур у деформаційно-термічній обробці штаб з композитного матеріалу», який фінансується Національним фондом досліджень України за кошти державного бюджету (реєстраційний номер 2023.04/0156)

знаходять застосування в машинобудуванні, авіації, електротехніці та інших галузях. Застосування кірігами-структур для проектування шаруватих композитних матеріалів, які можуть бути виготовлені за допомогою поздовжньої прокатки-з'єднання, усуває ризик надмірної деформації та передчасного руйнування одного з шарів. В цьому випадку, наприклад, сталева сітка, яка є одним з різновидів кірігами-структур і використовується як компонент шаруватого композиту, забезпечує контрольований розвиток деформації [1] під час подальшої прокатки-з'єднання. В кірігами-структурі, у відповідності до схеми розкрою, існує дві зони: зона високих деформацій та зона низьких деформацій. Механічні властивості отриманої структури, а також її кінцева форма програмується схемою нанесення візерунку кірігами-структури [2] та параметрами деформаційно-термічної обробки. Таким чином, техніка кірігами відкриває шлях до програмованої зміни форми під впливом заданого навантаження, набуття нових механічних властивостей [3].

Окрім зазначених вище прикладів, актуальним є використання кірігами-структур для збільшення можливості поглинання енергії, в тому числі в умовах локального перегріву, композитами на основі легких сплавів [4].

Метою досліджень є розробка елементів технології поздовжньої прокатки-з'єднання багат шарових металевих композитів, армованих кірігами-структурами, з підвищеною здатністю до поглинання енергії, опором деформації на вигин та зниженою питомою вагою.

Дослідження проводилися на лабораторних прокатних станах дуо. Для створення моделі процесу на основі методу скінчених елементів (FEM) використовувалось програмне середовище QForm UK.

Результати моделювання процесу отримання тришарового композиту алюміній+просічно-втяжна сітка з вуглецевої сталі+алюміній якісно узгоджуються з отриманими експериментальними значеннями кута викривлення сітки. Викривлення сітки було проаналізовано за допомогою комп'ютерної томографії та оцінено через збільшення кута між нитками сітки.

Підвищена довжина зони деформації при прокатці перешкоджає руху внутрішніх шарів композиту вздовж напрямку прокатки за рахунок сили тертя. Так звана зона прилипання зміщує деформацію до виходу з валків, де осьове напруження розтягування швидко зростає. Такі умови полегшують розшарування між сусідніми шарами. Армовані композити демонструють кращі ударні властивості в порівнянні з неармованими. Прокатаний з обтисненням 40% армований композит показав приріст питомої енергії удару на 20% [5].

Викривлення кута сітки пропорційно збільшується до збільшення ступеня деформації на 0,33–0,68 градусів для кожного відсотка

деформації до досягнення 9%. Подальша деформація сітки призводить до її руйнування через затискання сітки між матрицями.

Визначена наявність мінімального значення ступеня деформації для кожного вузла сітки, після якого кут сітки починає деформуватися. Відповідні значення ступеня деформації залежить як від типу сітки, так і діаметра валків, причому тип сітки (плетена чи просічно-витяжна) не відіграє значної ролі у зміні інтенсивності кута викривлення. Зменшення діаметра валків веде до зменшення граничного ступеня деформації та збільшення викривлення сітки (до 30% при зменшенні діаметра валків в 2 рази) [6].

Використання саме просічно-витяжної сітки дозволяє зменшити ризик розриву в місцях перехрещення складових, що формують ґратки, завдяки меншому, ніж у плетеної сітки, коефіцієнту видовження ґратки [7].

Проміжні результати досліджень.

Розроблено метод розрахунку об'ємного вмісту армуючої фази та визначено технологічні параметри експериментальної прокатки-з'єднання для алюмінієвої матриці зі сплаву EN AW 1050 з армуванням просічно-витяжною сіткою зі сталей S235 та AISI 304, у тому числі заходи щодо мінімізації окислення під час нагріву заготовки перед прокаткою (550°C для алюмінієвої матриці).

В лабораторних умовах отримано зразки прокатаних композитів за визначеною технологією.

В програмному середовищі QForm UK створена модель процесу прокатки-з'єднання алюмінієвих композитів, армованих просічно-витяжною сіткою.

Перелік використаних джерел

1. Frolov Y., Haranich Y., Bobukh O., Remez O., Voswinkel D., Grydin O. Deformation of expanded steel mesh inlay inside aluminum matrix during the roll bonding. *Journal of Manufacturing Processes*. 2020. Vol. 58. P. 857–867. DOI: 10.1016/j.jmapro.2020.08.049.

2. Tao J., Khosravi H., Deshpande V., Li S. Engineering by Cuts: How Kirigami Principle Enables Unique Mechanical Properties and Functionalities. 2022. *Advanced Science*. 10. 2204733. DOI: /10.1002/advs.202204733.

3. Jin L., Forte A.E., Deng B., Rafsanjani A., Bertoldi K. Kirigami - Inspired Inflatables with Programmable Shapes. 2020. *Advanced Materials*. 32(33). 2001863. DOI: /10.1002/adma.202001863

4. Frolov Y., Stolbchenko M., Grydin O., Makeeva H., Tershakovec M. A., Schaper M. Influence of strain parameters at rolling on the properties of wire-reinforced aluminium composites. *International Journal of Material Forming*. 2018. 12(4), 505–518. DOI: 10.1007/s12289-018-1431-6.

5. Frolov Y., Nosko M., Samsonenko A., Bobukh O., Remez O. Roll bonding of Al-based composite reinforced with C10 steel expanded mesh inlay. *Metals*. 2021. 11(7):1044. DOI: 10.3390/met11071044.

6. Frolov Y., Bobukh O., Samsonenko A., Nürnberger F. Patterning of surfaces for subsequent roll bonding in a low-oxygen environment using deformable mesh inlays. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*. 2023. 7(5):158. DOI: 10.3390/jmmp7050158.

7. Nosko M., Konovodov D., Samsonenko A., Bobukh O. Determination of the deformation parameters of the steel reinforcing phase inside the aluminum matrix during hot rolling. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2022. Vol. 6. P. 84–89. DOI: 10.33271/nvngu/2022-6/084.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-70>

ON THE IMPORTANCE OF PRACTICING SKILLS CLOSE TO THE PRODUCTION PROCESS IN VOCATIONAL EDUCATION INSTITUTIONS

ЩОДО ВАЖЛИВОСТІ ВІДПРАЦЮВАННЯ НАВИЧОК, НАБЛИЖЕНИХ ДО ВИРОБНИЧОГО ПРОЦЕСУ, У ЗАКЛАДАХ ПРОФЕСІЙНО-ТЕХНІЧНОЇ ОСВІТИ

Kholodnyi V.Yu.,

*PhD (Engineering), Lecturer,
Higher Vocational School № 7
Kremenchuk Poltava Region,
Kremenchuk, Ukraine*

Холодний В.Ю.,

*к.т.н., викладач,
Вище професійне училище № 7
м. Кременчук Полтавської обл.,
м. Кременчук, Україна*

Pererva R.P.,

*Student (group ZV-24-FMB),
Higher Vocational School № 7
of Kremenchuk, Poltava Region,
Kremenchuk, Ukraine*

Перерва Р.П.,

*здобувач освіти гр. ЗВ-24-ФМБ,
Вище професійне училище № 7
м. Кременчук Полтавської обл.,
м. Кременчук, Україна*

Udovychenko M.O.,

*Student (group OM-24-FMB),
Higher Vocational School № 7
of Kremenchuk, Poltava Region,
Kremenchuk, Ukraine*

Удовиченко М.О.,

*здобувач освіти гр. ОМ-23-ФМБ,
Вище професійне училище № 7
м. Кременчук Полтавської обл.,
м. Кременчук, Україна*

Netesanna A.R.,

*PhD student, Kremenchuk
Mykhailo Ostrohradskyi
National University,
Kremenchuk, Ukraine*

Нетесанна А.Р.,

*аспірант, Кременчуцький
національний університет
імені Михайла Остроградського,
м. Кременчук, Україна*

В закладах професійно-технічної освіти наріжним каменем стоїть питання максимального наближення навчального процесу до завдань, що стоять перед виробництвами в машинобудівній галузі. Важливою та невід'ємною складовою більшості навчальних закладів є саме підготовка фахових молодших бакалаврів, завданням яких на майбутніх робочих місцях буде супровід процесів виготовлення продукції. В нашому навчальному закладі ми намагаємось підлаштуватись під сучасні вимоги майбутніх роботодавців наших випускників, як великих замовників кадрів, таких як ПАТ "Крюківський вагобудівний завод" та ПрАТ «АвтоКрАЗ», так і значно менших, зі штатом в 20-30 співробітників. Для цього ми намагаємось поєднувати отримані знання наших здобувачів освіти з різних спеціальностей щоб якнайкраще наблизити їх до реальних завдань виробництва. А саме даємо завдання, які потребують для свого вирішення профільних знань з декількох освітніх програм. Це дозволяє проявити себе не тільки з сторони робітничої професії, яку вони отримали до цього, але і як фахівця, що здатний вирішувати практичні проблеми у сфері галузевого машинобудування, використовуючи принципи та методи системного інжинірингу з розробки об'єктів галузевого машинобудування. Одним з таких неординарних завдань було проектування віброформи для виготовлення бетонних кілець. Для цього було задіяно здобувачів освіти за двома освітньо професійними програмами «Технологія обробки матеріалів на верстатах і автоматичних лініях» і «Зварювальне виробництво».

Проектування віброформи для виготовлення бетонних кілець стало важливим етапом у підготовці наших здобувачів освіти, адже воно поєднало в собі низку складних завдань, які вимагають глибоких знань з різних галузей. Цей проєкт дозволив здобувачам за спеціальностями «Технологія обробки матеріалів на верстатах і автоматичних лініях» та «Зварювальне виробництво» продемонструвати свої професійні компетенції в умовах, максимально наближених до виробничих реалій.

Одним із ключових аспектів у проектуванні віброформи було правильне поєднання знань і навичок, набутих під час навчання. Для здобувачів освіти за напрямом зварювання це означало застосування їхньої компетентності в виконанні зварювальних робіт високої точності, забезпеченні міцності та надійності конструкції форми. Вони не лише забезпечили якісне з'єднання елементів, але й розрахували параметри зварювання, які забезпечать довговічність і стійкість форми до високих вібрацій та навантажень під час експлуатації.

Здобувачі освіти за напрямом верстатної технології, у свою чергу, взяли на себе завдання з проектування (рис. 1) та виготовлення деталей для віброформи. Використовуючи сучасне обладнання, вони розробили креслення і підготували всі необхідні частини з урахуванням точності, необхідної для подальшого складання і експлуатації форми. Важливо було не тільки виготовити всі компоненти, але й дотриматися вимог

щодо допустимих відхилень у розмірах, що напряму впливає на функціональність форми (рис. 2).

Це завдання дозволило здобувачам освіти з обох спеціальностей інтегрувати свої знання в одну складну виробничу задачу, що вимагає міждисциплінарного підходу. Завдяки цьому вони набули безцінного досвіду командної роботи, що є необхідним для подальшого працевлаштування на підприємствах, де їм доведеться вирішувати реальні виробничі проблеми в умовах тісної співпраці з різними спеціалістами.

Крім того, проектування віброформи дало можливість майбутнім фахівцям вивчити основи системного підходу до вирішення виробничих завдань, що включає як технічну, так і організаційну складові. Вони навчилися не лише виконувати окремі технологічні операції, але й планувати весь процес від проектування та створення креслень до підготовки форми до використання, враховуючи всі необхідні вимоги до якості та термінів виготовлення.

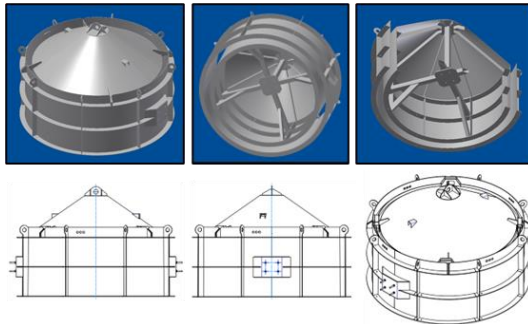


Рис. 1. Деякі зображення 3D моделі на етапі проектування та виконанні креслень



Рис. 2. Фото виготовленого та випробуваного зразка

Таким чином, проектування віброформи стало важливою частиною підготовки наших здобувачів освіти до майбутньої професійної діяльності, що забезпечує їм конкурентоспроможність на ринку праці. Вони не лише здобули практичні навички, а й розвинули важливі компетенції у вирішенні комплексних виробничих завдань, що робить їх цінними фахівцями для підприємств машинобудівної галузі.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-71>

MORPHOLOGY OF THE CARBIDE COMPONENT BY CARBURIZATION OF HIGH-ALLOY STEELS

МОРФОЛОГІЯ КАРБІДНОЇ СКЛАДОВОЇ ПРИ НАВУГЛЕЦЮВАННІ ВИСОКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ

Chornoivanenko K.O.,

*PhD (Engineering),
Associate Professor, Ukrainian State
University of Science and Technologies,
Dnipro, Ukraine*

Чорноіваненко К.О.,

*к.т.н., доцент,
Український державний університет
науки і технологій,
м. Дніпро, Україна*

Навуглецьовані швидкорізальні сталі (матричні сплави) [1...6], леговані альфа-генними карбідоутворюючими елементами (W, Mo, V, Cr) відносяться до ферито-карбідного класу. При дифузійному навуглецюванні таких сталей у процесі обробки відбувається одночасно перекристалізація та карбідоутворення. У результаті утворюється аустенітно-карбідна структура, причому, природа, дисперсність і характер розподілу карбідної фази залежать від ряду факторів: вихідної структури та складу сплаву, температури навуглецювання, складу, активності і типу карбюризатора, характеру зміни температури та складу середовища для навуглецювання. Причому, далеко не завжди утворюється бажана структура з рівномірним розподілом диспергованих карбідних включень.

Так, у ряді випадків, навуглецювання не призводить до утворення карбідів, утворюється аустенітний шар, що відокремлюється від феритної серцевини звивистою і розгалуженою поверхнею розділу (рис. 1 а). Якщо карбідоутворення відбувається, але недостатньо інтенсивно – карбіди виділяються лише поблизу поверхні, а глибше спостерігається аустенітна, а потім аустенітно-феритна структура.

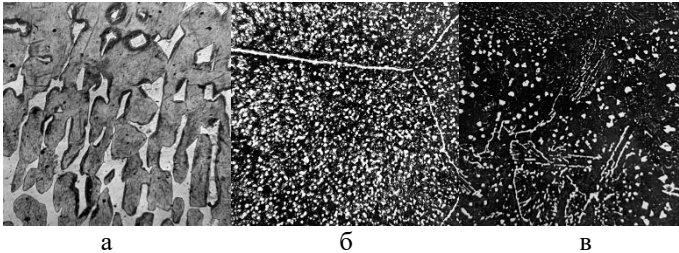


Рис. 1. Структура науглецьованого шару: а – сталь типу P3M3 (0,2 %С), обробка при $T=1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 2 години; б – сталь типу P6M5 (0,2 %С), обробка при $T=1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 2 години; в – сталь типу P2M9K8 (0,2 %С), обробка при $T=1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 2 години; теплове травлення, $\times 400$

Формування карбідних включень здійснюється на дефектах кристалічної будови – границях зерен і всередині зерен на малокутових границях, дислокаціях та інших. Переважне зародження і зростання карбідів по границях зерен призводить до утворення небажаної карбідної сітки (рис. 1 б) та карбідної неоднорідності (рис. 1 в).

За формою карбідні включення можуть бути глобулярними (рис. 2 а), пластинчастими (рис. 2 б) та розгалуженими (рис. 2 в). Можуть виникати ділянки рідини, після охолодження у цих місцях спостерігається евтектична складова (рис. 2 г).

Іноді карбідні включення ростуть кооперативно з аустенітом і утворюються аустенітно-карбідні зерна, в яких пластинчасті або стрижневі карбіди витягнуті в напрямку науглецювання (рис. 2 д). В даному випадку формуються структури, подібні евтектичним або евтектоїдним, що складаються з бікристалітних зерен, в яких кристали взаємно розгалужені один в одному.

Специфіка карбідоутворення при науглецюванні полягає в тому, що пересичення матриці вуглецем здійснюється на різній відстані від поверхні і у різний час – в першу чергу у поверхні, а далі все глибше до серцевини. Швидкість підвищення концентрації вуглецю в твердих розчинах також змінюється по глибині шару – найбільша у поверхні, при віддалені від поверхні – зменшується. Тому формування карбідів здійснюється в першу чергу у поверхні, а далі карбідоутворення розповсюджується углиб.

В ході аналізу експериментальних даних встановлено, що збільшення вмісту легуючих елементів призводить до збільшення кількості і розміру карбідних включень.

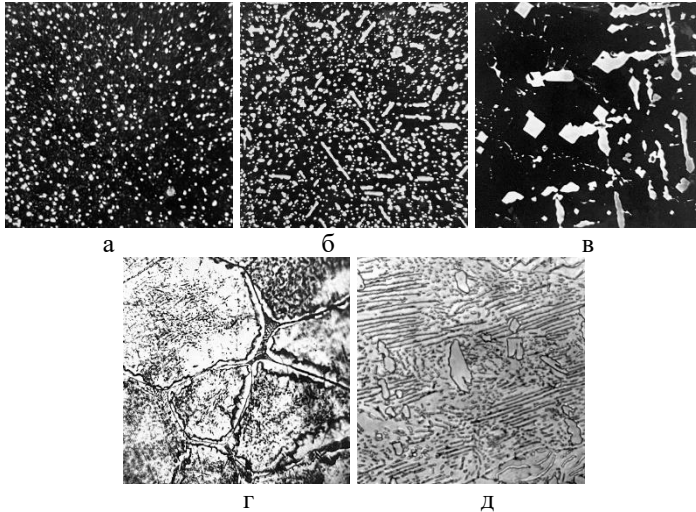


Рис. 2. Форма карбідних включень, що сформувались при науглецюванні: а – глобулярна, сталь типу P6M5, теплове травлення, x400; б – пластинкова, сталь типу P6M5K5, теплове травлення, x600; в – дендритна, сталь типу P2M9K8, теплове травлення, x600; г – скелетна евтектика, сталь типу P5M5, травлення ніталем, x400; д – карбідні волокна, сталь типу P12, травлення ніталем, x600

Таким чином, можна впевнитися, що карбідні включення, що утворились в процесі науглецювання високолегованих залізних сплавів мають різноманітну морфологію, різну дисперсність і диференціювання.

Будова карбідної фази, що формується при науглецюванні, визначально впливає на властивості дифузійного шару і, отже, на експлуатаційні якості виробу. Необхідно вміти отримувати задану структуру при науглецюванні, тому потрібно знати закономірності її формування. Структура дифузійних шарів утворюється в складних умовах одночасного перебігу $\alpha \rightarrow \gamma$ перекристалізації і карбідоутворення, при сильному взаємному впливі цих перетворень одного на інший.

Перелік використаних джерел

1. Бачурін А.П., Мовчан О.В., Педан Л.Г. Чотирифазна реакція $\alpha \rightarrow \gamma + M_6C + M_{23}C_6$ при науглецюванні сплавів Fe-Mo-Cr і Fe-W-Cr // Металознавство та обробка металів. 2001. №1-2. с. 18-21.

2. Мовчан О.В., Черноіваненко К.О. Закономірності формування трифазного композиту при науглецюванні сплавів системи Fe-W-V-C // *Металургійна та гірничорудна промисловість*. 2019. № 5-6. С. 76-83; <https://doi.org/10.34185/0543-5749.2019-5-6-76-83>

3. Мовчан О.В., Черноіваненко К.О. Утворення *in situ* композитів при науглецюванні хромистої сталі // Міжнародна наукова конференція «Матеріали для роботи в екстремальних умовах-10». Київ, 2020. С. 48-51.

4. Мовчан О.В., Черноіваненко К.О. Аналіз структури науглецюваного сплаву P12Ф5К5 // *Матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції «Нові матеріали і технології в машинобудуванні»*. Київ, 2019. С. 142-144.

5. Мовчан О.В., Черноіваненко К.О. Аналіз фазових перетворень в залізних сплавах при науглецюванні // XV Міжнародна конференція «Стратегія якості в промисловості і освіті». Дніпро-Варна, 2019. С. 133-138.

6. Movchan O.V., Chornoivanenko K.O. *In situ Composites: A Review // Progress in Physics of Metals*. 2021. Vol. 22. No. 1. P. 58-77

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-72>

DETERMINATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF AMORPHOUS COATINGS OF THE Fe-Cr-B and Fe-Cr-Ni-Co-B SYSTEMS BY THE INDENTATION METHOD

ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АМОРФНИХ ПОКРИТТІВ СИСТЕМ Fe-Cr-B та Fe-Cr-Ni-Co-B МЕТОДОМ ІНДЕНТУВАННЯ

Chugunova S.I.,

*PhD (Physics and Mathematics),
Frantsevich Institute for Problems
of Materials Science of the National
Academy of Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine*

Чугунова С.І.,

*к.ф.-м.н., Інститут проблем
матеріалознавства імені
І.М. Францевича Національної
академії наук України,
м. Київ, Україна*

Golubenko O.A.,

*PhD (Physics and Mathematics),
Frantsevich Institute for Problems
of Materials Science of the National
Academy of Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine*

Голубенко О.А.,

*к.ф.-м.н., Інститут проблем
матеріалознавства імені
І.М. Францевича Національної
академії наук України,
м. Київ, Україна*

Kuprin V.V.,

*Frantsevich Institute for Problems
of Materials Science of the
National Academy of Sciences
of Ukraine,
Kyiv, Ukraine*

Купрін В.В.,

*Інститут проблем
матеріалознавства імені
І.М. Францевича Національної
академії наук України,
м. Київ, Україна*

Lukianov O.I.,

*Frantsevich Institute for Problems
of Materials Science of the
National Academy of Sciences
of Ukraine,
Kyiv, Ukraine*

Лук'янов О.І.,

*Інститут проблем
матеріалознавства імені
І.М. Францевича Національної
академії наук України, м. Київ,
Україна*

Melnik V.H.,

*Frantsevich Institute for Problems
of Materials Science
of the ational Academy of Sciences
of Ukraine,
Kyiv, Ukraine*

Мельник В.Х.,

*Інститут проблем
матеріалознавства імені
І.М. Францевича
Національної академії наук України,
м. Київ, Україна*

Аморфні металеві сплави (АМС) типу метал-металоїд на основі Fe-B, до складу яких входять перехідні метали VI групи (Cr, Mo), характеризуються високою міцністю, корозійною стійкістю, термічною стабільністю та тріщиностійкістю, що необхідно для їх використання у якості як конструкційних матеріалів, так і покриттів. З масивних АМС виготовляють безпосередньо різні інструменти та покриття для них. Механічні властивості покриттів зазвичай оцінюються тільки визначенням твердості. Пластичність не визначається через те, що не можливо отримати подовження до руйнування при випробуванні покриттів на розтяг. Однак, розроблені авторами методики індентування [1, 2] дозволяють визначати пластичність δ_H та напруження плину σ_{SH} покриттів та зміцнених поверхневих шарів.

Мета дослідження полягала у визначенні величини твердості HV, характеристики пластичності δ_H та напруження плину σ_{SH} методом індентування для оцінки механічної поведінки аморфних покриттів та визначення їх оптимального складу.

Були досліджені покриття з аморфних порошків систем Fe-Cr-B та Fe-Cr-Ni-Co-B, нанесені газотермічним напиленням на підкладку з маловуглецевої сталі. Вимірювання твердості здійснювали при кімнатній температурі на мікротвердомірі ПМТ-3, за допомогою алмазного індентора Вікерса при навантаженні $P = 1 \text{ Н}$, що є

оптимальним навантаженням для отримання якісних відбитків твердості без тріщин та руйнувань. При індентуванні індентором Віккерса характеристику пластичності визначали за методикою, розробленою в [1], як відношення пластичної деформації до загальної деформації під індентором.

При застосуванні індентора Віккерса отримано вираз:

$$\delta_H = 1 - 14,3(1 - \nu - 2\nu^2)HV/E, \quad (1)$$

де ν – коефіцієнт Пуасона, E – модуль Юнга, δ_H – безрозмірна величина, що змінюється від нуля, при абсолютно пружному вдавлюванні індентора, до одиниці при повністю пластичній деформації, тобто $0 < \delta_H < 1$.

Зі зменшенням значення δ_H (від більш пластичних матеріалів $\delta_{Hmax} \approx 0,99$ до менш пластичних $\delta_{Hmin} \approx 0,36$) всі матеріали можуть бути розташовані в наступній послідовності ГЦК – ОЦК – ГЦУ – метали – інтерметаліди (ІМ) – АМС – квазікристали (QC) – тугоплавкі сполуки – ковалентні кристали. В таблиці наведено механічні властивості, отримані методом індентування, досліджених АМС покриттів.

Таблиця 1

Механічні характеристики АМС покриттів, визначені методом індентування при температурі 20 °С

Склад АМС	Товщина покриття (h), мкм	Твердість (HV), ГПа	Характеристика пластичності (δ_H)	Параметр Тейбора (C)	Напруження плинину (σ_{SH}), ГПа	Модуль Юнга (E), ГПа
Fe-Cr-V	350	10	0,62	1,3	8,3	170
Fe-Cr-Ni-Co-V	750	6	0,74	1,7	5,1	147

Для визначення напруження плинину було використано фізичний зв'язок твердості з границею плинності σ_s , встановлений Тейбором [3] у вигляді:

$$HM \approx C\sigma_s,$$

де HM – твердість за Меєром (середній контактний тиск), C – параметр Тейбора.

Автори роботи [2] встановили співвідношення між δ_H та C для матеріалів з різною кристалічною структурою та різним типом

міжатомного зв'язку (Рис. 1), що дозволяє визначити параметр Тейбора та напруження плинину σ_{SH} за результатами стандартного індентування.

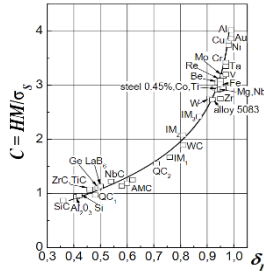


Рис. 1. Співвідношення між параметром Тейбора $C = HM/\sigma_s$ та характеристикою пластичності δ_H [1]

Методика визначення σ_{SH} передбачає:

1. Визначення характеристики пластичності δ_H за формулою (1).
2. Визначення параметра Тейбора C за градуовальним графіком (рис. 1).
3. Розрахунок σ_{SH} за формулою $\sigma_{SH} = HM/C$.

Значення HV для системи Fe-Cr-W знаходиться на рівні ~ 10 ГПа, що співпадає зі значенням HV , отриманому для АМС стрічок цього ж складу, $\delta_H \approx 0,62$, $\sigma_{SH} \approx 8,3$ ГПа. Часткове заміщення Fe додаванням до складу АМС елементів з більш слабкою залежністю границі плинності (Ni та Co) призводить до зменшення $HV \sim 6$ ГПа. При цьому значення δ_H зростає до $\approx 0,74$, а σ_{SH} знижується до $\approx 5,1$ ГПа. Таке поєднання значень характеристик міцності та пластичності є оптимальним для отримання якісних АМС покриттів.

Висновки.

1. Доведено, що при дослідженні аморфних покриттів можна використовувати метод індентування для визначення характеристики пластичності (δ_H) та напруження плинину (σ_{SH}), що підвищує інформативність та ефективність даного методу при вивченні механічної поведінки покриттів.
2. Результати дослідження призначені для вибору оптимального складу аморфних металевих сплавів при використанні їх у вигляді покриттів.

Перелік використаних джерел

1. Milman Yu.V., Chugunova S.I., Goncharova I.V., Golubenko A.A. Plasticity of materials determined by the indentation method. Progress in Physics of Metals 2018, Vol.19, No.3, p. 271-306. <https://doi.org/10.15407/ufm.19.03.271>
2. Galanov B.A., Milman Yu.V., Chugunova S.I., Goncharova Application of the Improved Inclusion Core Model of the Indentation Process for the Determination of Mechanical Properties of Materials. Crystals 2017, Vol.7, No.87. p.1-13. <https://doi.org/10.3390/cryst7030087>
3. Tabor D., The Hardness of Metals; Clarendon Press: Oxford, UK, 1951.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-73>

**IMPROVING THE HOMOGENEITY OF METASTABLE
AUSTENITE WHEN SURFACING PARTS MADE OF 110G13 STEEL**

**ПОКРАЩЕННЯ ГОМОГЕННОСТІ МЕТАСТАБІЛЬНОГО
АУСТЕНІТУ ПРИ НАПЛАВЛЕННІ ДЕТАЛЕЙ ЗІ СТАЛІ 110G13**

Shalay V.O.,

*Student, LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Шалай В.О.,

*студент ТОВ «Технічний
університет «Метінвест
політехніка», м. Запоріжжя, Україна*

Petrenchik I.V.,

*Laboratory Assistant,
LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Петренчик І.В.,

*лаборант,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Войко І.О.,

*PhD (Engineering), Associate professor,
LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Бойко І.О.,

*к.т.н., доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Сучасний стан гірничо-видобувної, переробної, дорожньої, будівельної та інших секторів промисловості України може суттєво

вплинути на попит на вкриті електроди, які здатні до використання при веденні зварювально-відновлювальних робіт сталей типу 110Г13 та її аналогів. Основні області застосування – це деталі гірничо-видобувної, переробної та залізничної тематики: дробильні кліщі, біла, броні і ролики, конуси і корпуси роторних та шоккових дробарок, зуби екскаваторів, гусеничні траки, а також залізничні хрестовини. Необхідну твердість наплавлений метал набуває після операції холодного механічного зміцнення (наклепу) або в процесі експлуатації, коли поверхня піддається інтенсивним ударним навантаженням [1].

Зниження шкідливих домішок в основному металі часто ускладнене з огляду на низку металургійних особливостей виплавки цієї сталі, а часткове їхнє виведення з металу шва здійснюється завдяки рафінуванню ванни в результаті взаємодії кальцієвих з'єднань шлаку і розплавленого металу. Очевидно, що успішне зварювання і наплавлення сталі Гадфільда, як і низки сталей аустенітного класу, є свого роду компромісом між забрудненістю наплавленого металу шкідливими домішками та величиною зерен, а також гомогенністю наплавленого металу, пов'язаною з нерівномірним розподілом легувальних елементів у наплавленому металі. Проблема нерівномірного розподілу легувальних елементів у металі шва під час наплавлення високовуглецевих сталей здебільшого пов'язана з нерівномірністю плавлення електродного покриття, яке періодично буквально "обсипається" шматками у ванну і не встигає в ній розчинитися. Це пов'язано з використанням як вуглецевоутворюючого компонента електродних покриттів графіту, що істотно погіршує плавлення покриття електрода при введених в кількостях більше 2...3 % [2].



**Рис. 1. Макрошліф для виявлення гарячих тріщин
(ММА, $\phi=5\text{мм}$, $I_{зв}=175\text{А}$, $V_{охол}=80\dots100\text{ град/хв}$)**

Композиція досліджувального наплавленого металу відповідає сталі X90Mn12Cr5Ni4. В якості вуглецьутворюючого компоненту наплавочного матеріалу взята композиція високовуглецевого феромарганцю, яка складається з фракцій 125-200 мкм та 200-315 мкм в співвідношенні 46/60. Головними компонентами шлакової системи є CaO, CaF₂, MgO, MnO. Газоутворення при наплавленні відбувається головним чином при термічній дисоціації мармуру марки КМ-63 під час протікання дугового процесу. Решта частини легуючої системи забезпечується «чистими порошками»: металевим хромом марки Х98,5 та порошком нікеля ПНЕ-1, що дозволяє додатково зменшити кількість неметалевих включень внаплавленому металі.

Оцінкою покращення гомогенності наплавленого металу служить схильність до утворення гарячих тріщин одинарного наплавленого валіка на пластину зі сталі 110Г13 (рис. 1) з уповільненим охолодженням зразка.

Дослідження мікроструктури наплавленого металу (рис. 2) проводилося за допомогою металографічного мікроскопа ММО-1600 з травленням у 6% азотній кислоті протягом 5 хв. Температура зразка складала 70-80 градусів Цельсія.



Рис. 2. Мікроструктура наплавленого металу (x400) – дрібнозернистий аустеніт

Проведені дослідження показали суттєві переваги наплавленого металу типу X90Mn12Cr5Ni4 та були реалізовані при проектуванні вкритих електродів для зварювання та наплавлення деталей зі сталі

Гадфільда згідно діючого в Україні стандарту ДСТУ EN 14700:2019 «Матеріали зварювальні. Зварювальні матеріали для наплавлення».

Перелік використаних джерел

1. Pashinskiy V.V, Boiko I.O. Study of the influence of the increased carbon content in electrodes on structure and properties of the welding seam during welding of 110G13 steel. *Technology Audit and Production Reserves*. № 4/3(60), 2021, p. 14-17 <https://do.org/10.15587/2706-5448.2021.237358>

2. Бойко І.О, Пашинський В.В, Ерьомкін Є.А Електроди для ручного дугового зварювання сталі 110Г13 з вуглецевими стрижнями. *Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС –2021)*: матеріали тез доповідей XI Міжнародної науково-практичної конференції, м. Чернігів, 26–27 травня 2021 р.: у 2 т. Чернігів: НУ «Чернігівська політехніка», 2021. Т. 2. с. 44

CHALLENGES AND PROSPECTS FOR ENGINEERING EDUCATION TRANSFORMATION

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-74>

ADVANTAGES OF CASE TECHNOLOGY IN TEACHING A FOREIGN LANGUAGE TO STUDENTS OF TECHNICAL SPECIALTIES

ПЕРЕВАГИ КЕЙС-ТЕХНОЛОГІЙ У ВИКЛАДАННІ ІНОЗЕМНОЇ МОВИ ЗДОБУВАЧАМ ТЕХНІЧНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ

Burkovska O.Y.,

*PhD (Philology), Associate Professor,
LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Бурковська О.Й.,

*к.філол.н., доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Неможливо уявити життя сучасної людини без володіння принаймні однією іноземною мовою. Сьогодення потребує не загальних знань, а знання іноземних мов для конкретних цілей, таких як навчання або робота за кордоном, кар'єра, ділові та туристичні подорожі, тощо. Зараз дуже «модно» вивчати іноземні мови й дуже багато людей мають досвід вивчення іноземних мов, а саме в школі, у вузі, на курсах, самостійно, але відсоток людей, хто реально володіє іноземною мовою, відносно невеликий. Сучасний освітній процес у вищому навчальному закладі неможливий без пошуку нових ефективних технологій, що сприятимуть розвитку самостійної та активної особистості.

У технічному вузі іноземна мова є засобом здійснення професійної діяльності. Майбутні інженери у гірничопромисловій галузі мають навчитися контактувати з іноземними партнерами та інвесторами; вміти критично аналізувати інформацію як рідною, так й англійською мовою; розуміти й аналізувати державну політику, зокрема, науково-технічну й економічну, цілі сталого розвитку та шляхи їх досягнення, історичні етапи і перспективи розвитку гірничих систем та технологій. Таким чином, формування та розвиток комунікативної культури студентів,

навчання практичному володінню англійською мовою є основною ціллю навчання.

Разом з цим величезна відповідальність лягає на плечі викладача. В поданих умовах він повинен знайти ефективні шляхи поліпшення програми навчання, а саме виділити оптимальні методи та прийоми навчання, які дозволили б кожному студенту проявити свою активність та творчість, щоб підготувати компетентних, мобільних спеціалістів, які здатні вирішувати складні професійні задачі та ефективно здійснювати професійну діяльність в іншомовному середовищі.

Наразі промислова галузь та суспільство переживають нестачу спеціалістів, що володіють іноземною мовою й здатні проводити професійно орієнтовану мовленнєву діяльність у професійному середовищі, опанувати новітні досягнення зарубіжної інженерної сфери, приймати активну участь у спільних проектах та наукових дослідженнях із зарубіжними партнерами.

Це обумовлює необхідність використання нових технологій, методів та засобів, що направлені на активізацію пізнавальної діяльності студентів. В даний час пріоритет віддається комунікативності, інтерактивності, автентичності навчання, вивчення мови в технічному контексті. Остаточною метою навчання іноземним мовам є вільне орієнтування в іноземному середовищі та вміння адекватно реагувати у різних ситуаціях, тобто спілкування. Для навчання спілкування іноземною мовою необхідно утворити реальні ситуації, що будуть стимулювати засвоєння матеріалу, розвивати пізнавальні та комунікативні можливості, вміння оперативно приймати рішення в складних ситуаціях.

Кейс-метод, це навчання дією, він пропонує конкретну ситуацію, до якої студенти повинні знайти рішення, відповідно до встановлених критеріїв. Цілі методу кейсів полягають у:

- активізації студентів, що, своєю чергою, підвищує ефективність професійного навчання;
- підвищення мотивації до навчального процесу;
- оволодінні навичками аналізу ситуацій та знаходження оптимальної кількості рішень;
- відпрацюванні умінь роботи з інформацією, у тому числі вміння зажадати додаткову інформацію, необхідну для уточнення ситуації;
- моделюванні рішень даних ситуацій відповідно до завдання, представлених різних підходів до розробки планів дій, орієнтованих на кінцевий результат;

- прийнятті правильного рішення на основі групового аналізу ситуації;
- набутті навичок чіткого та точного викладу власної точки зору в усній та письмовій формі, умінь переконливо відстоювати та захищати свою точку зору;
- виробленні навичок критичного оцінювання різних точок зору, здійсненні самоаналізу, самоконтролю та самооцінки.

У даний час метод кейсів має значні переваги у викладанні англійської мови для ділового спілкування. Casestudy поєднує в собі новітні методики, які пропонуються як дослідниками, так і практиками викладання. Краще навчати іноземної мови через зміст, а не за допомогою граматичних та лексичних вправ. Зміст, що має професійну орієнтацію, викликає більший інтерес у студентів і має для них більшу значущість у процесі вивчення мови, ніж будь-які абстрактні теми. Casestudies, як правило, ґрунтуються на автентичному матеріалі, який знайомить студентів з реальними проблемами, що потребують аналізу та вирішення, у той час як традиційніший зміст складається з діалогів та текстів для читання з різних бізнес-тематик. Цей метод є інтегрованим професійним підходом, який розвиває навички читання, говоріння та аудіювання.

Перелік використаних джерел

1. Пампура С.Ю., Бурковська О.Й. Використання методу кейсів у професійно орієнтованому навчанні іноземних мов. *Viae Educationis: Studies of Education and Didactics*, 2022. Vol. 1, No. 1, P. 117-124.
2. Shevchenko O. Role of science and education for sustainable development. Monograph / Publishing House of University of Technology, Katowice, 2021. V. 44. P. 242-246.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-75>

**MODERN APPROACHES TO DIGITAL EDUCATION
IN LEARNING ENGLISH BY STUDENTS MAJORING
IN COMPUTER SCIENCE**

**СУЧАСНІ ПІДХОДИ ЦИФРОВОЇ ОСВІТИ ДО ВИВЧЕННЯ
АНГЛІЙСЬКОЇ МОВИ СТУДЕНТАМИ СПЕЦІАЛЬНОСТІ
«КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ»**

Varekh N.V.,

*PhD (Social Communications),
Associate Professor,
LLC "Technical university "Metinvest
polytechnic", Zaporizhzhia, Ukraine*

Варех Н.В.,

*к.н. із соц.ком., доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Ragulina N.V.,

*PhD (Economics),
Head of the Department,
LLC "Technical university "Metinvest
polytechnic", Zaporizhzhia, Ukraine*

Рагуліна Н.В.,

*к.е.н., завідувач кафедри,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Нині володіння англійською мовою стає майже обов'язковою умовою для студентів, які навчаються за спеціальністю «Комп'ютерні науки». Для покращення навчання потрібно обрати вірну методику, тому що цей процес може виявитися складним без правильного підходу та певної стратегії.

Студенти спеціальності «Комп'ютерні науки» – майбутні фахівці в галузі ІТ технологій, тому володіння англійською мовою є обов'язковою для побудови майбутньої кар'єри. Викладання англійської мови на кафедрі «Мовних та гуманітарних дисциплін» проводиться згідно відповідним сучасним міжнародним рівневим стандартам та кращим мультимедійним матеріалам. Студенти спеціальності «Комп'ютерні науки» мають змогу набути високий рівень володіння англійською мовою.

Найбільш відомі підходи до вивчення англійської мови наступні:

- 1) *Комунікативний підхід* передбачає вивчення англійської мови за допомогою спілкування та рольових ігор;
- 2) *Лексичний підхід* передбачає поглиблене вивчення лексики та граматики;

3) *Аудіолінгвальний метод* – прослуховування текстів, та мовних зразків дає студентам змогу розуміти мову на слух.

4) *Прямий метод* застосовується при вивченні іншої мови без використання рідної мови.

5) *Test-Teach-Test* передбачає вивчення мови за допомогою тестування. Під час тестування виявляють прогалини в знаннях, які студент повинен самостійно чи за допомогою викладача ліквідувати.

6) *Task-Based Learning* передбачає виконання реальних завдань англійською мовою, що реально може підняти їх рівень знань.

7) *Content and Language Integrated Learning* передбачає вивчення предмету таке як ІТ технології англійською мовою.

8) *Поглиблене вивчення* передбачає самостійну роботу студента після занять [1]

Всі перелічені методики саме і використовують при вивченні студентами англійської мови на кафедрі мовних та гуманітарних дисциплін. Для організації процесу навчання застосовуються сучасні середовища такі як Moodle та Teams. Для того щоб студенти були в курсі сучасних ІТ технологій, використовуються тематики які можна розбити на такі категорії як: Web дизайн, Інтернет, Програмування, Соціальні мережі, Штучний інтелект, Комп'ютерні мережі та інші [2-3]. У Таблиці надається список тем відповідно до категорій.

Таблиця 1

Теми, що вивчають студенти

Назва категорії	Назва теми практичного заняття
Web дизайн	Image and design, Web Design vs. Development ...
Інтернет	E-mail, Internet crime, Online banking...
Програмування	Software Reuse, Software Tools, Software maintenance ...
Соціальні мережі	Social media, Video Conferencing, Telecommuting ...
Штучний інтелект	Artificial intelligence, Chat GPT ...
Комп'ютерні мережі	Networking: Types of networks, Networks: Troubleshooting
Операційні системи	Linux, Macs and PCs, Windows

Пропонуються наступні етапи та відповідні підходи для удосконалення навичок англійської мови студентами спеціальності «Комп'ютерні науки» (табл. 2).

Таблиця 2

**Підходи до вивчення англійської мови,
які використовуються на заняттях**

Назва етапу	підходи до вивчення англійської мови
Читання та переклад тесту за тематикою заняття	<i>Лексичний підхід</i>
Створення студентом словника нових термінів	<i>Лексичний підхід</i>
Обговорення тексту англійською мовою	<i>Комунікативний підхід</i>
Студенти надають відповідь на запитання до тексту	<i>Test-Teach-Test</i>
Студенти прослуховують аудіозапис (носії англійської мови) та надають відповідь на запитання	<i>Аудіолінгвальний метод</i>
Студенти розбиваються на групи перша група створює запитання стосовно тематики заняття, інша група надає відповіді.	<i>Комунікативний підхід</i>
Перегляд відеозапису. Та вирішення тестових завдань до відео.	<i>Аудіолінгвальний метод</i>

Висновок. Використання сучасних тем та методик для студентів спеціальності «Комп'ютерні науки» дає змогу оволодіти необхідним лексичним запасом та підвищити навички говоріння, що відповідає необхідним компетенціям, які необхідні майбутньому ІТ – фахівцю.

Перелік використаних джерел

1. Сучасні підходи до вивчення англійської URL: <https://dzerkalo.media/news/suchasni-pidhodi-do-vivchennya-angliyskoi-yak-opanuvati-inozemnu-movu-na-kursah-i-ne-vitratiti-chas-darma>
2. Evans V. Dooley J. E. Pontely / Software ENGINEERING// Express Publishing – Liberty House, Greenham Busines Park, Newbury, Bergire RG 19 6HW, United Kingdom 2023. 120 p.
3. Evans V. Dooley J. W. Kennedy /Computing// Express Publishing – Liberty House, Greenham Busines Park, Newbury, Bergire RG 19 6HW, United Kingdom 2018. 120 p.
4. Santiago Remacha Esteras / Infotech Student's Book // Cambridge University Press,. 2014. 168 p.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-76>

**SPECIFICITY OF LEARNING FOREIGN LANGUAGE LEXIS
BY SEEKERS OF ENGINEERING EDUCATION AT CLASSES
OF BUSINESS-AIMED AND SCIENTIFIC UKRAINIAN**

**СПЕЦИФІКА ВИВЧЕННЯ ІНШОМОВНОЇ ЛЕКСИКИ
ЗДОБУВАЧАМИ ІНЖЕНЕРНОЇ ОСВІТИ НА ЗАНЯТТЯХ
ІЗ ДІЛОВОЇ ТА НАУКОВОЇ УКРАЇНСЬКОЇ МОВИ**

Dvoriankin V.O.,

*PhD (Philology),
Associate Professor,
LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic", Zaporizhzhia,
Ukraine; Mariupol State University,
Kyiv, Ukraine*

Дворянкін В.О.,

*к. філол. н., доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна;
Маріупольський державний
університет, м. Київ, Україна*

Слова іншомовного походження постійно поповнюють лексичний склад сучасної української літературної мови, тому не випадково серед науковців зростає цікавість до їх студіювання [див., напр.: 1–5; 7; 8; 10]. Актуальним є пошук ефективних методів вивчення згаданого шару лексики у вищій школі.

Здебільшого майбутні інженери доцільно використовують іншомовні слова як фахові терміни в певній галузі. Традиційно вітчизняні лінгвісти рекомендують уживати іншомовні лексеми тільки в тому разі, якщо немає прямого українського відповідника. Слід послуговуватися в текстах питомою лексикою, уникаючи іншомовних слів (синонімів-дублетів): *конфронтація – протистояння, пресинг – тиск, стагнація – застій* тощо. Абсолютні синоніми (напр., власне українські та запозичені) в одному тексті офіційно-ділового й наукового стилів уживати не радять: *відсоток – процент, дохідний – рентабельний, розподіл – диференціація*.

Пропонуємо нижче низку вправ для якісного вивчення іншомовних слів та підвищення загального рівня грамотності здобувачів інженерних освітніх програм бакалаврського ступеня у процесі опанування дисципліни «Ділова та наукова українська мова».

1. Загальновідомо, що останнім часом у наукових текстах активно використовують слова іншомовного походження. Поміркуйте, як

уникнути надмірного вживання згаданої лексики. Доберіть власне українські відповідники до поданих іншомовних слів.

Автохтонний, акумулювати, апелювати, аргумент, брокер, варіабельний, вербалізувати, генерація, гетерогенний, гомогенний, девайс, експліцитний, елімінувати, імідж, імпліцитний, інвестиції, інтеракція, каузальний, консенсус, концептуалізувати, лімітувати, маркер, масмедіа, менеджер, пролонгувати, рафінований, релевантний, спорадичний, стратифікація, темпоральний, транзитивний, фундатор.

2. Запишіть іншомовні слова, поставивши, де потрібно, пропущені літери. Перевірте себе за новим Українським правописом (2019) [9]. З'ясуйте, чи можливі в деяких запозиченнях орфографічні варіанти.

А..діснція, а..диторія, ват.., В..флєєм, ..оспіс, д..зель, д..електрик, ж..рі, Канзас-С..ті, конве..р, ла..реат, магістрал..ю, міс..с, про..кт, рад..ус, р..єлтор, сп..рт, Тб..лісі, тон..а, Фліт-стр..т, Флор..да, холд..нг, ша..сі.

3. Поясніть значення іншомовних слів, скориставшись «Словником новітніх англізмів» [6]. Поставте в них наголос. Які ремарки супроводжують ці лексеми? Чи є серед поданих слів полісемічні? Поміркуйте, у текстах яких стилів розглянуті слова доцільно вживати.

Абстракт, баг, бан, бандлінг, бустер, вайб, гостел, дастер, девайс, драйв, екшн, зум, інсайт, кантрі, квіз, костер, коуч, крафт, лакшері, ланч, лобі-бар, мем, нуб, офрекорд, панкейк, патерн, пікап, проксі, рерайт, скриншот, тригер, фастфуд, флешбек, фрі, чирс.

4. Визначте рід невідмінюваних іменників іншомовного походження. Складіть із ними по два речення.

Авеню, ампуа, боа, боржомі, броколі, бюро, гінді, депо, івасі, каберне, кольрабі, конференсьє, леді, портсьє, рефері, салямі, таксі, Торонто.

5. Прочитайте речення. З'ясуйте значення виділених слів. Поміркуйте, чи є потреба вживати в реченнях ці іншомовні лексеми. Які з поданих речень можна вважати прикладами українсько-англійського суржику?

1. Завдання модульної контрольної роботи з теоретичної механіки були **лайтові**. 2. Провідний інженер з охорони праці поділився **лайфхаком** для швидкого розв'язання актуальної професійної проблеми. 3. Координатор проєкту організовує впродовж тижня цікаві **івеннти**. 4. Модератори наукового семінару формують **ком'юніті** та шукають нових партнерів. 5. Змістовний **спіч** відомого фахівця в галузі металургії під час пресконференції зацікавив журналістів.

Зауважимо, що різні типи вправ доречно виконувати для засвоєння особливостей усного й писемного ділового спілкування та академічного письма. Рекомендовані завдання дозволяють здобувачам інженерної освіти вдосконалити вміння правильно писати й використовувати іншомовні слова як на заняттях із дисципліни, так і в подальшій професійній діяльності.

Перелік використаних джерел

1. Архипенко Л. М. Іншомовна лексика в українських засобах масової інформації в контексті проблем лінгвоєкології. *Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету. Серія : Філологія*. Одеса, 2019. № 40, т. 1. С. 9–12. URL: http://www.vestnik-philology.mgu.od.ua/archive/v40/part_1/4.pdf (дата звернення: 30.10.2024).

2. Гремалюк Т. В. Лексика іншомовного походження: проблеми норми в контексті історичного розвитку української літературної мови. *Записки з українського мовознавства* : зб. наук. пр. Одеса, 2021. № 28. С. 52–61. URL: <https://doi.org/10.18524/2414-0627.2021.28.235517> (дата звернення: 30.10.2024).

3. Карпіловська Є. А., Кислюк Л. П. Рекомендації щодо усунення суперечностей і прогалин у чинному правописі слів іншомовного походження. *Українська мова*. 2023. № 2 (86). С. 84–100. URL: <https://ukrmova.iul-nasu.org.ua/wp-content/uploads/sites/8/2023/06/Karpilovska-Kyslyuk-NEW.pdf> (дата звернення: 30.10.2024).

4. Куцак Г. М. Основні тенденції у словотвірному освоєнні новітніх запозичень для позначення дій і станів в українській літературній мові XXI ст. *Українська мова*. 2024. № 2 (90). С. 105–120. URL: <https://ukrmova.iul-nasu.org.ua/wp-content/uploads/sites/8/2024/06/8.-Kutsak.pdf> (дата звернення: 30.10.2024).

5. Селігей П. Лексичне нормування та культуромовні рекомендації очима етимолога (зауваги, роздуми, оцінки). *Мовознавство*. 2024. № 4. С. 3–24. URL: <https://movoznavstvo.org.ua/component/attachments/download/1381.html> (дата звернення: 30.10.2024).

6. Словник новітніх англійців / укл. Л. Белей, А. Гончаренко, М. Ківу, І. Олександрук. Київ : Наук. думка, 2022. 320 с. URL: <https://drive.google.com/file/d/1EUFaKfLLF-wrhkujkHYO9wajjmHFjUqi/view> (дата звернення: 30.10.2024).

7. Стадній А. С., Зозуля І. Є. Неоангліцизми в сучасній українській літературній мові. *Закарпатські філологічні студії*. Ужгород : Видавничий дім «Гельветика», 2022. Вип. 22, т. 2. С. 29–33. URL:

http://zfs-journal.uzhnu.uz.ua/archive/22/part_2/5.pdf (дата звернення: 30.10.2024).

8. Стишов О. А. Нові іншомовні слова в українськомовних ЗМІ початку XXI ст. *Studia Philologica (Філологічні студії)* : зб. наук. пр. Київ : Київ. ун-т ім. Б. Грінченка, 2017. Вип. 9. С. 66–75. URL: https://elibrary.kubg.edu.ua/id/eprint/23555/1/O_Styshov_SF_9_2017_IF.pdf (дата звернення: 30.10.2024).

9. Український правопис / НАН України, Ін-т мовознавства ім. О. О. Потебні; Ін-т української мови; Український мовно-інформаційний фонд. Київ : Наук. думка, 2019. 392 с. URL: <https://mon.gov.ua/storage/app/media/zagalna%20serednya/Pravopys.2019/ukr.prapovyp-2019.pdf> (дата звернення: 30.10.2024).

10. Фаріон І. Англобарбаризація і питомі новотвори. *Лінгвостилістичні студії*. Луцьк, 2023. Вип. 18. С. 81–92. URL: <https://doi.org/10.29038/2413-0923-2023-18-81-92> (дата звернення: 30.10.2024).

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-77>

SYSTEM OF PROFESSIONAL TRAINING IN THE MODERN PRODUCTION ENVIRONMENT: STRATEGIES FOR REBOOTING

СИСТЕМА ПРОФЕСІЙНОГО НАВЧАННЯ В СУЧАСНОМУ ВИРОБНИЧОМУ СЕРЕДОВИЩІ: СТРАТЕГІЇ ПЕРЕЗАВАНТАЖЕННЯ

Dieiev V.V.,

*Student (group 051-23-m),
LLC “Technical university
“Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Дєєв В.В.,

*студент гр. 051-23-м,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

З огляду на розвиток євроінтеграційних процесів, а також за умов повномасштабного вторгнення, жорстку конкуренцію, прискорення науково-технічного прогресу та необхідність підприємств у постійному розвитку і формуванні конкурентних переваг, трудовий потенціал, наявність необхідних знань, умінь та навичок у працівників відіграють значну роль. Проте підтримка належного рівня цього потенціалу є

складним завданням, яке реалізується через ефективну систему професійного навчання. Підвищуючи кваліфікацію і здобуваючи нові навички та знання, персонал стає більш конкурентоспроможним на ринку праці та отримує додаткові можливості для свого професійного розвитку. Тому проблема професійного навчання персоналу набуває все більшої актуальності.

Особливо гостро це відчувається з урахуванням реалій сучасного ринку праці, коли дефіцит кваліфікованого персоналу збільшується щомісяця шаленими темпами. Й дефіцит кадрів у робітничих професіях. За даними Міністерства економіки, на сьогодні в Україні не вистачає близько 4,5 мільйонів працівників. Найбільший дефіцит відчувається у виробництві, аграрній сфері, будівельній галузі, логістиці, а також у транспорті.

Цю ситуацію ускладнюють мобілізація, еміграція та демографічні виклики, що призводить до нестачі робочої сили навіть після завершення воєнних дій.

Професійне навчання є важливою складовою розвитку персоналу та його потенціалу, що робить його ключовим інструментом ефективного управління підприємством. У зв'язку з цим, в умовах євроінтеграції та воєнного стану виникає необхідність перезавантаження процесів професійного навчання, як засобу розвитку трудового потенціалу.

Зростання значення безперервного навчання персоналу підприємств обумовлено такими факторами: впровадження нових технологій та техніки, виробництво сучасних товарів, розширення комунікаційних можливостей, що призводять до ліквідації або зміни деяких видів робіт. Ці та багато інших факторів є впливом, так званої Четвертої промислової революції або Індустрії 4.0, що характеризується впровадженням новітніх технологій, які змінюють спосіб життя, роботи та взаємодії людей. У зв'язку з цим базова освіта не може гарантувати необхідну кваліфікацію.

Україна займає 88 місце серед 189 країн і територій, включених до Доповіді про стан людського розвитку за 2019 рік, опублікованої ПРООН (Програма розвитку Організації Об'єднаних Націй). Цей показник відносить Україну до групи країн з високим рівнем людського розвитку, зі значенням Індексу людського розвитку 0,750. У період з 1990 по 2018 рік Індекс людського розвитку України зріс з 0,705 до 0,750, що становить збільшення на 6,3%. Як бачимо, Україна має великий потенціал в розвитку персоналу. Проте наразі наша країна стикається з багатьма труднощами, основними серед яких є:

- військовий стан;

- мобілізація громадян з найбільшим трудовим потенціалом;
- трудова міграція, яка набула значних масштабів ще до повномасштабного вторгнення внаслідок процесів євроінтеграції;
- катастрофічне демографічне становище (смертність утричі перевищує народжуваність);
- застаріла матеріальна база обладнання виробничих підприємств;
- низький престиж робітничих професій серед молоді;
- недосконалість системи професійно-технічного навчання в закладах освіти та на виробництві (застаріла матеріально-технічна база, нестача кваліфікованих викладачів та наставників, низький рівень їх мотивації).

З огляду на існуючі труднощі та виклики сучасний ринок праці в Україні має зосередитися на активній позиції особистості, свободі професійного вибору, напрямках для кар'єрного розвитку та відповідальності за результати власного зростання. Для реалізації цих потреб необхідно впроваджувати системну, організовану програму професійного розвитку в межах підприємств і організацій.

Обґрунтовуючи можливості подальшої професійної освіти та доступності навчання в спеціалізованих навчальних закладах та на виробництві, наголошуємо на збільшенні внеску професійної освіти в досягнення цілей виробничих компаній за рахунок:

1) Зміцнення зв'язку між закладами та установами освіти та підприємствами:

- спільна профорієнтаційна робота: школа – професійно-технічний навчальний заклад (ПТНЗ) – виробництво;
- збільшення обсягів дуального навчання;
- інтеграція виробничої та корпоративної культури, стандартів підприємств до програм навчання ПТНЗ;
- інвестиції в розвиток матеріально-технічної бази ПТНЗ;
- стажування викладачів, майстрів, наставників ПТНЗ на виробництві;
- оперативне реагування ПТНЗ на запити підприємств з підготовки та підвищення кваліфікації персоналу;

2) Заохочення гнучких форм навчання для доступу до навчання співробітників в умовах викликів сьогодення (неможливість пересування, географічна віддаленість від закладу освіти, перебої з електропостачанням тощо):

- дистанційне навчання;
- електронне навчання;

- вечірні курси;
- навчання протягом робочого дня;
- реінтеграція ветеранів (створення умов для опанування нових спеціальностей та професій після повернення з фронту);
- навчання жінок за умовно «чоловічими» професіями (в умовах нестачі чоловіків на ринку праці).

3) Активне заохочення до участі в безперервній професійній освіті всіх працівників підприємств для реалізації стратегії динамічного управління персоналом на виробництві:

- навчання за другими / суміжними професіями для розширення зон обслуговування на виробництві;
- навчання робітників найпростіших професій, або працівників, що мають базові професійні кваліфікації компетенціям та кваліфікаціям на рівень вище за професійною ієрархією для створення внутрішнього резерву;
- відкриття на базі навчальних закладів та виробничих підприємств кваліфікаційних центрів, метою яких є оцінювання і визнання результатів навчання працівників, здобутих шляхом неформальної або інформальної освіти, присвоєння та/або підтвердження відповідних професійних кваліфікацій;
- створення наглядної автоматизованої системи кваліфікаційних профілів робітників та посадових осіб для керування кваліфікаціями та планування навчання персоналу;
- створення наглядної автоматизованої системи кар'єрних маршрутів для робітничих професій для моніторингу професійного зростання співробітників від найнижчих кваліфікаційних рівнів до керівних посад.

4) Розвиток матеріально-технічної та методичної навчальної бази:

- створення професійних стандартів та стандартів професійно-технічної освіти за ключовими професіями з урахування потреб підприємств-роботодавців;
- впровадження модульних програм професійного навчання, що передбачають навчання за необхідними базовими та професійними компетенціями відповідно до професійних стандартів та стандартів професійно-технічної освіти;
- залучення світових брендів-виробників в галузях електроніки, автоматики, гідравліки, машинобудування для вдосконалення матеріально-технічної бази (створення тренажерів, полігонів, тематичних класів, лабораторій) з метою практичного навчання за ключовими професіями.

В умовах сучасних викликів (військовий стан, еміграція, прискорення євроінтеграційних процесів), професійне навчання в Україні є важливою складовою розвитку та вдосконалення трудового потенціалу підприємств. Воно дозволяє вирішувати основні завдання як в інтересах організації – підвищення ефективності та якості праці, так і в інтересах працівників – підвищення рівня життя та створення можливостей для реалізації своїх здібностей. Для досягнення максимальної ефективності професійного навчання персоналу необхідно системно використовувати сучасні гнучкі форми та методи, що дозволить досягти високої якості трудового потенціалу та забезпечить сталий розвиток виробничих підприємств.

Перелік використаних джерел

1. Харун О. А. Професійне навчання як засіб розвитку трудового потенціалу персоналу підприємств за умов євроінтеграції. *Вісник Хмельницького національного університету* 2019, № 2. С. 73–79. DOI: 10.31891/2307-5740-2019-268-2-73-79.
2. Коломієць Б. О. Аспекти розвитку персоналу на підприємствах. *Менеджмент XXI століття: сучасні моделі, стратегії, технології: збірник наукових праць V Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції*, м. Вінниця, 19 жовтня 2018 р. Вінниця, 2018. Ч. 1. С. 493–506. URL: http://vtei.com.ua/images/VN/19_10_2018_1.pdf#page=493.
3. Johannessen J.-A. *The Workplace of the Future. The Fourth Industrial Revolution, the Precariat and the Death of Hierarchies*. Routledge, 2018. 130 p. DOI: 10.4324/9780429441219.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-78>

**ALUMNI OF LIMITED LIABILITY COMPANY «TECHNICAL
UNIVERSITY «METINVEST POLYTECHNIK» AS A FORM
OF PRESERVING THE SENSITIVITY OF ENGINEERING
EDUCATION TO THE BEST WORLD PRACTICES OF THE REAL
PRACTICAL INDUSTRIAL ENVIRONMENT OF UKRAINE**

**АСОЦІАЦІЯ ВИПУСКНИКІВ УНІВЕРСИТЕТУ «МЕТІНВЕСТ
ПОЛІТЕХНІКА» ЯК ФОРМА ЗБЕРЕЖЕННЯ ЧУТЛИВОСТІ
ІНЖЕНЕРНОЇ ОСВИТИ ДО КРАЩИХ СВІТОВИХ ПРАКТИК
РЕАЛЬНОГО ПРАКТИЧНОГО ПРОМИСЛОВОГО
СЕРЕДОВИЩА УКРАЇНИ**

Kononyuk D.V.,

*Chief Electrician & ambassador,
LLC “Metinvest sichsteel”,
Head of the Alumni of limited liability
company, LLC “Technical university
“Metinvest polytechnics”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Кононюк Д.В.,

*головний електрик та амбасадор,
ТОВ «Метінвест Січсталь»,
голова асоціації випускників,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Теорія без практики мертва і безплідна,
практика без теорії безкорисна і пагубна.
Пафнутій Чебишев

Повномасштабна війна в Україні з 2022 року змусила українське суспільство кардинально переглянути та трансформувати свій освітній процес. Одразу стало зрозуміло, що в умовах ведення на території країни бойових дій неможливо забезпечити повноцінну безпеку для учнів, студентів та педагогічної спільноти.

В таких умовах викладацький колектив ТОВ «Технічний університет «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА» в вересні 2022 року почав свою роботу з першим набором студентів-магістрів. Рішення для ефективного ведення освітнього процесу було знайдено в площині дистанційної форми отримання освіти, завдяки сучасним цифровим програмним продуктам MS Teams, Moodle та інші.

В умовах ведення дистанційної освіти постає дуже нагальне питання – як не втратити чутливість інженерної вищої освіти та науки до реального практичного середовища?

Робота інженерного вищого навчального закладу невід'ємно має бути пов'язана з об'єктом освіти. Освітні програми, методологія, практикум має враховувати актуальний стан техніки. Університет має «бігти» між двох стін – реальність та кращі світові практики. Педагог в освітньому процесі спочатку самостійно знаходить кращий перехід між цими стінами, закріплює його через наукову активність, а потім через взаємодію зі студентом шукає краще поєднання. Тож, перед технічним університетом завжди постає питання – як зберегти сталий зв'язок з реальністю та не втратити чутливість своєї освітньої та наукової діяльності?

Ще до активного використання програмних продуктів дистанційної цифрової комунікації профільні вищі навчальні заклади у всьому світі намагалися будувати свої кампуси наближено до об'єктів своєї уваги. Так було і з технічними університетами. Наприклад, технічний факультет університету Ерлангена-Нюрнберга у Німеччині побудовано в місті Ерланген неподалік однієї з найбільших в світі компаній, яка працює в сфері електротехнічного напрямку – Siemens AG. Цей профільний університет активно співпрацює з компанією Siemens AG, його студенти фактично «проживають» своє навчання в найактуальнішій сфері свого профілю. І студенти і викладачі мають високу чутливість до того рівня техніки, яка саме зараз розробляється та споживається ринками всього світу. Компанія в свою чергу постійно підживлює себе сучасними науковими розробками університету, та намагається шукати через науку нові ефективні та актуальні технології [1]. Це яскравий приклад взаємовигідного співіснування вищої інженерної школи і компанії-флагмана в світі розробки електротехніки.

Сучасний цифровий світ дозволяє значно розширити географію для університета. Університет «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА» залучає до своїх лав студентів із різних регіонів України та міст присутності Групи Метінвест в інших країнах світу. Тому на сьогодні вже немає нагальної потреби будувати кампуси в кожному місті наближено до бізнесу. Університет майбутнього має знайти інший ланцюг підтримки чутливості з практичним середовищем. *І «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА» знайшов такий ланцюг – це асоціація випускників університету.*

2024 року, одразу після першого випуску магістрів, за ініціативою ректора університету Олександра Станіславовича Поважного була створена *асоціація випускників ТОВ «Технічний університет*

«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», яка в майбутньому об'єднає в собі випускників та студентів закладу різних років.

Основною метою діяльності асоціації є – об'єднання випускників всіх поколінь, студентів, слухачів та аспірантів, науково-педагогічних працівників університету та представників бізнесу для забезпечення наступності поколінь, формування позитивного іміджу університету та створення «екосистеми» випускників «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА» задля сприяння розвитку професійних траєкторій та зростання випускників, створення умов для їх самореалізації у науковій, професійній, освітній, культурній та інших сферах [2].

Через асоціацію випускників університет «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА» має на меті зберегти зворотній зв'язок та постійну комунікацію зі своїми випускниками, підтримку та розповсюдження позитивного іміджу та авторитету університету, забезпечити участь у створенні спільної з випускниками «екосистеми» та доброзичливої атмосфери в університеті, сприяння створенню спільних наукових, навчальних, соціальних, дослідницьких та інших проєктів, робочі зустрічі з випускниками з приводу удосконалення освітніх програм, залучення випускників до іміджевих заходів університету. Все це, на думку pana ректора університету дозволить зберегти ту саму чутливість до практичного середовища через «своїх представників» в бізнесі.

Асоціація формується із числа випускників, студентів, слухачів та аспірантів, науково-педагогічних працівників ТОВ «Технічний університет «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА». Також до її складу можуть входити посадові особи університету, активів ТОВ «Метінвест Холдинг», бізнесу, почесні та колективні члени, які є випускниками інших навчальних закладів, але розділяють ідеї та цінності асоціації закріплені в положенні про асоціацію випускників, надають інформаційну, консультативну, матеріальну та інші види допомоги у роботі асоціації [2].

Через асоціацію випускників «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА» намагається триматися ближче до компаній Групи Метінвест і таким чином актуалізувати свій освітній процес і наукові інтереси педагогічного складу через реальні практики технічних компаній. Така форма взаємодії може значно поліпшити чутливість інженерної вищої освіти до кращих світових практик реального промислового середовища України, тримати освітній процес в актуальному стані до викликів сьогодення і зміцнювати економіку України у майбутньому.

Перелік використаних джерел

- 1 Офіційний веб-сайт університету Ерлангена – Нюрнберга (нім. Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg). URL: FAU Erlangen-Nürnberg
- 2 Положення про асоціацію випускників ТОВ «Технічний університет «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА». 2024. 13 с.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-79>

**AUTHENTIC MATERIALS AND THEIR ROLE
IN TEACHING TECHNICAL ENGLISH****АВТЕНТИЧНІ МАТЕРІАЛИ ТА ЇХНЯ РОЛЬ У ВИКЛАДАННІ
ТЕХНІЧНОЇ АНГЛІЙСЬКОЇ МОВИ****Kochergina S.S.,**

*PhD (Philology),
LLC “Technical university
“Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Кочергіна С.С.,

*к.філ.н.,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

У сучасній системі вищої освіти все більшої ваги набуває потреба в адаптації навчальних методів і підходів до реальних умов професійної діяльності студентів. Для студентів технічних спеціальностей вивчення англійської мови є не просто загальноосвітнім предметом, а необхідною складовою їхньої майбутньої професійної кар'єри. У зв'язку з цим, використання автентичних матеріалів, таких як наукові статті, технічні документи та відеолекції, є надзвичайно ефективним засобом навчання, що допомагає підготувати студентів до реальних професійних ситуацій.

Автентичні матеріали – це будь-які ресурси, що створені для носіїв мови і використовуються в реальному житті, а не спеціально для освітніх цілей. У викладанні англійської мови студентам технічних вузів автентичні матеріали відіграють ключову роль, оскільки вони забезпечують більш природне і наближене до реальних умов засвоєння мови. Це можуть бути наукові статті з технічних журналів, патенти, технічні специфікації, інструкції з експлуатації, а також відеоматеріали, такі як лекції з конференцій або навчальні відео від інженерів і вчених.

Автентичні матеріали допомагають студентам не тільки розвивати мовленнєві навички, але й розуміти термінологію, специфіку текстів та мовних конструкцій, що використовуються у відповідних професійних галузях. Це важливо, оскільки технічна англійська має особливості, що відрізняються від загальної мови, зокрема у використанні термінів, стислості та точності викладу.

Наукові статті та технічні документи є одними з найбільш цінних джерел автентичної інформації для студентів технічних спеціальностей. Вони дозволяють вивчати нові технології, інновації та дослідження в різних галузях науки та інженерії, з одночасним вивченням професійної лексики і граматичних структур.

Використання наукових статей у навчальному процесі має кілька важливих переваг:

– Розширення професійного словникового запасу. Студенти вчать розуміти та використовувати технічну лексику, яка є невід'ємною частиною їхньої професійної діяльності.

– Розвиток критичного мислення. Читання наукових статей стимулює аналітичне мислення, оскільки студенти не тільки вивчають нову інформацію, але й оцінюють її з точки зору практичної корисності для своїх досліджень.

– Знайомство з форматом наукових робіт. Це допомагає студентам підготуватися до написання власних наукових публікацій англійською мовою, що є необхідною навичкою для подальшого професійного розвитку.

Технічні документи, зокрема інструкції з експлуатації та технічні специфікації, також надзвичайно корисні, оскільки вони дають студентам можливість навчитися працювати з документами, які є частиною їхньої майбутньої професійної діяльності. Використання таких матеріалів дозволяє студентам не лише вдосконалювати розуміння мови, але й ознайомлюватися з форматами технічних звітів, що є критично важливим у їхній професії.

Відеолекції є ще одним потужним інструментом у викладанні англійської мови для студентів технічних спеціальностей. Вони дозволяють студентам навчатися, слухаючи справжні лекції від міжнародних експертів у своїй галузі. Це сприяє розвитку не лише навичок аудіювання, але й розширює кругозір студентів, знайомлячи їх із новими ідеями та технологіями.

Основні переваги використання відеолекцій включають:

– Ефективне занурення у мовне середовище. Студенти отримують можливість слухати носіїв мови, що сприяє покращенню вимови, інтонації та розумінню природної швидкості мови.

– Реалістичні професійні ситуації. Лекції на технічні теми часто імітують реальні умови професійної взаємодії, що дозволяє студентам краще зрозуміти, як виглядають презентації або конференції у їхній сфері діяльності.

– Розвиток навичок самостійного навчання. Перегляд лекцій дозволяє студентам самостійно засвоювати новий матеріал, що є важливою навичкою в умовах постійної потреби оновлення знань у технічній сфері.

Крім того, відеолекції можуть слугувати основою для подальших дискусій, що сприяє розвитку навичок комунікації.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-80>

**DEVELOPMENT OF EDUCATIONAL AND PROFESSIONAL
POTENTIAL IN THE CONTEXT OF HYBRID FORMS
OF EMPLOYMENT: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES
FOR MODERN INDUSTRY**

**РОЗВИТОК ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОГО ПОТЕНЦІАЛУ
В УМОВАХ ГІБРИДНИХ ФОРМ ЗАЙНЯТОСТІ: ВИКЛИКИ
ТА МОЖЛИВОСТІ ДЛЯ СУЧАСНОЇ ІНДУСТРІЇ**

Maltsev O.Yu.,

PhD student,

*Institute of Industrial Economics
of the National Academy of Sciences
of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

Мальцев О.Ю.,

аспірант, Інститут економіки

*промисловості
Національної академії наук України,
м. Київ, Україна*

Проривні технології, поширення цифрових форм комунікацій, зміни концепції налаштування виробничих та управлінських процесів, зокрема lean, agile, kaizen та інші форми технологічного прогресу в умовах постіндустріального розвитку, а також впливу глобальних і суспільно-політичних процесів, суттєво змінюють структуру зайнятості в

промисловості. По всьому світу спостерігається нарощення інтенсивності міграційних процесів, що створює як певні можливості, так і окремі ризики для гірничих, металургійних та інших галузей, що тривалий період часу характеризувались відносною стабільністю та сталістю виробництва. Завдяки цифровим комунікаціям інтернаціональні команди стають все більш поширеним явищем через їх здатність забезпечувати новий рівень спільної взаємодії, розширений обмін знаннями та досвідом, підтримку інноваційних процесів, так само як віддалена робота та фріланс, гібридні робочі режими застосовуються все частіше з метою досягнення балансу між особистим життям та професійним зростанням. Як наслідок виникає потреба у додатковому навчанні, розвитку нефахових (мовних, культурних, соціальних) компетенцій, розробці гнучких програм адаптації нових працівників для успішної інтеграції не лише у виробничі та технологічні процеси, але й нове соціокультурне середовище.

Метою дослідження виступає аналіз впливу гібридних форм зайнятості та діджиталізації виробничих процесів на розвиток освітньо-професійного потенціалу промисловості.

Оскільки промисловий сектор стикається із проблемою укорінення і подальшого посилення розриву у навичках, застарілим уявленням про процеси сучасного виробництва, дефіцит талантів змушує лідерів промисловості визначати й формувати нову, більш гнучку модель роботи як для управлінського, так і для виробничого персоналу.

Згідно звіту компанії Aon щодо визначення готовності менеджменту великих виробництв адаптуватись до змін зайнятості у новому, цифровізованому й роботизованому світі, до пандемії COVID19 чисельність роботодавців, готових поєднувати гібридні форми зайнятості коливалась в межах 12-13%, то після пандемії 43% вже застосовують гібридні формати, а понад 50% – пристосувались до залучення віртуальних команд у робочі процеси. У подальшому очікується, що гнучкі форми зайнятості охоплюватимуть понад 80% промислових виробництв по всьому світу [1]. Вже сьогодні віддалена робота використовується в промисловості для найму цифрових інженерів, та IT-фахівців, що можуть виконувати завдання з проектування, розробки програмного забезпечення, аналізу даних, управління процесами, здійснювати віддалене управління обладнанням із застосуванням датчиків IoT, технологій штучного інтелекту, інших систем автоматизації через цифрові платформи; гнучкі графіки роботи стають доступні для працівників зі змінним навантаженням та для реагування на пікові навантаження виробничих процесів, так само як і

часткова зайнятість застосовується для залучення вузькопрофільних спеціалістів, що є доступними або можуть працювати лише обмежений час (табл. 1).

Таблиця 1

Застосування гнучких форм зайнятості в промисловості

<i>Вид</i>	<i>Характеристика</i>	<i>Застосування у промисловості</i>
Віддалена робота	Можливість виконання робочих завдань без присутності на виробництві	Сприяє збереженню й підвищенню продуктивності, дозволяє залучати IT-фахівців для розробки ПЗ, аналізу даних, оптимізації управління процесами, налаштування IoT-датчиків та технологій III
Гнучкі графіки	Варіювання годин початку і закінчення робочого дня (зміни)	Можливість гнучко балансувати години продуктивності та зайнятості, застосовується для працівників зі змінним навантаженням для подолання періодів пікових навантажень
Часткова зайнятість	Скорочення кількості робочих годин в день або тиждень	Зменшення витрат на оплату праці, залучення фахівців із вищим рівнем кваліфікації, вузькопрофільних фахівців як реакція на пікові навантаження попиту
Проектна робота	Працевлаштування для виконання проєктів з чітко визначеними кінцевими цілями	Досягнення нових рівнів гнучкості у виконанні завдань, обмежених у часі та ресурсах, розширює можливості інноваційного розвитку, підвищення ефективності інвестування
Тимчасова зайнятість	Найм для виконання обмежених у часі завдань	Допомагає залучати кваліфікованих та високооплачуваних фахівців на деякий час, для консультацій, допомоги у прийнятті рішень, заміщення тимчасово непрацездатних працівників
Фріланс	Виконання роботи або окремих завдань на договірній основі	Відкриває доступ до широкого переліку кваліфікованих фахівців з різних галузей, що можуть бути тимчасово залучені для виконання спеціалізованих завдань
Гіг-економіка	Короткостроковий найм	Найм для виконання допоміжних робіт та обслуговування, ремонту, налаштування операцій та процесів

Джерело: складено автором за [2; 3]

Проектна робота є менш поширеною для зовнішнього найму, але в промисловості частіше зустрічається утворення проєктних команд для реалізації інноваційних завдань, наприклад, проєктів цифрових трансформацій, розробки нової продукції, оптимізації технологічного циклу, або ж залучення зовнішніх консультантів для роботи над

спеціалізованими завданнями. Формат тимчасової зайнятості прийнятний для виконання короткострокових задач або для заміщення працівників у період тимчасової відсутності чи для подолання пікових навантажень через сезонне зростання попиту.

Застосування фрілансу й гіг-економіки зустрічаються не часто, однак і ці гнучкі форми зайнятості поступово проникають у сферу промисловості. Типовими прикладами залучення фрілансерів є потреба у виконанні спеціалізованих завдань (розробка інженерних креслень, професійній консультації з питань налаштування технологічних процесів, маркетингові дослідження), що не вимагають безпосередньої присутності на підприємстві. цифрові платформи гіг-економіки дозволяють наймати працівників для ремонту обладнання, налаштування виробничих ліній або логістичних операцій, інших допоміжних функцій.

Висновки. У підсумку, гнучкі форми зайнятості спонукають зміни та еволюцію управлінських систем різних рівнів, що також вимагають розширення переліку знань, компетенцій, м'яких навичок працівників, перегляду освітніх програм і методів підготовки, зокрема, управлінського профілю. Одночасне підвищення вимог до рівня кваліфікації працівників змушує освітні установи до адаптації, зміни усталених парадигм педагогічної і навчальної практики, пошуку нових форм набуття практичного досвіду й реалізації індивідуальних освітніх траєкторій, що здатні сформувати мультипрофільних конкурентоспроможних фахівців. Гібридні форми зайнятості також впливають і на процеси навчання та працевлаштування, дозволяючи інженерам брати участь у реальних проєктах в реальних умовах віддалено, в тому числі за участі провідних міжнародних фахівців, покращувати цифрові навички, зменшувати витрати на навчальні матеріали та інфраструктуру.

Перелік використаних джерел

1. The Future of Flexible Work in Manufacturing. Workforce Priorities for a Hybrid World. Aon. URL: <https://www.manufacturersalliance.org/>
2. Flexible forms of employment in the metal, engineering and technology-based industries. CEEMET Summary of a country-by-country overview of 2011 on the evolution of labour arrangements and flexible forms of employment for metal, engineering and technology-based (MET) industries. 2012. 8 p.
3. Гук Л.П., Біліченко С.П. Гнучкі форми зайнятості та мобільність робочої сили в умовах економічної нестабільності. *Наукові праці МАУП*. 2022. № 2(65). С. 5-12.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-81>

**MODERNIZATION OF A PNEUMATIC TRAINING STAND
FOR THE PREPARATION OF ENGINEERS IN THE FIELD
OF AUTOMATION AND MECHATRONICS**

**ВІД ТЕОРІЇ ДО ПРАКТИКИ, МОДЕРНІЗАЦІЯ
ПНЕВМАТИЧНОГО СТЕНДУ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ІНЖЕНЕРІВ
В ГАЛУЗІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА МЕХАТРОНІКИ**

Netesanniy A.P.,

*Lecturer, Higher Vocational School № 7
Kremenchuk Poltava Region,
Kremenchuk, Ukraine*

Нетесанний А.П.,

*викладач, Вище професійне училище
№ 7 м. Кременчук Полтавської обл.,
м. Кременчук, Україна*

Zhosan V.O.,

*Lecturer, Higher Vocational School № 7
Kremenchuk Poltava Region,
Kremenchuk, Ukraine*

Жосан В.О.,

*викладач, Вище професійне училище
№ 7 м. Кременчук Полтавської обл.,
м. Кременчук, Україна*

Vorona I.S.,

*Student (group OV-24-FMB),
Higher Vocational School № 7
of Kremenchuk, Poltava Region,
Kremenchuk, Ukraine*

Ворона І.С.,

*здобувач освіти гр. ОВ-24-ФМБ
Вище професійне училище № 7
м. Кременчук Полтавської обл.,
м. Кременчук, Україна*

Hladyr M.M.,

*Student (group ME-24-FMB),
Higher Vocational School № 7
of Kremenchuk, Poltava Region,
Kremenchuk, Ukraine*

Гладир М.М.,

*здобувач освіти гр. МЕ-24-ФМБ
Вище професійне училище № 7
м. Кременчук Полтавської обл.,
м. Кременчук, Україна*

Сучасна промисловість, вимагає від інженерів не лише глибоких теоретичних знань, але й високого рівня практичних навичок в галузі автоматизації та мехатроніки. Застаріле навчальне обладнання у закладах фахової передвищої та вищої освіти обмежує можливості здобувачів освіти отримувати необхідний практичний досвід, що створює розрив між теорією та практикою.

Рішенням даної проблеми в нашому навчальному закладі стала модернізація існуючого пневматичного стенду шляхом встановлення логічного контролера Siemens S1200, що надає можливості створення

основи для проектування автоматизованих та мехатронних систем в рамках навчального процесу.

Вибір даного промислового логічного контролера обґрунтовано тим, що Siemens S1200 є найрозповсюдженішою моделлю, що використовується в промисловості.

Основні етапами інтеграції контролера полягали в: розробці схеми принципової підключення контролера до пневматичного стенду (рис. 1), створення інтерфейсу задання вхідних та сигналізації вихідних сигналів. Особливість інтерфейсу полягає в тому, що окрім фізичних роз'ємів вставлені кнопки імітації вхідні (рис. 2) та LED лампи імітації вихідних (рис. 3) сигналів. Дана конфігурація дозволяє здобувачам освіти відпрацювати програму не підключаючись при цьому до механізмів системи, оцінити правильність роботи програми без ризику для обладнання. Після чого, за допомогою кабелів підключити фізичне обладнання (датчики, актуатори) приклад зібраної мехатрони системи (рис. 3).

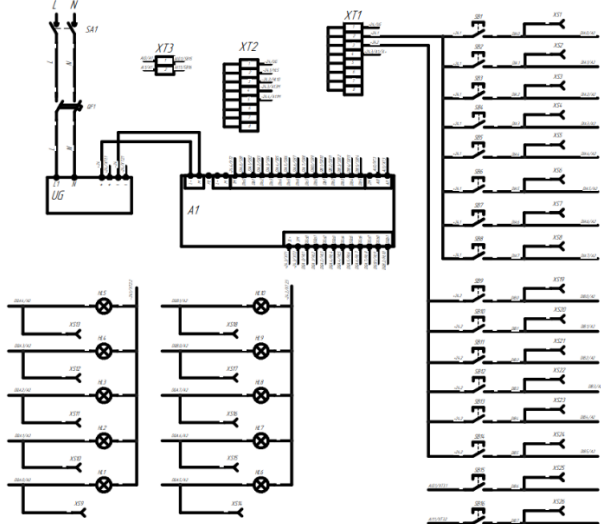


Рис. 1. Схема електрична принципова підключення контролера Siemens S1200 до пневматичного стенду



Рис. 2. Інтерфейс вхідних та вихідних сигналів

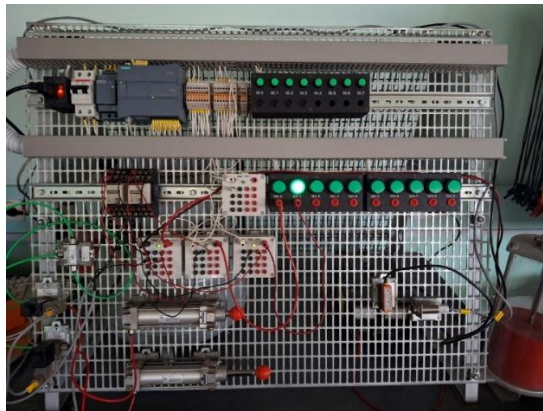


Рис. 3. Приклад зібраної пневмосистеми на навчальному стенді

Наступним етапом є розробка навчально-методичних матеріалів, інструкції лабораторних робіт. Результатом створення даного стенду є розширені можливості навчання: можливість освоїти програмування промислових логічних контролерів на практичних прикладах, можливість реалізації складних алгоритмів управління, можливість проектування автоматизованих та мехатронних систем, підготовка студентів до реальних умов сучасної промисловості. Важливим аспектом в навчанні є мотивація та зацікавленість здобувачів освіти,

адже робота на сучасному обладнанні підвищує інтерес до навчання, сприяє творчому підходу та інноваційному мисленню.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-82>

**A MULTI-LEVEL SYSTEM OF ENGAGEMENT OF STUDENTS
IN SCIENTIFIC ACTIVITIES AS A FORM
OF EDTECH TECHNOLOGIES**

**БАГАТОРІВНЕВА СИСТЕМА ЗАЛУЧЕННЯ СТУДЕНТІВ
У НАУКОВУ ДІЯЛЬНІСТЬ ЯК ФОРМА EDTECH ТЕХНОЛОГІЙ**

Pashynska O.G.,

*DSc (Engineering), Senior Researcher,
LLC “Technical university
“Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine,
Leading Scientist, Donetsk Institute for
Physics and Engineering named
after O.O. Galkin of the National
Academy of Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine*

Пашинська О.Г.,

*д.т.н., старший науковий
співробітник, ТОВ «Технічний
університет «Метінвест
політехніка», м. Запоріжжя,
Україна, провідний науковий
співробітник Донецький фізико-
технічний інститут імені
О.О. Галкіна Національної академії
наук України, м. Київ, Україна*

Grudkina N.S.,

*DSc (Engineering), Associate Professor,
LLC “Technical university
“Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Грудкина Н.С.,

*д.т.н., доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Pashynskiy V.V.,

*DSc (Engineering), Associate Professor,
LLC “Technical university
“Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Пашинський В.В.,

*д.т.н., доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Boyko I.O.,

*PhD (Engineering),
Associate Professor, LLC “Technical
university “Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Бойко І.О.,

*к.т.н., доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Система освіти 21 століття часто змінюється, на що впливають такі чинники: збільшення доступного інформаційного поля, технологічний прогрес, розвиток економіки, яка потребує кваліфікованих кадрів. Тому виникає питання: де взяти кваліфікованих людей? Зараз ми знаходимось при зміні системи навчання, коли проходить навчання не тільки в молодому віці, але в середньому і навіть похилому віці. На практиці це

означає, що ми переходимо до ідеї безперервного навчання. Серед 2752 осіб, опитаних Pew Research, продовжували навчатися люди у віці від 30 до 49 років – 76 відсотків. Цей рівень підтримувався і серед опитаних людей віком 50–64 років – 72 відсотки, тоді як 62 відсотки людей, старших за 65 років, продовжували навчатися. Тобто зараз люди вчатьсь все життя! А це означає, що ми маємо базу для залучення наших дорослих студентів до наукової діяльності. Але людина, котра вже має освіту не дуже заохочується перенавчанням. То як зробити навчання ефективним? Відповідь: залучати студентів до наукової роботи, бо саме наука навчає вчитися весь період життя. Наука стала безпосередньою продуктивною силою, вона вийшла з академічних аудиторій. Науковий підхід розвиває пошукові здібності, творче мислення, формує ініціативних та кваліфікованих фахівців. Сьогодні в Nestlé працює більше вчених, ніж у швейцарській академії, а в General Electric працює більше вчених, ніж у будь-якому іншому університеті Сполучених Штатів.

Нормативна-правова база наших рішень знаходиться в межах прийнятої у 2022 року «Стратегії розвитку вищої освіти в Україні на 2022-2032 роки». Цей документ, орієнтований на період входження України до Європейського Союзу, є вкрай актуальним і важливим. Цілі та завдання Стратегії є детальною дорожньою картою для відбудови та продовження реформування системи вищої освіти у воєнний та в післявоєнний період. Виконання завдань, визначених Стратегією, дозволить зменшити деструктивні наслідки, спричинені повномасштабним вторгненням російської федерації на територію незалежної України.

Інструментом для досягнення поставлених цілей може бути Educational Technologies (EdTech). Educational Technologies – це область, що включає використання технологій в освітньому процесі з метою поліпшення оптимізації навчання і освітнього досвіду. Загалом, застосовують як синонім онлайн-освіти, вона охоплює інноваційні інструменти, платформи, додатки та ресурси, які застосовуються в освіті. Тобто саме науковий підхід втілений використанням інструментів EdTech дозволяє використовувати, підхопити, втілювати та розвивати новітні ідеї, технології, підходи та допомагає реалізувати в життя тренди EdTech освіти.

У Стратегії розвитку вищої освіти в Україні виділяють такі тенденції в розвитку сучасної освіти: гуманізація, націоналізація, відкритість, науковий підхід, аналіз і осмислення, співробітництво, творча сфера, перехід до самореалізації і самонавчання. Їх можна втілювати у університеті МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА за допомогою наукової діяльності, яка допоможе використовувати:

- 1) Індивідуальне навчання.
- 2) Корпоративне навчання.

- 3) Ефективність і економічність навчання.
- 4) Відстеження засвоєності матеріалу.
- 5) Утворення залучення, так як не всі люди здатні вчитися в одному темпі особливо при різних умовах.
- 6) Доповнену і віртуальну реальність.
- 7) Інтерактивне навчання.
- 8) Навчання маленькими порціями.
- 9) Професійні товариства, як додаткові можливості для вдосконалення.
- 10) Використання штучного інтелекту.

11) Іммерсивність. Іммерсивність – це новітній тренд освіти, якій дуже складно в умовах України втілити у навчання. Але іммерсивні технології сприяють максимальному залученню бо дають можливість повністю контролювати та змінювати сценарій подій. Адже за допомогою іммерсивних технологій можна створити інклюзивне навчальне середовище з урахуванням потреб та можливостей кожного. Іммерсивності можна легко досягти у випадку, коли студент займається наукою.

Тому залучення студентів до наукової роботи у вищих навчальних закладах є важливою та актуальною задачею, що постає у процесі підготовки спеціалістів та особливо магістрів. Науково-дослідна робота студентів є важливою складовою якісної підготовки спеціалістів. Форми і методи залучення студентів до наукової творчості можуть бути різними:

1. Введення дисципліни науково-дослідницька робота студентів «НДРС». Залучення студентів до науково-дослідної роботи можна здійснювати у студентських групах у процесі вивчення дисципліни, орієнтованої на наукові дослідження.

2. Створення навчально-наукових структур для позалекційного навчання і активне залучення студентів до гурткової он-лайн роботи науково-творчого спрямування.

3. Заслуховування та обговорення результатів наукових досліджень студентів на кафедральних засіданнях та семінарах.

4. Виконання завдань з науково-творчою складовою у процесі вивчення профільних дисциплін для опанування основ ведення наукових досліджень у процесі вивчення цих дисциплін.

5. Залучення студентів до участі в олімпіадах та конкурсах студентських наукових робіт, грантової системи, конференціях, семінарах, симпозіумах.

6. Заходи для обговорення та висвітлення досягнень студентів в засобах масової інформації з метою популяризації науково-дослідницької роботи у студентському середовищі.

Використання науки в навчанні є важливим аспектом для студентів, оскільки вона може допомогти їм стати успішнішими в навчанні та

розвинути позитивне ставлення до навчання. Коли студенти розуміють, як їхній мозок обробляє інформацію, вони можуть обирати стратегії навчання, які допомагають їм навчатися ефективніше та результативніше.

Перелік використаних джерел

1. Zhang K. Enhancing Learning Efficiency: Strategies for High School and College Students. *Journal of Education, Humanities and Social Sciences*. 2024. Vol. 27. P.501-512.

2. Федорова Н. Є. Синергетичний вплив науки на суспільний розвиток та його соціально-економічні ефекти. *Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія: Міжнародні економічні відносини та світове господарство*. 2018. Вип. 18. С. 91-96.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-83>

COMBINATION TRADITIONAL AND INNOVATIVE FOREIGN LANGUAGE TEACHING METHODS

КОМБІНАЦІЯ ТРАДИЦІЙНИХ ТА ІННОВАЦІЙНИХ МЕТОДИК ВИВЧЕННЯ ІНОЗЕМНИХ МОВ

Ragulina N.V.,

*PhD (Economics),
Head of the Department,
LLC “Technical university
“Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Рагуліна Н.В.,

*к.е.н., завідувач кафедри,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Varekh N.V.,

*PhD (Social Communications),
Associate Professor, LLC “Technical
university “Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Варех Н.В.,

*к.н. із соц.ком., доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Головною метою навчання іноземної мови є розвиток у студентів комунікативної компетенції, яка дає вміння використовувати іноземну мову як засіб спілкування у всіх сферах життя. Відповідно, роль іноземної мови у підготовці студентів, у яких курс іноземної мови є професійно-орієнтованого характеру, значно зростає. Завдання

викладача – створити практичну умову для кожного студента для оволодіння іноземною мовою та обрати відповідну методика, що дозволяє кожному з них проявити свою активність і творчість. Перед вищою освітою стоїть завдання не тільки модернізації змісту навчальних курсів, а й запровадження інноваційних технологій для формування іншомовної комунікативної компетентності майбутніх фахівців.

Є кілька шляхів досягнення мети іноземної мовної компетенції і викладачі повинні знати про низку методик, щоб знайти найбільш підходящу, яка відповідає потребам і обставинам студента, а також цілям курсу в цілому. Кожен метод базується на певному погляді на вивчення мови і, зазвичай, рекомендує використовувати певний набір технік і матеріалів, які, можливо, доведеться реалізувати у фіксованій послідовності.

Традиційні методи навчання, включаючи тематичні дослідження, групові вікторини, лекції та, останнім часом, спільне викладання-навчання, домашні завдання, комп'ютерні програми тощо, дозволяють студентам брати участь у лекції, надаючи їм можливість вибрати власний процес навчання.

Також, одним із традиційних методів є метод граматичного перекладу. Це походить від традиційного підходу до викладання латинської та грецької мов, який був особливо впливовим у позаминулому столітті. Він заснований на ретельному аналізі письмової мови, на якій виконуються вправи з перекладу, розуміння прочитаного та письмове наслідування текстів. Навчання, в основному, передбачає використання граматичних правил і запам'ятовування великих обсягів лексики, пов'язаної з текстом, які вибираються більше через їх зміст, ніж через інтерес або рівень лінгвістичної складності. Також, увага приділяється активності слухання або говоріння. Цей метод був домінуючим у викладанні іноземної мови.

Аудіо-лінгвальний метод походить від інтенсивного навчання розмовній мові, який призводить до досягнення високого рівня навичок слухання та мовлення відносно за короткий проміжок часу. Акцент робиться на побутовій розмовній мові, особлива увага приділяється природній вимові: структурним моделям у діалозі про побутові ситуації, вони імітуються і муштруються (спочатку в хоровому мовленні, потім індивідуально), доки відповіді студента не стануть автоматичними. Особлива увага приділяється ділянкам структурного контрасту між першою та другою мовами. Є невелике обговорення граматичних правил. Мовну роботу спочатку чують, потім практикують усно, перш ніж побачити і використати у письмовій формі. Метод може прищепити

значну вільність розмови студентів та широко використовувався, особливо в 1950-1960-х роках. Його залежність від тренувань робить його менш популярним сьогодні, особливо серед студентів, які бажають ширшого спектру мовного досвіду та які відчувають потребу у більш творчій роботі мовлення [1].

Прямий метод, також відомий як природний метод, заснований на активному залученні студента до говоріння та аудіювання іноземної мови в реалістичні побутові ситуації. Рідна мова студента не використовується, студенти заохочуються думати іноземною мовою, а не перекладати на неї чи з неї. Велика увага приділяється хорошій вимові. Прямий метод продовжує привертати інтерес і ентузіазм, але він не є простим підходом до використання в аудиторії. У штучному середовищі досить складно створювати природні навчальні ситуації та надати кожному достатньо практики. Таким чином, розвинулося кілька варіантів методу. Зокрема, викладачі часто допускають певний ступінь пояснення рідною мовою в тому числі – граматичних тверджень.

До альтернативних методів навчання відноситься метод повних фізичних реакцій, метод навіювання, драматично-педагогічний метод, «тихий» та груповий метод. Метод навіювання вивчення іноземної мови будується на вибіркового лексичному матеріалі і, зазвичай, використовується в базовій лексиці.

Основна ідея драматично-педагогічного методу полягає в тому, що викладачі іноземної мови можуть багато чого запозичити для своєї професійної діяльності з мистецтва та від акторів.

Метод повної фізичної реакції засновано на узгодженій дії і мовленні, навчання мовлення за допомогою фізичної (рухової) діяльності. Назва походить від акценту на діях студентів, які вони повинні повторити, після прослуховування та читання нового матеріалу. Більш просунута мова вводиться шляхом побудови ланцюжків дій, використовуючи усну чи письмову мову команди.

Один із сучасних методів навчання іноземної мови – «тихий» метод. Головною перевагою «тихого» методу є вдосконалення навичок усного спілкування, подолання страху мовної точності та правильності викладання ідеї. Цей підхід має на меті створити середовище, яке зводить обсяг навчання до мінімуму та заохочує студентів до розвитку власних способів використання введених мовних елементів. На першому занятті викладач вводить невеликий лексичний набір з іноземної мови, щоб говорити на певну тематику, використовуючи кілька дієслів, прикметників, займенників тощо. Таким чином, поступово збільшуючи довжину речення. Мета полягає в тому, щоб допомогти студентам стати

самозабезпеченими – володіти реченнями та контролювати їх з гарною інтонацією та ритмом. Тобто, викладач говорить якомога менше, контролюючи та виправляючи студента. [2].

Основні принципи навчання «груповому методу» були запозичені зі сфери відносин з клієнтами та консультантами. Він зосереджений на поєднанні когнітивних та емоційних процесів навчання [3].

Сучасний етап характеризується ретельним відбором методики викладання іноземних мов. Особливий акцент сьогодні робиться на сучасні інформаційні технології та актуальні тенденції. Є такий собі відбір найефективніших методів, прийомів і засобів навчання під час підготовки спеціалістів з різних сфер діяльності. Найважливіша мета, на думку вчених, є формування вторинної мовної особистості. Студенти повинні сприймати нову мову для задоволення. Для цього важливо відокремити її від рідної мови, щоб уникнути помилок в сприйнятті. Під час відбору інноваційних методик, враховують такі критерії:

- створення зручної та сприятливої атмосфери для студента, сприяння природному інтересу та бажанню вивчити нову іноземну мову;
- залучення емоцій, почуттів, переживань у навчальному процесі, стимулювання письмової та творчої здібності;
- використання когнітивного підходу в навчальному процесі;
- заклик працювати з мовою самостійно на рівні емоційних і фізичних можливостей [4].

Протягом кількох десятиліть у системі освіти домінувало переважно навчання з авторитарним підходом. В результаті, студенти грали роль пасивних об'єктів, які нечасто проявляють ініціативу. Нині – це особистісно-орієнтована освіта, покликана змінити ситуацію та залучити до процесу студентів. Таким чином, провідні дидактики виділяють кілька основних шляхів організації навчального процесу з використанням проблемного методу. Він заснований на певних видах діяльності, що виходять на передній план:

- Монологічний;
- Діалогічний;
- Дослідження;
- Міркування;
- Евристичний;
- Програмний.

Найчастіше студентам надається новий текст, у якому є нова лексика та невідома інформація. Таким чином, монологічну діяльність вони покривають написанням оповідання чи твору, де висловлюють свої думки та наводять нові факти. Діалогічна діяльність передбачає

побудову діалогу між викладачем та студентами, які повинні відповісти на запитання. Для цього використовують інформацію з нового тексту. Наступний етап навчання – дослідницька діяльність. Студенти пишуть певну доповідь, в якій роблять певні висновки. Це дозволяє перевірити логіку та міркування, а також правильне розуміння тексту в цілому. Евристичні завдання – це особлива форма діяльності, в якій студенти самі повинні зробити певне відкриття, нове правило чи закон. Наприклад, вони можуть ідентифікувати конкретне вживання дієслова або граматичного часу в тексті. Таким шляхом, виконується розвиток лексичних навичок мовлення за допомогою спеціальних вправ. Їх можна розділити на кілька підвидів:

- Наслідувальні (висловлення думки за зразком).
- Підстановка (підбір відповідних тверджень у значенні).
- Трансформація (змінити репліки для передати іншу інформацію).
- Самостійне відтворення (учень самостійно виготовляє пропозиції до висловлювань).

Студенти поступово проходять різні етапи розвитку, вдосконалення власних навичок. Надалі їм потрібно вести діалог самостійно, використовуючи набуті навички. Система вправ допомагає досягти високого рівня говоріння. Їх необхідно застосовувати на різних етапах навчання, що дозволяє розвинути мовлення на належному рівні. На початку заняття необхідно поставити запитання для розминки: такі як:

- Як справи?
- Що ви робили вдома/на вихідних?
- Як плануєте провести вихідні/відпустку/канікули?
- Які теми ви вивчали до цього?

Подібна ситуація відбувається і під час вивчення нового матеріалу. Викладач повинен регулярно задавати запитання щодо вивченої теми, пропонуючи кожному учаснику аудиторії дати свою відповідь. Завдяки цьому вирішуються основні проблеми:

- засвоєння нової лексики;
- розвиток мовних навичок.

Цьому сприяє адекватне спілкування, виділяючи новизну, функціональність і контекстуальність, які дозволяють формувати мовлення і мислення. На думку багатьох експертів, розвиток діалогічного та монологічного мовлення має бути спонтанним. Зробити це можна, запропонувавши відповісти на запитання або поговорити про різні теми без підготовки.

В даний час широко використовуються інтерактивні навчальні завдання і вправи. Вони демонструють високу ефективність, в залежності від вікової групи. До таких вправ зазвичай відносяться:

- Мовленнєва розминка.
- Групова робота в командах (круглі столи, дискусії, міні-конференції тощо).
- Різні ігри.
- Використання аудіо та відео матеріалів.

Розминка передбачає певний діалог між викладачем і студентами, дозволяючи налагодити комунікацію з аудиторією та налаштуватися на заняття. Це також корисно для оволодіння мовними навичками та повторення лексики.

Імітаційні ігри також вдалий спосіб для вивчення іноземної мови. Кожен студент може мати роль, яку він повинен грати. Завдяки таким іграм вирішують кілька проблем:

- Забезпечена новизна комунікативної ситуації.
- Поява можливостей використовувати новий і старий лексичний запас.
- Розвиток творчих здібностей.
- Звільнення від страху перед розмовою на іноземній мові.

Сучасні процеси орієнтовані на збереження фундаментальної освіти. В даному випадку при вивченні іноземних мов, можна простежити проблему зміцнення практичної складової. У результаті, у традиційній системі формування знань і вмінь, відбувається внесення деяких змін. Освоєння нових навичок відпрацьовується таким чином, що студенти намагаються різними способами застосувати свої знання на практиці. Характерними ознаками компетенцій є:

- Універсальність і можливість використання в повсякденному житті.
- Міждисциплінарність.
- Формування основи для подальшого розвитку думки, рефлексії та самооцінки [5].

Можна зробити висновок, що сформовані компетентності – це цінний актив у процесі навчання. У майбутньому, студент має можливість розвивати навички та аналізувати нову інформацію. Для вирішення проблеми розвитку компетентностей студентів потрібно використовувати різноманітні методики, тобто комбінацію традиційних та інноваційних методів. Ключовим моментом модернізації освіти – є впровадження сучасних інформаційно-комунікаційних технологій. Сьогодні, вони не лише допомагають у навчанні, а й стають засобом

спілкування для мільйонів людей у всьому світі. Кожен стикається з інноваційними технологіями в освіті, професійних та особистих стосунках, тому в процесі навчання на це слід звернути особливу увагу. Комп'ютер дозволяє легко змоделювати ситуацію, має доступ до різноманітних навчальних матеріалів, вправ та мультимедіа. Через це відбувається утворення системного мислення. При вивченні іноземної мови студенти вміють використовувати навчальні програми та виконувати різні вправи. Викладачі, в свою чергу, краще контролюють навчання. Багато навчальних закладів виходять на новий рівень використання мультимедіа для надсилання та отримання інформації. Використання комп'ютерів та інших пристроїв визначає успішність всього навчального процесу. Підручники та навчальні матеріали доступні в цифровому форматі. Інтернет відкриває можливості для спілкування з носіями мови практично будь-де по всьому світу.

Отже, визначено, що традиційні методики спрямовані на передачу та підтримку знань, навичок і здібностей, але не демонструють належної продуктивності. Сучасна мовна освіта, в свою чергу, спрямована на формування полікультурної ідентичності з навичками самоаналізу та систематизації нових знань. Інформаційні і комп'ютерні технології можуть підвищити ефективність і створити умови для самостійного навчання. Інноваційні методи є невід'ємною частиною модернізації всієї системи освіти. Викладачі мають ознайомитися з найбільш прогресивними підходами і згодом комбінувати їх з традиційними та використовувати в роботі.

Перелік використаних джерел

1. Richards J. C., Rodgers T. S. *Approaches and Methods in Language Teaching*. Cambridge UK: Cambridge University Press, 2001.
2. Hodovanets N., Lehan V. Alternative methods of teaching foreign languages. *Сучасні дослідження з іноземної філології*, № 2(26), 2024. URL: <http://philol-zbirnyk.uzhnu.uz.ua/index.php/philol/article/view/429/609>
3. Zapotichna R.A., Romanyuk O.M. Alternative methods of teaching foreign languages at higher education establishments with specific training conditions. *Закарпатські філологічні студії*, вип. 13, т.1, 2020. С. 177-180.
4. Abdyhalykova M. Innovative Methods of Foreign Languages Teaching. *Indian Journal of Science and Technology*, Vol. 9 (22), 2016. P. 1–7.
5. Заболотна О. Інноваційні технології викладання іноземних мов в умовах інтернаціоналізації освітнього простору. *Порівняльно-педагогічні студії*, № 4(22), 2014. С. 39–51.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-84>

**WOMAN ROLE IN MODERN ENGINEERING EDUCATION
AND HER SELF-FULFILLMENT IN TECHNICAL POSITIONS:
PSYCHOLOGICAL ASPECT**

**РОЛЬ ЖІНКИ У СУЧАСНІЙ ІНЖЕНЕРНІЙ ОСВІТІ
ТА ЇЇ САМОРЕАЛІЗАЦІЯ НА ТЕХНІЧНИХ ПОСАДАХ:
ПСИХОЛОГІЧНИЙ АСПЕКТ**

Rekova N.Yu.,

*DSc (Economics), Professor,
LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Рекова Н.Ю.,

*д.е.н., професор,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Chanhli K.M.,

*Student (group ПФ 4ПП 3В),
State higher educational institution
"Donbas State Pedagogical
University",
Sloviansk, Ukraine*

Чанглі К.М.,

*студентка гр. ПФ 4ПП 3В,
Державний вищий навчальний заклад
«Донбаський державний
педагогічний університет»,
м. Слов'янськ, Україна*

Сучасні тенденції розвитку особистості жінки в суспільстві охоплюють кілька важливих аспектів, які розглядаються в наукових дослідженнях, зокрема в галузях психології, соціології та філософії.

Проаналізовані джерела дозволяють глибше зрозуміти процеси індивідуалізації та пошуку особистісної ідентичності жінок в контексті сучасного українського суспільства. Вони відображають вплив соціальних, культурних і глобальних змін на розвиток особистості, а також важливість індивідуальних цінностей і рефлексії у цьому процесі.

Українські вчені активно досліджують питання гендерної рівності та зміни традиційних гендерних ролей у сучасному суспільстві. Ці зміни суттєво впливають на формування особистості, стосунків та соціальної ідентичності. Нижче наведені думки українських та зарубіжних науковців та конкретні посилання на літературу, яка висвітлює ці питання.

М. Маєрчик, українська дослідниця гендерних студій, вказує на те, що перехід до рівноправності змінює сприйняття традиційних гендерних ролей, і це впливає на формування соціальної ідентичності особистості

[0]. Вона зазначає, що сучасне суспільство прагне подолати стереотипи щодо гендерних ролей, що дозволяє людям більше фокусуватися на індивідуальних здібностях і прагненнях, а не на очікуваннях, заснованих на статі.

Л. Литвиненко, соціолог, досліджує процес подолання гендерних стереотипів у сучасному українському суспільстві [2]. Вона зазначає, що рух до рівноправності сприяє зміні традиційних уявлень про гендерні ролі, особливо у сфері виховання дітей та побутових обов'язків. Це впливає на розвиток особистості, оскільки зростає можливість для чоловіків і жінок вільно обирати свої соціальні та професійні ролі без обмежень, нав'язаних суспільством.

О. Кісь, відома українська антропологиня та історикиня, аналізує зміни у гендерних відносинах у пострадянському просторі [3]. Вона зазначає, що рівноправність у гендерних ролях дозволяє особистості розвивати свою індивідуальність у нових умовах, оскільки традиційні рамки поступово слабшають. Кісь також підкреслює важливість рівного доступу до освіти і ринку праці для обох статей.

Бачимо, що вчені наголошують на тому, що українське суспільство поступово рухається до рівноправності, що впливає на розвиток особистості та стосунків. Вони визнають, що зміна традиційних гендерних ролей дає більше можливостей для самореалізації, як для жінок, так і для чоловіків, що сприяє побудові партнерських відносин. Проте О. Кісь і М. Маєрчик, зосереджуються на подоланні гендерних стереотипів та розширенні можливостей для жінок у суспільстві.

Шеріл Сандберг, операційна директорка Facebook, у книзі "Lean In: Women, Work, and the Will to Lead" наголошує на важливості рівноправності у сфері професійної самореалізації [4]. Вона підкреслює, що злам стереотипів щодо гендерних ролей дозволяє жінкам займати керівні позиції та розвивати свої професійні амбіції на рівних із чоловіками. Це змінює спосіб, у який жінки формують свою ідентичність, впливаючи також на стосунки всередині сім'ї та на робочому місці.

Раїса Беназареф (Раєвін Коннелл), соціологиня, яка вивчає маскуліність і гендерні ролі, стверджує, що поняття "гегемонної маскуліності" поступово змінюється в бік більш інклюзивної форми маскуліності, що включає елементи співпраці, емоційної чутливості та рівноправності [5]. Це дозволяє чоловікам реалізовувати себе не лише через традиційно маскуліні ролі, а й через партнерські відносини, де важливою є рівність і спільна відповідальність.

Французька філософія Симона де Бовуар у своїй знаковій праці “The Second Sex” стверджувала, що жінка не народжується жінкою, а стає нею через соціальні очікування та гендерні ролі [6]. Її роботи заклали основи для феміністичної теорії, яка показує, як зміна гендерних ролей дозволяє жінкам і чоловікам розвивати власну особистість поза традиційними рамками.

Усі зазначені зарубіжні науковці акцентують на тому, що гендерні ролі є соціальними конструкціями, які можуть змінюватися відповідно до розвитку суспільства. Вони сходяться на думці, що переосмислення та трансформація традиційних гендерних ролей веде до рівноправності, сприяє самореалізації особистості та позитивно впливає на стосунки. Проте Симона де Бовуар більше зосереджується на деконструкції гендерних стереотипів та соціальних очікувань.

Таким чином, зарубіжні вчені підтримують думку про те, що суспільство поступово рухається до рівноправності, що змінює уявлення про традиційні гендерні ролі. Це відкриває нові можливості для розвитку особистості, формування стосунків та самореалізації як для чоловіків, так і для жінок.

Переосмислення гендерних ролей у металургійній промисловості – це важлива тенденція, яка стосується не лише рівності у сфері праці, але й розширення можливостей для жінок та підвищення уваги до питань інклюзії.

Металургійна промисловість традиційно вважалася “чоловічою” сферою через фізичну важкість праці та технічний характер роботи. Проте сучасні технології автоматизації та зміни в трудовому законодавстві сприяли залученню жінок до цієї галузі. Так, наприклад, у 2022 році глобальна компанія ArcelorMittal заявила, що збільшила кількість жінок на керівних посадах і в виробничих процесах завдяки новим ініціативам, спрямованим на гендерну рівність. Вони запустили спеціальні програми навчання для жінок-інженерів і фахівців технічних професій, щоб підвищити їхню участь у виробничих процесах [7].

Також слід зазначити, що багато металургійних компаній впроваджують програми, що спрямовані на підвищення інклюзивності та залучення жінок до різних етапів виробництва, включаючи ті, що раніше вважалися виключно чоловічими. Зростає кількість програм професійного навчання та перекваліфікації для жінок. Tata Steel, одна з найбільших металургійних компаній у світі, у 2021 році запустила ініціативу, спрямовану на збільшення кількості жінок у технічних та інженерних ролях. Вони організували спеціальні програми стажування

для жінок і планують збільшити кількість жінок у виробничих підрозділах до 25% до 2030 року [8].

Багато компаній у металургійній галузі працюють над тим, щоб збільшити частку жінок у керівництві. Це не тільки покращує репутацію компаній, але й сприяє створенню більш інклюзивного середовища для всіх працівників. Так, у 2023 році Nucor Corporation, одна з найбільших сталеливарних компаній у США, впровадила нову програму підтримки жінок-лідерів. Це включає тренінги з лідерства, менторські програми для жінок, що працюють у технічних відділах, та цільові заходи з підвищення рівня жіночого керівництва.

Для розширення участі жінок у металургійній промисловості важливо підтримувати технічну освіту та професійне навчання жінок. Уряди багатьох країн та міжнародні компанії працюють над створенням освітніх програм для залучення жінок до технічних дисциплін, таких як інженерія, металургія та механіка. Наприклад, програма Women in Engineering у Бразилії, створена за підтримки металургійної компанії Gerdau, надає стипендії та підтримку молодим жінкам, які хочуть працювати у сфері металургії та інженерії. Програма також включає стажування на виробництві та менторські сесії [9].

Таким чином, переосмислення гендерних ролей у металургійній промисловості відображається у кількох аспектах: залучення жінок до технічних та інженерних ролей, збільшення частки жінок у керівних посадах, підтримка гендерної рівності через освітні програми та ініціативи на виробництві.

Наступним елементом дослідження, якому хотілося б приділити увагу є визначення ролі самоприйняття у професійній самореалізації жінки.

Самоприйняття як основа для професійної впевненості. У галузі, де домінують технічні та інженерні спеціальності, жінки можуть стикатися із сумнівами щодо своїх компетенцій та професійних можливостей. Самоприйняття допомагає їм розвивати впевненість у своїх професійних знаннях та вміннях.

Металургійна галузь вимагає постійного оновлення знань, технічних навичок і адаптації до складних умов праці, що часто супроводжується високим рівнем стресу. Жінки, які мають високий рівень самоприйняття, демонструють вищу стійкість до стресових ситуацій і краще справляються з професійними викликами. Дослідження підтверджують, що самоприйняття сприяє розвитку емоційної стійкості, яка важлива для кар'єри в технічних галузях [10] (Fletcher & Shearer, 2007).

Компанія «Метінвест», одна з найбільших металургійних компаній в Україні, активно підтримує рівні можливості для самореалізації жінок у металургійній галузі. Принцип самоприйняття як чинник самореалізації жінки знаходить своє відображення в кількох ключових аспектах діяльності компанії:

В Болгарії питання рівності статей у металургії стає дедалі актуальнішим протягом останніх років, особливо завдяки зусиллям великих компаній, таких як Промет Стил та інших представників сектора. Проблеми, пов'язані з рівністю статей у цій індустрії, зазвичай пов'язані з низьким представництвом жінок на керівних і технічних посадах, а також зі стереотипами, що металургія – це "чоловіча" професія.

Все більше жінок займають технічні позиції у виробництві завдяки внутрішнім програмам менторства і навчання, які надають такі компанії, як Промет Стил. Вони пропонують можливості для розвитку жінок і заохочують їхню участь у проектному управлінні та стратегічному плануванні. Промислові компанії в Болгарії поступово впроваджують програми, спрямовані на забезпечення рівних можливостей між чоловіками і жінками. Це включає рівний доступ до навчання, кар'єрного зростання та заходів протидії дискримінації на робочому місці. Деякі компанії в металургійній галузі співпрацюють із місцевими та міжнародними організаціями, що сприяють гендерній рівності, і впроваджують програми соціальної відповідальності, які мають на меті покращити умови праці для жінок і забезпечити рівний доступ до професійних можливостей.

Одним із прикладів співпраці компаній металургійної галузі з міжнародними організаціями, що сприяють гендерній рівності, є ініціатива Women4Metals, яку підтримує компанія Aurubis Bulgaria. Ця ініціатива спрямована на залучення жінок до металургійного сектора та створення умов для їхнього професійного розвитку. У рамках ініціативи проводяться заходи для підвищення обізнаності щодо рівності можливостей, зокрема у співпраці з Німецькою торгово-промисловою палатою та місцевими громадами. Метою ініціативи є не тільки підвищення рівня залучення жінок до галузі, але й сприяння створенню умов для професійного зростання, співпраці та команди. На таких заходах жінки діляться своїми професійними досягненнями та отримують підтримку для розвитку лідерських якостей у виробничій сфері.

Промет Стил, одна з найбільших металургійних компаній у Болгарії, є частиною холдингу Метінвест і дотримується політики гендерної рівності, спрямованої на створення інклюзивного робочого середовища.

Основні аспекти цієї політики включають:

1. Рівні можливості для жінок і чоловіків.
2. Програми підтримки розвитку жінок.
3. Забезпечення рівних умов праці.
4. Забезпечення гендерної різноманітності в управлінні.
5. Підтримка сімейних зобов'язань.
6. Боротьба з гендерними стереотипами.

Таким чином, політика гендерної рівності в Промет Стил спрямована на створення рівних можливостей для жінок і чоловіків у всіх аспектах роботи компанії. Це охоплює не лише рівний доступ до посад і кар'єрного зростання, але й підтримку жінок у подоланні професійних бар'єрів та гендерних стереотипів. Завдяки цьому жінки в компанії мають можливість повноцінно реалізувати свій потенціал у металургійній галузі. Компанія "Метінвест" демонструє, як підтримка самоприйняття жінок через навчання, гендерну рівність та розвиток професійних можливостей допомагає жінкам успішно реалізовувати свій потенціал у металургійній галузі. Це сприяє їхній професійній та особистісній самореалізації, відкриваючи нові горизонти у кар'єрі та стосунках у робочому середовищі.

Перелік використаних джерел

1. Маєрчик М. Гендер і культура: історія, політика, практика. Київ: Видавництво «Дух і літера», 2018.
2. Литвиненко Л. В. Гендерні стереотипи та їх вплив на розвиток особистості в сучасному суспільстві. Соціологічний журнал, 2019.
3. Кісь О. Гендер і націоналізм: зміни у пострадянському суспільстві. Харків: Видавництво «Критика», 2019.
4. Sandberg, S. (2013). *Lean In: Women, Work, and the Will to Lead*. New York: Knopf.
5. Connell, R. W. (1995). *Masculinities*. Cambridge: Polity Press.
6. Beauvoir, S. (1949). *The Second Sex*. New York: Vintage Books.
7. Бойко О. В. *Психотерапія та самосвідомість: аспекти самодосконалення особистості*. – Український психологічний журнал, 2018.
8. Tata Steel Sustainability Report: <https://www.tatasteel.com/>
9. Gerdau Women in Engineering Program: <https://www2.gerdau.com/>
10. Fletcher, J., & Shearer, R. (2007). *Women's Self-Acceptance and Professional Success: The Role of Self-Esteem in Career Development*. *Social Psychology Quarterly*, 70(3), 187-204.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-85>

PECULIARITIES OF TEACHING PHRASAL VERBS

ОСОБЛИВОСТІ НАВЧАННЯ ФРАЗОВИМ ДІЄСЛОВАМ

Soloviova O.V.,

*PhD (Public Administration),
Associate Professor, LLC "Technical
University "Metinvest Polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Соловйова О.В.,

*к.н.держ. упр., доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

There are many reasons why phrasal verbs can be difficult to teach. From idiomatic meanings to the specific translation, there are many problems that must be overcome by both the teacher and the student. The English language has a huge number of phrasal verbs, and learning them all can seem a difficult task. Here are some of the reasons why phrasal verbs are difficult.

Phrasal verbs often do not have direct equivalents in other languages, making them difficult for learners to translate into the native language. It is easy to confuse several phrasal verbs because often the same verb changes the meaning depending on the participle. Also phrasal verbs often have multiple meanings. Several phrasal verbs have idiomatic meanings that cannot be deduced from the individual words.

Phrasal verbs are a fundamental component of the English language and are widely used in everyday speech as well as in literature, newspapers, magazines and online content.

Basic phrasal verbs should be introduced to elementary students. Using visual aids such as pictures, diagrams, videos, or gestures can be particularly helpful in explaining the meaning of phrasal verbs to elementary students.

Some groups of phrasal verbs can be introduced based on specific topics. Examples of topics for introducing phrasal verbs include emotions, work, travel, etc. This method helps students organize and classify verbs, making it easier to remember and use them correctly.

By encountering phrasal verbs in meaningful contexts, students are more likely to remember them and use them appropriately. Materials containing phrasal verbs used in context, such as dialogues, listening exercises and reading texts, are useful. Students should be encouraged to guess the meaning of each phrasal verb based on context or familiar words. Authentic materials such as video clips, songs, news articles, and podcasts that use phrasal verbs are also great options for providing context for higher-level learners.

A variety of different exercises should be used when teaching a set of phrasal verbs. Using different exercises provides the repetition needed to help students remember phrasal verbs. Teacher might start by asking students to try to guess the meaning of the phrasal verbs highlighted in the reading or dialogue; then to match these phrasal verbs with the definitions provided; and after that students can do an exercise to fill in the gaps in the sentences with the correct phrasal verb or particle.

It is essential that once students have been introduced to a set of phrasal verbs, they are given enough time to practice them in a variety of ways. This may include language tasks such as role-plays that simulate real-life situations in which phrasal verbs are commonly used, or conversational questions that use phrasal verbs. Writing practice can include creating simple sentences or writing a dialogue or paragraph that includes a given set of phrasal verbs. Practical tasks that are related to students' own experiences, interests, or goals are especially useful because they personalize the learning process.

In addition to the practice activities mentioned above, crosswords, word search and quizzes are great ways to practice and review phrasal verbs, bringing an element of fun to the classroom.

When students come across a new phrasal verb in class, it's not enough to just give a definition. Teacher should always model a few examples that demonstrate proper usage and explain grammar rules to students.

Teacher should use on-the-spot correction during written and speaking activities based on using phrasal verbs. This is especially important at lower levels. Common mistakes include separating an inseparable phrasal verb, confusing phrasal verbs that have the same main verb but different participles, and using a phrasal verb in the wrong context. To help students overcome these errors, teacher may note down mistakes that students make during the lesson or put any sentences containing mistakes on the board and then ask students to discuss each sentence in pairs and try to identify the mistakes.

To sum up, teaching phrasal verbs may be fun and engaging rather than unbearably challenging. It only takes the right approach and a bit of creativity.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-86>

THE IMPORTANCE OF STUDENTS' INDEPENDENT WORK WHEN LEARNING ENGLISH AT TECHNICAL UNIVERSITY

ВАЖЛИВІСТЬ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ ПРИ ВИВЧЕННІ АНГЛІЙСЬКОЇ МОВИ СТУДЕНТАМИ ТЕХНІЧНОГО ВНЗ

Khoroshailo O.S.,

*PhD (Pedagogy), Associate Professor,
LLC "Technical University
"Metinvest Polytechnica",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Хорошайло О.С.,

*к.пед.н., доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест Політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

In the contemporary era, English has become the dominant language utilized in scientific research and technical documentation. It is estimated that in excess of 80% of scientific literature, including articles and studies in disciplines such as engineering, mathematics, physics and IT, is published in English. It is imperative for technical specialists to possess fluency in English in order to remain abreast of the latest developments and technologies. Engineers and programmers are frequently confronted with technical documentation, design specifications, and standards that are solely accessible in English. English is also the language of international communication in professional forums and in projects with foreign partners, which makes it an indispensable component of a successful career. Students who are able to read and comprehend English-language scientific articles and patents are better equipped to apply advanced technologies and techniques to their professional tasks, thereby enhancing their competitiveness in the job market.

The capacity to work independently enables students to regulate their own pace of learning, which is of particular significance in the context of a technical university curriculum that is characterised by a high level of academic rigour. The temporal and material limitations of traditional classes (online and offline) can impede the ability to delve deeply into specific aspects of a language. For instance, independent reading of texts in English enables students to enhance their vocabulary and comprehend the structure and logic of the text, which is crucial for interpreting technical texts. The utilisation of podcasts, video lectures and online courses for the enhancement of listening comprehension enables students to cultivate the capacity to perceive spoken language in real-time, which is a prerequisite for effective collaboration with English-speaking professionals. Furthermore, the completion of practical tasks, such as essay writing and the translation of scientific articles, facilitates the development of academic writing skills and facilitates the assimilation of specialised vocabulary.

The curriculum of technical universities frequently demand that students demonstrate a high degree of self-organisation and the capacity to resolve

issues independently. This is also evident in the study of English. Students who engage in independent study develop a sense of discipline and responsibility with regard to their learning outcomes. This is exemplified by the ability to prioritise tasks, dedicating more time to intricate subjects such as technical grammar or particular terminology. Furthermore, independent work facilitates the development of the capacity for self-assessment and reflection, thereby enabling students to adapt their study plans in accordance with their progress. This is crucial for their prospective careers, in which self-organisation and time management will be pivotal skills when undertaking projects or solving intricate technical issues.

In the digital age, students have access to a variety of online resources that facilitate the acquisition of English language skills. For example, platforms such as Coursera, edX, and Prometheus provide free courses that encompass both general English and specialised technical vocabulary. Mobile applications such as Memrise and Babbel facilitate language acquisition through interactive exercises, which assist in comprehending new vocabulary and grammatical structures. Automated grammar-checking software, such as Grammarly, assists students in enhancing their writing skills by analysing errors and suggesting corrections. Additionally, there are specialised online dictionaries and databases, such as the Oxford Learner's Dictionary or Linguee, which provide detailed definitions of technical terms and examples of their usage in context. The aforementioned resources contribute to the development of both basic and specialised language skills.

One of the key aspects of successfully learning English is the proper organisation of the educational process. Several techniques can help students structure independent work. One effective method is the "spaced repetition" technique, which allows students to optimise the memorisation of new information by regularly returning to the studied material at certain intervals.

Furthermore, students may utilise the project method to create presentations or technical reports in English on subjects related to their prospective profession. Another technique is the "immersion method," which entails students engaging with the English language in a variety of everyday contexts, including watching films, reading news, and participating in online discussions on technical topics. This not only facilitates the enhancement of their linguistic abilities but also enables them to become immersed in an English-speaking professional environment, which is advantageous for their prospective careers.

Students who are actively engaged in independent work demonstrate superior outcomes not only in examinations but also in everyday professional tasks. The independent study of English facilitates the development of critical thinking, as students learn to analyse materials in English, draw conclusions, and propose solutions. Furthermore, it enhances their capacity to adapt to novel environments, whether an international internship or a position within a multinational enterprise.

PRIORITIES FOR IMPROVING THE OPERATIONAL EFFICIENCY OF MINING COMPANIES

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-87>

INTERACTIVE GENERAL PLAN AS A TOOL FOR IMPROVING THE OPERATIONAL EFFICIENCY OF A MINING OPERATION

ІНТЕРАКТИВНИЙ ГЕНЕРАЛЬНИЙ ПЛАН – ЯК ІНСТРУМЕНТ ПІДВИЩЕННЯ ОПЕРАЦІЙНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ГІРНИЧОГО ПІДПРИЄМСТВА

Bruil H.V.,

*PhD (Engineering),
Associate Professor, LLC "Technical
university "Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Бруї Г.В.,

*к.т.н., доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Kurychenko I.H.,

*Leading Surveyor, PJSC INGOK
METINVEST HOLDING LLC,
Kryvyi Rih, Ukraine*

Кириченко І.Г.,

*провідний маркшейдер,
ПрАТ ІНГЗК ТОВ МЕТІНВЕСТ
ХОЛДІНГ,
м. Кривий Ріг, Україна*

Сучасні гірничі підприємства стикаються з численними викликами, такими як зростання витрат на видобуток, екологічні вимоги та необхідність підвищення продуктивності. Інтерактивний електронний генеральний план (ЕГП) є одним з надсучасних інструментів управління, за допомогою якого можливо ефективно планувати та контролювати виробничі процеси на гірничому підприємстві.

Інтерактивний генеральний план може бути використаний для оптимізації видобутку корисних копалин, планування та контролю виробничих процесів, підвищення безпеки на підприємстві, поліпшення екологічної ситуації, збереження достовірної інформації про фактичний стан виробничих об'єктів промислового майданчика: трубопроводів різного призначення, колодязів, ліній електромереж та зв'язку, будівель та споруд, транспортних комунікацій, тощо. І це тільки невеликий перелік завдань, які вирішуються на його основі. Дана робота має на меті

дослідити етапи створення, впровадження та можливостей використання інтерактивного генерального плану як засобу підвищення операційної ефективності гірничого підприємства в умовах Інгулецького ГЗК.

Актуальність теми впровадження інтерактивного генерального плану зумовлена сучасними викликами в гірничій галузі: зростанням конкуренції, необхідністю підвищення продуктивності, зменшенням витрат і покращенням екологічних показників. Традиційні методи проектування (рис. 1, а) не завжди забезпечують швидку адаптацію до змінних умов, тому інтерактивні рішення (рис. 1, б) стають критично важливими для успішної діяльності підприємств і оперативного реагування на потреби виробництва.

Маркшейдерська служба відіграє ключову роль у створенні та впровадженні інтерактивного генерального плану. Вона забезпечує точні геодезичні дані, необхідні для моделювання та аналізу виробничих процесів. Завдяки використанню сучасних технологій, таких як комплекси БПЛА, 3D-сканери та геоінформаційні системи (ГІС), маркшейдери відображають реальний стан та просторове положення об'єктів інфраструктури: гірничі об'єкти, будівлі, споруди, обладнання, транспортні та інженерні мережі (в тому числі підземні) та інше. Це дозволяє оперативно корегувати плани, реагуючи на зміни в динамічних умовах роботи підприємства.

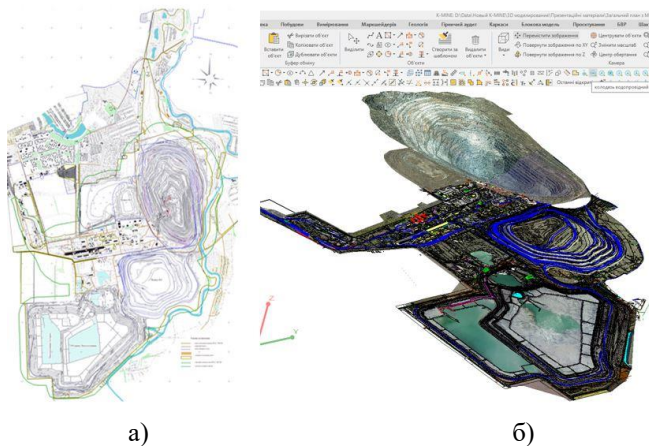


Рис. 1. Варіації генеральних планів:
а) генплан 2D; б) генплан 3D з ортофотопланом

Крім графічного відображення інфраструктури підприємства важливою інформативною складовою ЕГП є семантична інформація про об'єкти. Ця достовірна інформація дозволяє повністю відстежити всю історію експлуатації об'єкту, визначити його місцезнаходження на плані, виконати швидкий пошук об'єктів по заданим умовам, характеристику та параметри об'єкту, інформацію про ремонти, технічне обслуговування об'єкту, історію виконання робіт на об'єкті, паспорти, фото, акти, постанови, розпорядження та ін.).

Додавання інформації в ЕГП виконується з урахуванням розмежувань прав доступу. Поповнення графічних даних виконується маркшейдерською службою підприємства. Введення семантичних даних виконують всі основні підрозділи підприємства, які мають відповідний рівень доступу до бази даних (рис. 2).

Використання сучасної високопродуктивної комп'ютерної техніки дає можливість перевести роботу з електронними картами на якісно новий рівень. ГІС K-MINE дає можливість користувачам працювати не тільки з 2D картами, але і з 3D моделями. Для створення 3D моделей об'єктів ЕГП використовуються спеціальні засоби роботи з просторовими каркасними моделями.

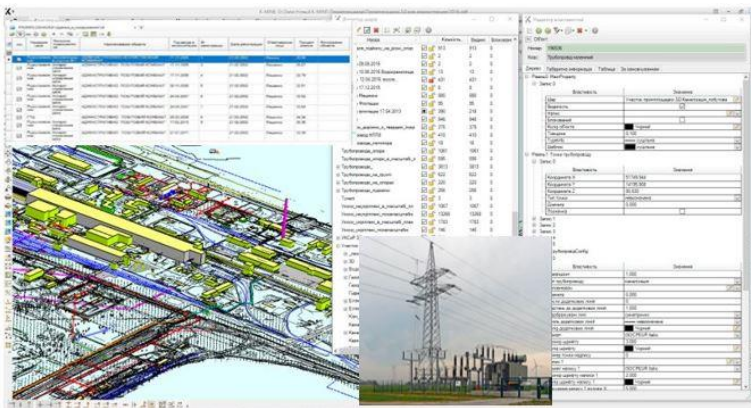


Рис. 2. Структурований топографічний план промайданчика з 3D об'єктами та семантичною інформацією

Аналіз впровадження ЕГП на базі ГІС K-MINE Ігулецького ГЗК вказує на можливість скорочення бюджетних коштів на проведення ремонтних та відновлювальних робіт для будівель та споруд, зниження

ризиків аварійних ситуацій, пов'язаних із неузгодженими діями інженерних служб, а також зниження витрат на відновлювальні роботи. Виконані в процесі дослідження розрахунки, вказують на:

– значне зниження аварійності у системах тепло-водопостачання та водовідведення (за рахунок автоматизованої розробки обґрунтованих програм точкових ремонтів ділянок мереж та обладнання, які мають найменший фактичний ресурс);

– зменшення втрат води (ефект досягається за рахунок комплексу заходів по зниженню тиску на насосних станціях другого підйому та в трубопроводах та зменшення кількості поривів та витоків);

– економію електроенергії (за рахунок використання інструментів розробки пусконаладжувальних заходів та оптимізації режимів роботи комунікаційних мереж).

Таким чином, інтерактивний генеральний план є потужним інструментом для підвищення операційної ефективності гірничого підприємства. Використання сучасних технологій та точних даних дозволяє оптимізувати виробничі процеси, знижувати витрати та підвищувати продуктивність окремих виробничих ланок та гірничого підприємства в цілому.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-88>

OPTIMIZATION OF THE RECEIPT OF SCRAP METAL DURING MILITARY ACTIONS IN UKRAINE

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ПРИЙОМУ МЕТАЛОБРУХТУ ПІД ЧАС ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ В УКРАЇНІ

Vodopyanov V.S.,

*Student (group 051-23-1m),
LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Водоп'янов В.С.,

*студент групи 051-23-1м,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Tereshko Yu.V.,

*PhD (Economics), Associate Professor,
LLC "Technical university "Metinvest
polytechnic", Zaporizhzhia, Ukraine*

Терешко Ю.В.,

*к.е.н., доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

В сучасних умовах воєнного стану для зміцнення України та її подальшої відбудови після війни, необхідно активізувати зусилля щодо підтримки, стабілізації та розвитку економіки, зокрема у сферах металургії, енергетики та будівництва.

Металургійне виробництво вимагає якісної сировини, однією з яких є металобрухт. Цей матеріал повинен відповідати вимогам якості та безпеки, встановленим Національним стандартом «Метали чорні вторинні. Загальні технічні умови» (ДСТУ 4124-2022). Згідно з цим стандартом, металобрухт повинен бути підготовлений згідно заявленим критеріям та відповідати нормативам, не повинен містити конверсійний металобрухт (металобрухт воєнного походження), не містить шкідливі домішки. При виявленні невідповідності якості або наявності забороненого металобрухту подальша робота повинна бути зупинена.

Оцінка невідповідності та виявлення заборонених фрагментів у металобрухті, який надходить до металургійних підприємств, здійснюється в декілька етапів приймальною комісією. Це в свою чергу займає певний час який можливо скоротити за рахунок автоматизації процесу та впровадження новітніх методів та цифрових технологій. Зазначені впровадження безсуперечно будуть сприяти мінімізації впливу людського фактору та усунення помилок в оцінці що виникають під час візуального огляду металобрухту.

Основним із інструментів підвищення ефективності процесу приймання металобрухту є використання рентгенівських рамок. Рентгенівські рамки є потужним інструментом для контролю якості та безпеки металобрухту при прийманні в напіввагонах. Вони забезпечують точність обліку, підвищують безпеку та ефективність процесу та значно пришвидшують його. Однак, необхідно зазначити що застосування рентгенівських рамок потребують значних інвестицій та належного обслуговування і це є негативною стороною. Але з позитивної сторони погляду, застосування рентгенівських рамок може значно покращити процес приймання металобрухту, забезпечуючи високу якість кінцевої продукції.

Наступним методом у підвищенні ефективності операційної ефективності процесу приймання металобрухту може бути використання дронів та інших програм розпізнавання.

Розглянемо досвід деяких провідних компаній з приймання та переробки металобрухту, такі компанії у США як Sims Metal Management та Scrap Metal Services успішно впровадили та використовують дані технології.

Почнемо з методу використання рентгенівських рамок. Процес сканування полягає в тому що вагони з металобрухтом проїжджають через стаціонарні рентгенівські рамки або їх сканують мобільними системами. Процес не вимагає додаткових витрат часу і ресурсів на підготовку або маневрові роботи, також процес можливо поєднати із

зважуванням. Рентгенівське випромінювання дозволяє отримати зображення внутрішнього складу вагону і виявити заборонені предмети, такі як вибухові матеріали, газові балони, небезпечні метали. При цьому, використання AI та автоматизованого розпізнавання предметів значно скорочують процес знаходження небезпечних матеріалів або визначаються зони, які потребують додаткового огляду приймання металобрухту.

Використання дронів та програм розпізнавання для огляду металобрухту може бути високоефективним рішенням. Це рішення дозволяє зменшити операційні витрати, підвищити якість продукції та безпеку процесу, що робить його вигідним у довгостроковій перспективі.

Сьогодні ПрАТ «Камет-Сталь» використовує дронів для інспекцій та моніторингу своїх об'єктів. Дрони допомагають оцінювати запаси та ефективно управляти інвентаризацією.

Такі компанії як MMS Group (Німеччина), Veolia (Франція), Grimes Iron & Metal (США) активно розвиваються в цьому напрямку та інтегрують дану технологію в усі сфери свого виробництва.

Технології не стоять на місці тож у комплексі з використанням програм розпізнавання, штучного інтелекту та машинного зору, ці технології в змозі надати дуже потужний результат враховуючі низьку собівартість впровадження.

З початку військової агресії проблема вибухонебезпечних елементів в металобрухті стоїть дуже гостро. Не зважаючи на підвищений контроль на всіх етапах заготівлі металобрухту ризики потрапляння вибухонебезпечних фрагментів великі. Масштаб збитків для виробництва у разі потрапляння до виробничого процесу уявити дуже складно, а можливі травми отримані працівниками, взагалі не підлягає виміру. Вважаючи на довго строковість проблеми, адже ризики потрапляння вибухонебезпечних елементів, будуть актуальними і після закінчення війни.

Враховуючі існуючі ризики та позитивний досвід компаній по всьому світу, впровадження новітніх методів в прийманні металобрухту у поєднанні з існуючими методами, надають можливість підвищити якість та безпечність металобрухту який потрапляє до підприємств з обробки. Отже, впровадження цих методів вітчизняними підприємствами з обробки металобрухту будуть сприяти підвищенню ефективності обробки, безпеки виробництва та значно зменшать існуючі ризики у напрямку захисту безпеки співробітників.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-89>

**OPERATIONAL EFFICIENCY OF TRADING ENTERPRISES:
NEW CHALLENGES AND SOLUTIONS
IN DIGITALIZATION CONDITIONS**

**ОПЕРАЦІЙНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТОРГІВЕЛЬНИХ
ПІДПРИЄМСТВ: НОВІ ВИКЛИКИ І РІШЕННЯ
В УМОВАХ ЦИФРОВІЗАЦІЇ**

Goncharov O.S.,
*Student (group 051-23-1m),
LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Гончаров О.С.,
*студент групи 051-23-1м,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Tereshko Yu.V.,
*PhD (Economics), Associate Professor,
LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Терешко Ю.В.,
*к.е.н., доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Економіка України сьогодні переживає складний період, що супроводжується численними викликами для торговельних підприємств. В умовах глобалізації та стрімких технологічних змін, які супроводжуються невизначеністю на ринку, зростає потреба у підвищенні операційної ефективності. Ця проблема стає особливо актуальною на фоні зростаючої конкуренції та швидкої зміни споживчих уподобань та вимагають швидкого реагування з боку підприємств [1].

Актуальність дослідження шляхів підвищення операційної ефективності пояснюється необхідністю забезпечення конкурентних переваг у ринкових умовах. Торговельні підприємства стикаються з необхідністю оптимізації внутрішніх процесів, зниженні витрат та підвищенні якості обслуговування клієнтів.

Недостатнє впровадження інноваційних рішень у торгівлі, а також недостатня адаптація до нових технологій значно обмежують можливості підприємств у досягненні успіху. Сучасні реалії вимагають від торговельних компаній не лише адаптації до нових умов, але й активного використання цифрових технологій для покращення ефективності, що передбачає не тільки автоматизацію процесів, але й

використання аналітики даних для прийняття обґрунтованих рішень. Водночас, багато підприємств продовжують використовувати традиційні шляхи ведення бізнесу, що призводить до втрати ринкових позицій.

Важливо зазначити, що підвищення операційної ефективності торговельних підприємств не лише сприяє їх фінансовому зростанню, але й забезпечує покращення якості обслуговування споживачів, призводить до збільшення лояльності клієнтів та зростання обсягу продажів. Таким чином, дослідження шляхів підвищення операційної ефективності стає важливим етапом у розвитку торгівлі, оскільки визначає стратегії, які допоможуть підприємствам вижити та процвітати у складних умовах сучасного ринку [2].

Необхідність інтеграції нових технологій, удосконалення процесів управління та адаптації до змінюваного споживчого середовища робить тему «операційної ефективності» актуальною для подальших досліджень. Ефективне управління операціями надає можливість торговельним підприємствам не лише забезпечити стабільність у своїй діяльності а й відкриває нові перспективи для інноваційного розвитку.

Сучасні механізми для підвищення операційної ефективності пропонують підприємствам нові можливості для оптимізації процесів і адаптації до швидко змінюваного ринку. Одним із ключових аспектів є впровадження цифрових технологій, які дозволяють автоматизувати рутинні завдання, зменшуючи людський фактор і час на виконання процесів. Наприклад, використання програмного забезпечення для управління запасами може значно покращити точність прогнозування та знизити витрати на зберігання.

Аналітика даних та штучний інтелект відкривають нові горизонти. Завдяки аналізу великих обсягів інформації підприємства можуть отримувати цінні інсайди щодо поведінки споживачів, адаптування маркетингових стратегій та збільшити пропозиції продукції на ринку. І це не лише підвищує ефективність операційної діяльності підприємства, а й сприяє кращому обслуговуванню клієнтів [3].

Інтеграція систем управління ланцюгами постачання дозволяє забезпечити більш гнучку та прозору взаємодію між постачальниками, виробниками і дистриб'юторами. Такі системи допомагають зменшити затримки та витрати, оптимізуючи всі етапи – від виробництва до доставки кінцевому споживачу.

Мобільні технології дозволяють підприємствам забезпечити безперервний доступ до інформації та управлінських інструментів, що

дає можливість швидше реагувати на зміни у попиту або ситуації на ринку.

Використання методів управління, таких як Agile та Lean, сприяють більшій гнучкості в управлінні проектами та процесами. Ці підходи зосереджені на безперервному вдосконаленні та швидкому реагуванні на потреби клієнтів. Потрібно зазначити, що застосування сучасних механізмів підвищення операційної ефективності дозволяє підприємствам не лише оптимізувати внутрішні процеси, а й стати більш адаптивними до змін у зовнішньому середовищі, що є критично важливим для їхньої конкурентоспроможності [4].

Підвищення операційної ефективності на основі міжнародного досвіду демонструє як підприємства можуть адаптувати нові стратегії для оптимізації своїх процесів. Одним із ключових аспектів є використання найкращих практик у сфері управління ланцюгами постачання. Наприклад, компанія Amazon.com.In, значно покращили свою ефективність завдяки впровадженню автоматизованих складських систем, що дозволяє швидко обробляти замовлення та зменшувати час доставки.

Іншим прикладом є впровадження методології Lean у виробничих процесах, яку активно використовують японські компанії, такі як Toyota. Ця методологія акцентує увагу на усуненні витрат і оптимізації процесів, що веде до підвищення продуктивності та якості. Toyota застосовує концепцію "just-in-time", що дозволяє зменшити запаси та уникнути витрат на зберігання.

Складні економічні умови, що характеризуються глобалізацією, швидкими технологічними змінами та зростаючою конкуренцією, вимагають від компаній не лише адаптації, а й проактивного використання новітніх технологій і стратегій управління [5].

Аналіз міжнародного досвіду свідчить, що підприємства, які активно впроваджують автоматизацію, аналітику даних та інтеграцію систем, мають змогу досягати значних успіхів у підвищенні своєї ефективності. Приклади таких компаній, як Amazon та Toyota, демонструють, як сучасні підходи до управління можуть суттєво поліпшити бізнес-процеси, зменшити витрати та покращити якість обслуговування клієнтів.

Отже, підвищення операційної ефективності не лише сприяє фінансовому зростанню підприємств, але й відкриває нові можливості для їхнього розвитку в умовах сучасного ринку. Тому в край важливо, щоб українські торговельні компанії вжили необхідних заходів для

інтеграції цих механізмів у свою діяльність, що дозволить не лише вижити, але й процвітати в умовах глобальної економіки.

Перелік використаних джерел

1. Бойда С. Інноваційні підходи до управління підприємствами в умовах діджиталізації економіки. *Економіка та управління підприємствами*. I (85), 2022. С. 72-81. <http://herald.chite.edu.ua/content/download/archive/2022/v1/6.pdf> (дата звернення: 15.10.2024)
2. Hviniasvili T. Changing the paradigm of strategic enterprise management in a digital economy / Т. Hviniasvili // *Економічний простір*. – 2021. – № 172. – С. 23-28. <http://www.prostir.pdaba.dp.ua/index.php/journal/issue/view/68> (дата звернення: 15.10.2024)
3. Тренди ланцюгів поставок 2024 року: цифровий струс. URL: <https://www.management.com.ua/tend/tend1427.html> (дата звернення: 20.10.2024).
4. Кириченко О.С. Впровадження програмного-проектного підходу до управління розвитком підприємств в сучасних умовах. *Вчені записки Університету «КРОК»*. 2021. №4 (64). С. 120-128. <https://snku.krok.edu.ua/index.php/vcheni-zapiski-universitetu-krok/article/view/461> (дата звернення: 20.10.2024)
5. Christensen, C. M., & Overdorf, M. (2000). "Meeting the Challenge of Disruptive Change." *Harvard Business Review*. [Електронний ресурс] URL: <https://hbr.org/2000/03/meeting-the-challenge-of-disruptive-change>

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-90>

**JUSTIFICATION OF THE ADAPTIVE EFFICIENCY
COEFFICIENT FOR THE FORMATION OF COMPLEX
MECHANISM SCHEMES**

**ОБГРУНТУВАННЯ КОЕФІЦІЄНТА АДАПТИВНОЇ
ЕФЕКТИВНОСТІ ФОРМУВАННЯ СХЕМ
КОМПЛЕКСНОЇ МЕХАНІЗАЦІЇ**

Hryhoriev Yu.I.,

*PhD (Engineering),
Associate Professor,
Kryvyi Rih National University,
Kryvyi Rih, Ukraine*

Григор'єв Ю.І.,

*к.т.н., доцент,
Криворізький національний
університет,
м. Кривий Ріг, Україна*

Hryhoriev I.Y.,

*PhD (Engineering),
Associate Professor, LLC "Technical
university "Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Григор'єв І.Є.,

*к.т.н., доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Lutsenko S.O.,

*PhD (Engineering),
Associate Professor,
Kryvyi Rih National University,
Kryvyi Rih, Ukraine*

Луценко С.О.,

*к.т.н., доцент,
Криворізький національний
університет,
м. Кривий Ріг, Україна*

Kuttybayev A.E.,

*PhD (Engineering),
Associate Professor,
Saubayev University,
Almaty, Republic of Kazakhstan*

Куттибаєв А.Є.,

*к.т.н., асоційований професор,
Казахський національний
дослідницький технічний університет
імені Саппаєва,
м. Алмати, Республіка Казахстан*

Ускладнення гірничо-технічних умов ведення відкритих гірничих робіт вимагає постійного вдосконалення систем комплексної механізації. Динамічний характер гірничо-геологічних умов та змінні ринкові фактори обумовлюють необхідність постійної оптимізації параметрів та структурних компонентів цих систем в якості реалізації концепції динамічного проектування. Для об'єктивної оцінки ефективності різних варіантів схем комплексної механізації в умовах

адаптації до змінних факторів необхідно розробити такий інтегральний критерій оцінки, який дозволить забезпечити оптимальний баланс між продуктивністю, безпекою, економічною ефективністю та екологічною стійкістю гірничодобувних процесів. Впровадження критерію адаптивної ефективності дозволить кількісно оцінити здатність схем комплексної механізації до адаптації до змінних гірничо-технічних та ринкових умов.

І хоча зміна факторів експлуатації систем є досить поширеним явищем, більшу частину часу гірничі роботи ведуться у відносно стабільних умовах. Тому для більш точної оцінки ефективності систем комплексної механізації необхідно враховувати не лише їх здатність до адаптації, але й ступінь мінливості гірничо-технічних умов, коли ця адаптація потрібна. Для цього пропонується ввести додатковий параметр q , який характеризує ймовірність виникнення змін у гірничо-технічних умовах, що потребують коригування параметрів системи. При низьких значеннях q акцент слід робити на традиційних показниках ефективності (продуктивність, собівартість), а при високих значеннях q – на показниках адаптивності. Такий підхід дозволить диференціювати оцінку ефективності різних варіантів схем механізації залежно від ступеня мінливості гірничо-технічних умов та уникнути не виправданих витрат на адаптацію в стабільних умовах.

Пропонований критерій адаптивної ефективності у загальному вигляді включає такі компоненти і може бути формалізований наступним чином (1):

$$K = f(P, A^q, S, C, E) \quad (1)$$

де P – продуктивність схеми комплексної механізації (т/год), що характеризує її здатність забезпечувати необхідний обсяг видобутку;

A – коефіцієнт адаптивності ($0 < A \leq 1$), який відображає здатність схеми пристосовуватися до змінних умов експлуатації;

S – коефіцієнт безпеки, що характеризує рівень безпеки операцій та ризику для працівників і обладнання;

C – загальні витрати на впровадження та експлуатацію схеми (у грошових одиницях), включаючи капітальні та операційні витрати протягом життєвого циклу;

E – екологічний фактор ($E \geq 1 \geq 1$), який враховує вплив на навколишнє середовище, зокрема викиди та споживання ресурсів,

q – ймовірність виникнення змін, що потребують адаптації.

Коефіцієнт адаптивності A є фундаментальним показником при виборі оптимальної схеми комплексної механізації гірничих робіт в

умовах адаптації функціонування системи. Він відображає здатність технологічної схеми ефективно пристосовуватися до змінних умов експлуатації, зберігаючи при цьому високий рівень продуктивності та ефективності. Значення коефіцієнта адаптивності варіюється в діапазоні від 0 до 1, де $A=1$ відповідає максимальній адаптивності, а $A=0$ вказує на повну відсутність здатності до адаптації. Визначення коефіцієнта адаптивності базується на сукупності технічних, технологічних, організаційних, економічних та екологічних факторів. Технічні фактори включають модульність обладнання, універсальність техніки та сумісність систем. Модульність обладнання забезпечує можливість швидкої заміни або доповнення компонентів без значних витрат часу та ресурсів, що підвищує гнучкість технологічної схеми. Універсальність техніки дозволяє використовувати обладнання в різних умовах, що сприяє підвищенню адаптивності системи. Сумісність систем забезпечує легку інтеграцію з новими технологіями або модернізацію існуючих компонентів. Так, наприклад, пневмоколісний навантажувач із змінним ковшем може працювати за більш різноманітними технологічними схемами, ніж екскаватор типу пряма механічна лопата.

Отже, запропонований критерій сприятиме впровадженню адаптивного підходу до формування комплексів механізації гірничих робіт.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-91>

**STUDY OF THE ROCK-BREAKING ROADHEADERS TOOLS
USING EFFICIENCY IN THE CONDITIONS OF PJSC
“POKROVSKE MINING COMPANY”**

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ
ПОРОДУРІЙНИВНОГО ІНСТРУМЕНТУ ПРОХІДНИЦЬКИХ
КОМБАЙНІВ В УМОВАХ ПРАТ «ШУ «ПОКРОВСЬКЕ»**

Kamenets V.I.,

*PhD (Engineering),
Associate Professor, LLC “Technical
university “Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Каменець В.І.,

*к.т.н., доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Chebotenko D.O.,

*Student (group 184RKK-23-1m),
LLC “Technical university
“Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Чеботенко Д.О.,

*студент гр. 184РКК-23-1м,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

ПрАТ «ШУ «Покровське» є найбільшим в Україні та одним з найбільших в Європі підприємством з видобутку коксівного вугілля. За 2023 рік видобуток склав 5,6 млн т, і було проведено понад 22 км гірничих виробок. Попри розташування підприємства поблизу зони бойових дій, ведуться очисні та підготовчі роботи на пласті *d₄*, на блоках № 10 і № 11. Для проведення гірничих виробок останнім часом застосовувалися комбайни вибіркої дії КСП-42 (43), EBZ-260 з поздовжньо ріжучою коронкою та ПЗ15 з поперечно ріжучою коронкою.

Однією з важливих задач при проектуванні проведення гірничих виробок є підбір породоруйнівного інструменту, який за своїми характеристиками буде відповідати гірничо-геологічним умовам проведення та забезпечить мінімальну питому витрату різців при руйнуванні породного масиву. Водночас важливим завданням є планування запасу різців з метою виключення їх необґрунтованого накопичення на складах підприємства.

В дослідженні було використано дані щодо проведення підготовчих виробок комбайновим способом на ПрАТ «ШУ «Покровське» в період з

січня 2018 по грудень 2023 року. Для дослідження виробки було поділено на типові групи за призначенням, умовами проведення і розташуванням відносно вугільного пласта. Типова пластова виробка, що проведена за простяганням характеризується наступними гірничо-геологічними умовами: потужність пласта 1,8-2,2 м., бічні породи представлено алевролітами та аргілітами. Застосовується аркова форма поперечного перетину площею 20,3-25,0 м². Такі виробки здебільшого є вентиляційними або конвеєрними штреками, що проведені для підготовки очисних вибоїв. Перетин типового вентиляційного штреку по змішаному вибою надано на рис. 1 (а).

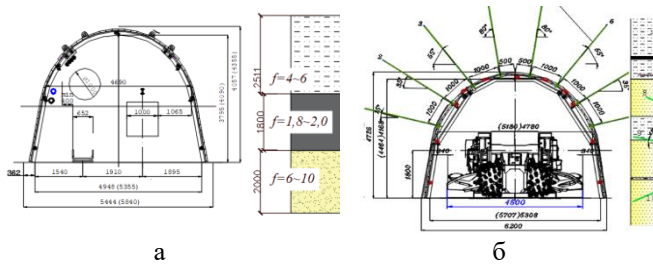


Рис. 1. Поперечні перетини вентиляційного штреку (а) та вентиляційного квершлягу гор. 930 м (б) з вміщуючими породами

Для проведення дільничних пластових виробок за простяганням рекомендовано використання різців РТМ 32.88.65.90 для комбайнів типу КСП і різців SJ3830H-I35 для комбайнів типу EBZ, рис. 2. Параметри різців відповідають вимогам [1]. Їх ефективність доведена практикою застосування.

Польовими проводилися виробки приствольного двору або головні капітальні виробки блоку, горизонту, рис. 1 (б). Паспорти на проведення виробок розроблено згідно [2, 3] у відповідності до гірничо-геологічних умов. Для породних вибоїв запропоновано використання різців АРМОВІТ 38.75.80.82-30СТ, рис. 3.

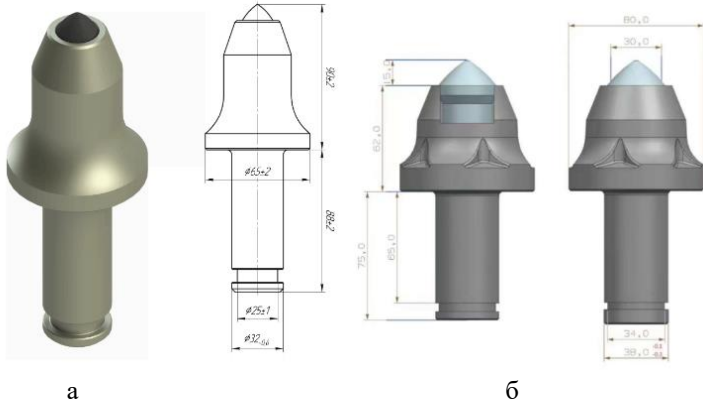


Рис. 2. Різці для проведення виробок по змішаному вибою:
а – РТМ 32.88.65.90; б – SJ3830H-I35

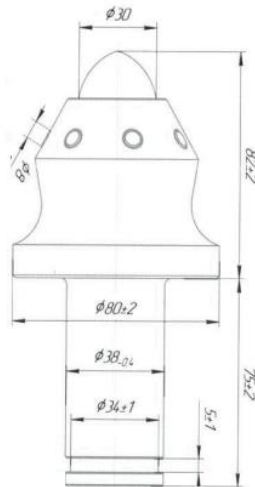


Рис. 3. Різець для проведення виробок по породному вибою
АРМОВІТ 38.75.80.82-30СТ

Загалом, комбайн EBZ-260 важкого типу нового технічного рівня обладнано гострою ріжучою коронкою, яку приводить у дію двошвидкісний двигун із водяним охолодженням, що розвиває великий

крутний момент навіть на низьких обертах. Схема розташування різцевих коронок на виконавчому органі забезпечує високу ефективність руйнування вугілля та міцних бічних порід.

В подальшому планується розробити методіку підбору і прогнозування необхідної кількості породоруйнівного інструменту для різних типів прохідницьких комбайнів та виробок в умовах «ШУ «Покровське»».

Перелік використаних джерел

1. Інструменти змінні для буріння скельних порід: Різці для вугледобувних та прохідницьких комбайнів: Різець AWR 32.88.BP.60.75/22KM, ТУ У 25.7-30493751-001:2017
2. СОУ 10.1.00185790.002:2005 Правила технічної експлуатації вугільних шахт: Мінвуглепром України. Київ, 2006. 353 с.
3. ДСТУ EN 12111:2019 Штрекобурильні машини. Прохідницькі комбайни та комбайни безперервної дії. Вимоги щодо безпеки (EN 12111:2014, IDT).

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-92>

JUSTIFICATION OF THE TECHNOLOGY OF “DRY” STORAGE OF WASTE ENRICHMENT OF MAGNETITE QUARTZITES OF KRIVORIZHIA ENRICHMENT PLANTS

ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ «СУХОГО» СКЛАДУВАННЯ ВІДХОДІВ ЗБАГАЧЕННЯ МАГНЕТИТОВИХ КВАРЦИТІВ ЗБАГАЧУВАЛЬНИХ КОМБІНАТІВ КРИВОРІЗЖЯ

Kryvorotko V.V.,
*Student (group 184MP-23-1m),
LLC “Technical university
“Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Криворотько В.В.,
*студент гр. 1843КК-23-1м,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Збагачення магнетитових кварцитів є **складним технологічним процесом**, який має як позитивні, так і негативні наслідки для навколишнього середовища та суспільства. До позитивних аспектів можна віднести та, що цей процес дає можливість отримання сировини для металургійної промисловості та сприяє розвитку економіки регіону, створює робочі місця та збільшує податкові надходження.

Жоден з процесів не відбувається без утворення відходів, так з магнетитових кварцитів, що містять заліза загального від 33,3 до 35,6% отримують готовий продукт з якістю 64-70,5 %, при цьому до 65% вихідної сировини переходять у відходи.

Відходи збагачення магнетитових кварцитів – тонкодисперсний матеріал, основними компонентами є кварцит, польовий шпат, рідше мінерали, що містять невеликі домішки заліза та інших металів. Ці частки мають розмір від кількох мікрометрів до декількох міліметрів, гранулометрична характеристика залежить від стадії магнітної сепарації на якій виділяються відходи зі схеми. Середня щільність хвостів магнетитових кварцитів становить близько 2.6-3.0 т/м³, що зумовлює їх важкість і стабільність при складуванні. Через наявність кварцу відходи є високотносостійкими, що також впливає на технічні характеристики обладнання для їх транспортування. Більшість компонентів відходів є хімічно інертними, але наявність слідів сульфідів може призвести до утворення кислотних стоків при взаємодії з водою, що становить екологічний ризик [1].

Під час впливу зовнішнього середовища, особливо в теплий період року, тонкодисперсна структура відходів негативно впливає на якість повітря та може викликати респіраторні захворювання у працівників комбінату та місцевого населення. Запилення є також потенційною загрозою для природних екосистем у навколишніх територіях.

Відходи складаються в хвостосховища, що розташовується в одному з отрогів балки. На протязі перших 5 років хвостів збагачувальної фабрики в хвостосховище направляються самопливом, а в подальшому через пульпонасосну станцію, звідки перекачуватимуться до хвостосховища. При розрахунку необхідного об'єму хвостосховища час експлуатації фабрики приймався 25 років, враховуючи, що комбінати вже двічі перевершили цей термін експлуатації, тай в подальшому продовжують працювати, проблема складування відходів є актуальною.

Гірничозбагачувально комбінати працюють задля вирішення даної проблеми, так 2021 році в цеху шламових систем АТ «ПівдГЗК» було введений в експлуатацію комплекс згущення пульпи, який скорочує обсяг перекачувальних в хвостосховище шламів в 11 разів і зменшує споживання електричної енергії до 40 відсотків. Проект реалізований вперше в Україні [2].

На сьогодні на ПРАТ "ПівнГЗК" в експлуатації знаходиться одно хвостосховище з максимальної відміткою складування хвостів +165,0 м. Транспортування відходів збагачення (пульпи) виконується по самопливним лоткам з рудозбагачувальної фабрики до пульпонасосної

станції, де здійснюється перехід на напірний пульпопровід та перекачується до існуючого хвостосховища. Дана система гідротранспорту характеризується великим об'ємом перекачування пульпи, низьким вмістом твердого у хвостовій пульпі (~ 3,5%), значними енерговитратами на гідротранспорт хвостової пульпи у хвостосховище та повернення освітленої води на рудозбагачувальну фабрику. Задля подальшого використання даного хвостосховища та зниження енергетичних витрат необхідно виконати заходи, що дозволять його експлуатацію і не збільшать енергетичні витрати на перекачку відходів.

Один з варіантів – це впровадження технології «сухого» складування відходів. Згідно з принциповою схемою даного комплексу, весь об'єм хвостової пульпи зі вмістом твердого 1-5 % через хвостові лотки самопливом направити на пульпо насосну станцію, з подальшим розподілом на радіальні високопродуктивні згущувачі. Додатково в згущувачі подаються флокулянти, що допомагають зв'язати дрібні частинки, утворюючи більші згустки, які легше відокремлюються від рідини. Застосування флокулянтів суттєво скорочує час, необхідний для процесу згущення, що сприяє більш ефективному управлінню ресурсами. Згущена до 50-55% твердого пульпа за допомогою насосів подається в збірний зумпф об'єднаної пульпонасосної станції з подальшою перекачкою у хвостосховище.

Злив згущувача надходить у насосну станцію освітленої води. Основний об'єм води подається на рудозбагачувальну фабрику для забезпечення вимог технологічного процесу, а частину за допомогою насосів подають на станцію підготовку флокулянта.

Отже, складування відходів збагачення магнетитових кварцитів є важливою, але екологічно небезпечною складовою діяльності гірничо-збагачувальних комбінатів Криворіжжя. Розвиток технологій складування та повторного використання відходів, а також активне впровадження заходів з екологічного моніторингу і рекультивациі є ключовими для мінімізації негативного впливу на довкілля і створення більш сталих умов роботи в регіоні. Застосування технології «сухого» складування відходів збагачення магнетитових кварцитів у світовій практиці згущення хвостів домінує над іншими способами. Використовування флокулянтів, у даній технології, відіграє важливу роль, оскільки вони сприяють покращенню процесів згущення, зменшують обсяги водних відходів і підвищують якість відходів, що складуються. Застосування таких технологій є важливим кроком до сталого розвитку гірничо-збагачувальних комбінатів, що сприяє зменшенню їхнього екологічного впливу.

Перелік використаних джерел

1. Максимова Н. М. Екологічна небезпека складування відвалів гірничодобувної промисловості в Україні // Екологічно дружні технологічні рішення для місцевих громад щодо поводження з відходами: збірка матеріалів Національного форуму «Поводження з відходами в Україні: законодавство, економіка, технології», Київ, 2021. С. 104-106.

2. Акціонерне товариство «південний гірничо-збагачувальний комбінат. URL: <https://www.ugok.com.ua/ua/about/structure.php>

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-93>

**MODELING OF SURFACE SUBSIDENCE ISOLINES OVER
THE MINE WORKINGS****МОДЕЛЮВАННЯ ІЗОЛІНІЙ ОСІДАННЯ ПОВЕРХНІ
НАД ОЧИСНОЮ ВИРОБКОЮ****Nazarenko V.O.,**

*DSc (Engineering), Professor,
LLC “Technical university
“Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Назаренко В.О.,

*д.т.н., професор,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Bruil H.V.,

*PhD (Engineering),
Associate Professor, LLC “Technical
university “Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Бруй Г.В.,

*к.т.н., доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Novitckyy G.A.,

*Student (group 184M-24-1m),
LLC “Technical university
“Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Новицький Г.А.,

*студент гр. 184М-24-1м,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Для 3D конструювання та моделювання складних топографічних поверхонь використовуються спеціалізовані програми (AutoCad Map 3D, Digitals, EasyTrace, MapEDIT, Digitals, EasyTrace, MapEDIT, Surf та

інші). При математичній обробці результатів маркшейдерських вимірювань і створенні графічних гірничо-технічних документів часто виникають завдання, коли графічні побудови виконуються безпосередньо в середовищі AutoCad. Одним з подібних завдань є моделювання поверхні мульди осідання над очисними виробками гірничодобувних підприємств. Більшість наведених вище програм при побудові рельєфу топографічної поверхні використовують принцип лінійної інтерполяції за лініями, що з'єднують точки з відомими висотними відмітками.

Програмно це здійснюється в такий спосіб. Відомі найближчі точки поверхні з'єднуються між собою. Формується просторова мережа, по краях якої шляхом інтерполяції знаходять точки з відмітками, кратними заданій висоті перетину рельєфу. Точки з однаковими відмітками з'єднуються плавними кривими лініями однакових висот.

Точність побудови рельєфу залежить від багатьох факторів і, насамперед, від глушини вихідних точок з відомими відмітками. Чим більше є таких точок, і чим більш рівномірно вони розташовані, тим точніше буде побудова рельєфу. Очевидно, що лінійна інтерполяція до краю спрощує форму поверхні між вихідними точками. У зв'язку з цим реальні і одержувані при інтерполюванні поверхні можуть значно відрізнятись.

Сучасні програми дозволяють будувати як прямолінійні просторові мережі, так і створюють складні просторові поверхні, засновані на згладжених мережах, поверхнях з'єднання і поверхнях Кунса. При цьому перераховані поверхні можна будувати на основі сплайнів, що так само змінює точність інтерполювання.

Застосування перерахованих способів математичного моделювання топографічних поверхонь може призвести як до збільшення їх точності, так і до погіршення збіжності з реальними поверхнями. Для перевірки цього твердження виконані дослідження точності побудови топоповерхні засобами AutoCAD за наступною схемою.

В дослідженнях як топографічна поверхня використана математично правильна поверхня мульди зрушення. Поверхня задана мережею з 2450 (70x35) точок із розрахованими відмітками (рис. 1). Лінійною інтерполяцією на гранях сітки визначено точки з відмітками, кратними 50 мм. Поверхня мульди представлена ізолініями осідання. Враховуючи високу щільність мережі, а, отже, малу відстань між сусідніми точками, можна прийняти отриману поверхню за вихідну, близьку до істинної.

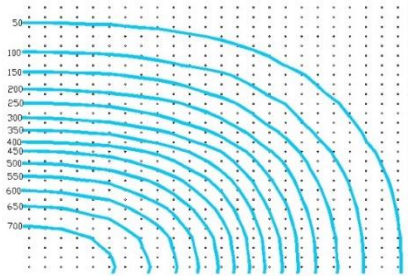


Рис. 1. Вихідна топоповерхня мульди зрушення

Дослідження точності побудови поверхні мульди виконувалося у двох варіантах вихідної мережі точок з відомими відмітками. У першому варіанті кількість вихідних точок скорочено в дев'ять разів ($22 \times 12 = 264$ точок), у другому – в 25 разів ($14 \times 7 = 98$ точок).

Побудова ізольній осідання виконувалася не інтерполюванням, а із застосуванням команди AutoCAD "Shade", що дає контур перетину двох поверхонь – поверхні мульди та горизонтальної площини із заданою висотною відміткою (рис. 2).

Поверхня мульди зрушення для обох варіантів мережі вихідних точок будувалася чотирма способами:

- прямолінійна просторова мережа (команда 3DFACE);
- просторова мережа з квадратичним згладжуванням (команда 3DMESH + SMOOTH);
- поверхню з'єднання між профілями мульди, що задані сплайнами (команди SPLINE і RULESURF);
- поверхня Кунса (команда EDGESURF).

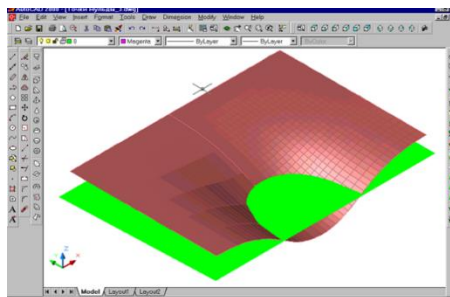


Рис. 2. Приклад побудови ізольній осідання командою "Shade"

На рис. 3 показані ізолінії поверхні мульди, побудовані для варіанта щільності вихідних точок 14x7.

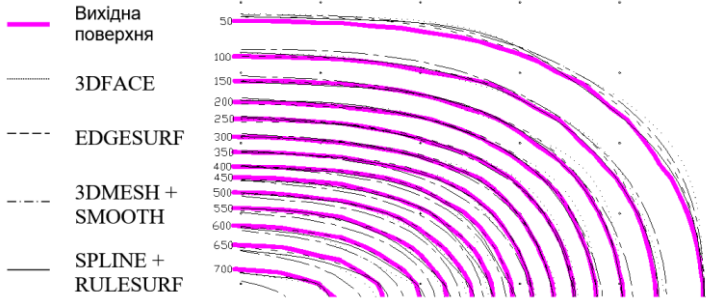


Рис. 3. Ізолінії топоповерхні при вихідній сітці 14x7 точок (фрагмент)

Аналіз результатів досліджень точності побудови топографічної поверхні мульди зрушення різними способами і при різній щільності вихідних точок показує, що в прийнятих в експерименті гірничо-геологічних умовах, зменшення щільності вихідних точок практично не впливає на точність побудови ізоліній осідання.

В обох аналізованих варіантах всі способи побудови поверхні дають задовільну збіжність з вихідною поверхнею, але найкращий результат досягається при побудові ізоліній за допомогою поверхонь з'єднання між профілями мульди, що задані сплайнами (команди SPLINE, RULESURF).

З точки зору зменшення витрат часу та простоти створення макросів для побудови поверхні мульди може бути рекомендовано застосування поверхонь з'єднання між профілями мульди, що задані сплайнами (команди SPLINE та RULESURF), та поверхонь Кунса (команда EDGESURF). Максимальні відхилення ізоліній осідання, побудованих різними способами, від прийнятих за вихідні спостерігаються на краях і в центральній частині мульди зрушення. Ці відхилення досягають 5 – 10% від розмірів напівмульд. Найкраща збіжність експериментальних та вихідних ізоліній мульди осідання спостерігається на ділянках з найбільшим нахилом поверхні.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-94>

**REDUCTIN OF OPERATIONAL FAILURES AND DAMAGE
TO CONTROL SYSTEMS OF THE COKE GAS SUPERCHARGER
OIL SYSTEM DUE TO VACUUM CLEANING
OF TURBINE LUBRICANT**

**ЗМЕНШЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВІДМОВ
І ПОШКОДЖЕНЬ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ МАСЛОСИСТЕМИ
НАГНІТАЧА КОКСОВОГО ГАЗУ ЗА РАХУНОК ВАКУУМНОГО
ОЧИЩЕННЯ ТУРБІННОГО МАСТИЛА**

Olieshkevych Ye.H.,
*Student (group 183-23-1m),
LLC “Technical university
“Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Олешкевич Є.Г.,
*студент гр. 183-23-1м,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Bohomaz O.P.,
*PhD, Associate Professor,
LLC “Technical university
“Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Богомаз О.П.,
*доктор філософії, доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Однією з основних причин експлуатаційних відмов і пошкоджень систем управління, змащення й ущільнення валів газодувок є погіршення експлуатаційних характеристик турбінного масла. Принаймні частково це пов'язано з тим, що багато установок знаходяться наприкінці свого життєвого циклу. Крім того, наявні методи та обладнання для моніторингу поточного стану енергетичного масла та його очищення морально і фізично застаріли, тому не володіють високою ефективністю.

Відповідно до європейського стандарту ISO 4406 [1], турбінне мастило повинно бути очищене за стандартом 15/12 для надійної роботи газодувок і компонентів обладнання. Це відповідає стандартизації розміру частинки від 3 до 25 мікрон. Недотримання цієї рекомендації може призвести до ряду негативних наступних наслідків, які впливатимуть на роботу обладнання.

Механічні домішки та волога у турбінному мастилі можуть викликати наступні явища:

- підвищення робочої температури масла;
- передчасний вихід з ладу або руйнування підшипників;
- нестабільна робота системи управління;
- збільшення витрат на технічне обслуговування і ремонт турбогенераторів і компонентів.

Наразі фактичний термін служби турбінного масла в середньому становить два-три роки, що вимагає дострокової його заміни. З іншого боку, згідно з досвідом багатьох закордонних компаній, за умови регулярного очищення, турбінне масло може працювати не менше 10 років, що призводить до значної економії фінансових ресурсів.

Основною причиною дострокової заміни турбінного мастила є те, що наявні металеві сітчасті фільтри з розміром пор 500 і 250 мікрон не забезпечують необхідної чистоти мастила. Як наслідок, у мастилі накопичуються різні силікати, металеві частинки, тверді смоли, волокна, прозорі кристалічні частинки та продукти старіння розміром до 250-500 мікрон.

Можливі шляхи розв'язання цієї проблеми охоплюють:

- використання стаціонарних фільтрів;
- використання центрифуг;
- мобільні системи фільтрації, засновані на дії вакууму на вологу і гази;
- мобільні та стаціонарні установки з використанням цеолітів;
- мобільні установки для повної регенерації турбінного масла.

З огляду на високий ступінь забруднення турбінного масла, виправданим є використання, як фільтруючі елементи, багаторазових металевих сепараторів з фільтруючою сіткою 10-20 мікрон. Однак, навіть фільтри з розміром пор 20 мкм не здатні повністю розв'язати проблему, оскільки такі домішки затримуються лише номінально, через випадковість розміру частинок і просторової орієнтації у потоці рідини.

При використанні центрифуг неможливо очистити турбінне мастило від частинок розміром менше 5 мікрон. З часом кількість частинок неприпустимо збільшується, значно знижуючи чистоту мастила і прискорюючи окислення. Слід також зазначити, що використання центрифуг супроводжується втратами масла.

Під час багаторазової регенерації цеоліти можуть стати крихкими й утворювати велику кількість пилу. Тому необхідно встановлювати додаткові фільтри тонкого очищення. Крім того, здатність цих адсорбентів до зневоднення обмежена.

Вакуумний маслоочисник є ідеальним обладнанням для видалення води, газу та домішок з трансформаторного масла, турбінного масла, моторного масла, масла для гідросистем, які застосовуються на електростанціях, електричних підстанціях, заводах з виробництва електрообладнання, видобувних заводах.

Основні сфери застосування:

- для негайного очищення та присадки мастила для маслонаповнених трансформаторів, трансформаторів напруги і маслонаповнених вимикачів.
- для виконання негайного циркулюючого сушіння гарячого масла для зазначеного вище обладнання.

– для негайного наповнення та присадки масла в устаткуванні з масляним ущільненням і забезпечення вакууму в устаткуванні.

Вакуумний маслоочисник заснований на принципі, згідно з яким температура кипіння води відрізняється від масла. Він складається зі звичайного фільтра, нагнітального масляного насоса, нагрівача, вакуумного резервуара, вакуумного насоса, конденсатора, фільтра тонкого очищення, маслозливного насоса та електричної шафи. Вакуумний насос маслоочисника всмоктує газ у вакуумний резервуар та утворює у ньому вакуум. За допомогою нагнітального маслонасоса масло по впускній трубі надходить у звичайний фільтр, а після видалення великих часток – у нагрівач. Коли температура мастила досягає 40-70 °С, масло автоматично контролюється рівнеміром для визначення балансу масла у вакуумному резервуарі та надходить у вакуумну посудину. Вода швидко випаровується з мастила і відкачується за допомогою вакуумного насоса маслоочисника у конденсатор. Водяна пара перетворюється на воду в конденсаторі. Після дегазації та дегідратації мало перекачується у фільтр тонкого очищення за допомогою маслозливного насоса, і в такий спосіб з мастила видаляються дрібні частинки.

Переваги:

– Багатофункціональність. Можливість дегазації, дегідратації та всмоктування домішок, а також забезпечення вакууму для дегазації та дегідратації.

– Безпека та надійність. Тиск, температура, рівень рідини точно визначаються і автоматично контролюються. Висока ефективність за низьких витрат.

– Розумна конструкція. Можливість переміщення.

Вакуумне очищення турбінного масла є ефективним методом для зменшення причин експлуатаційних відмов та пошкоджень систем управління маслосистеми нагнітача коксового газу. Цей метод дозволяє підвищити надійність та ефективність роботи обладнання, знизити витрати на ремонт та продовжити термін його служби.

Для досягнення максимального ефекту від вакуумного очищення масла рекомендується:

– Регулярно проводити очищення масла: Періодичність очищення залежить від умов експлуатації обладнання.

– Використовувати сучасне обладнання для очищення: Якісне обладнання забезпечує більш ефективне очищення масла.

– Контролювати якість масла: Регулярно проводити аналіз якості масла для оцінки ефективності очищення.

Таким чином, вакуумне очищення турбінного масла є важливим елементом комплексної програми з підвищення надійності та ефективності роботи систем управління маслосистеми нагнітача коксового газу. Застосування цього методу дозволяє значно знизити

ризик виникнення аварійних ситуацій та забезпечити безперебійну роботу виробництва.

Перелік використаних джерел

1. ISO 4406:2021 Hydraulic fluid power – Fluids – Method for coding the level of contamination by solid particles

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-95>

MOBILE CRUSHING AND RELOADING COMPLEXES AS A TOOL FOR ENHANCING THE ADAPTABILITY OF OPEN-PIT MINING TECHNOLOGY

МОБІЛЬНІ ДРОБАРНО-ПЕРЕВАНТАЖУВАЛЬНІ КОМПЛЕКСИ ЯК ІНСТРУМЕНТ ПІДВИЩЕННЯ АДАПТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДКРИТИХ ГІРНИЧИХ РОБІТ

Pylypchuk D.I.,

*PhD student,
Kryvyi Rih National University,
Kryvyi Rih, Ukraine*

Пилипчук Д.І.,

*аспірант, Криворізький національний
університет,
м. Кривий Ріг, Україна*

Hryhoriev Yu.I.,

*PhD (Engineering),
Associate Professor,
Kryvyi Rih National University,
Kryvyi Rih, Ukraine*

Григор'єв Ю.І.,

*к.т.н., доцент,
Криворізький національний
університет,
м. Кривий Ріг, Україна*

Hlopenko B.V.,

*Student 184M-23-1m,
LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Хлопенко Б.В.,

*студент гр. 184В-23-1м,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Neisalo S.H.,

*Student 184M-23-1m,
LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Неісало С.Г.,

*студент гр. 184В-23-1м,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Характерною особливістю відкритих гірничих робіт на сьогоднішній день є висока динаміка зовнішніх факторів господарювання. Зокрема, змінюються умови попиту і ціни на продукцію, доступність технологічного обладнання, матеріальних і трудових ресурсів. В таких

умовах запорукою стійкої довготривалої ефективності відкритих гірничих робіт є підвищення адаптивності технологічних процесів до цих змін. Очевидно, підвищення адаптивності може досягатися за допомогою як організаційних, так і техніко-технологічних інструментів. В той же час, на сучасному етапі розвитку гірничої науки впровадження мобільних дробарно-перевантажувальних комплексів (МДПК) постає як перспективний напрямок, спрямований на підвищення ефективності виймально-навантажувальних робіт у залізородних кар'єрах. Зростаючі вимоги до оптимізації технологічних процесів, скорочення витрат на видобуток руди, поліпшення екологічних показників і підвищення продуктивності роблять цю технологію важливим кроком у напрямі забезпечення сталого розвитку підприємств галузі.

Економічна доцільність застосування МДПК значною мірою визначається їх впливом на загальні витрати підприємства. Зниження витрат на транспортування та паливо, яке забезпечується завдяки можливості організувати дроблення та перевантаження матеріалу безпосередньо на місці видобутку, суттєво скорочує відстані транспортування. Це, в свою чергу, призводить до зменшення експлуатаційних витрат, витрат на обслуговування автотранспорту та забезпечує економію пального. Проте, значні початкові капіталовкладення в МДПК потребують фінансово-економічного аналізу для оцінки окупності інвестицій, визначення оптимальних термінів експлуатації та зниження ризиків, пов'язаних із можливими відхиленнями в умовах експлуатації.

Впровадження МДПК у діючі кар'єри є складною інженерною задачею, що потребує адаптації технологічних процесів і перегляду робочих зон. Адаптація таких комплексів до існуючих виробничих потоків вимагає детального проектування, яке враховує специфіку геологічних умов та конфігурацію кар'єру. Інтеграція мобільних комплексів може вимагати корекцій у технологічній схемі виробничих процесів, що дозволяє оптимізувати розташування обладнання та забезпечити ефективне дроблення і перевантаження руди. Це, у свою чергу, позитивно впливає на продуктивність і знижує загальні експлуатаційні витрати.

Технічні характеристики МДПК сприяють підвищенню гнучкості виробничого процесу. У діючих кар'єрах мобільні комплекси можуть сприяти скороченню парку автомобільного транспорту, що додатково зменшує навантаження на дороги та знижує витрати на підтримку транспортної інфраструктури. Це забезпечує безперервність процесу дроблення і завантаження, що позитивно позначається на продуктивності та ритмічності робіт.

Важливою перевагою МДПК є їх екологічний аспект. Відмова від традиційного автотранспорту на користь мобільних дробарок призводить до зменшення рівня викидів шкідливих речовин, зниження

шуму та інших негативних впливів на навколишнє середовище. Це стає особливо актуальним у контексті сучасних екологічних вимог і необхідності дотримання стандартів стійкого розвитку.

Використання сучасних інформаційних систем управління та моніторингу у поєднанні з МДПК забезпечує можливість відстеження продуктивності в реальному часі, що сприяє оперативному прийняттю управлінських рішень. Це дозволяє швидко виявляти та усувати недоліки в процесі видобутку та перевантаження руди. Оптимізація технологічного процесу на основі даних моніторингу дозволяє знизити частоту простоїв, підвищити ефективність використання ресурсів і забезпечити стабільність виробничого циклу.

Отже, впровадження МДПК у гірничодобувну практику є перспективним напрямком для підвищення операційної ефективності гірничих підприємств з відкритим способом видобутку. Подальші дослідження будуть зосереджені на вдосконаленні технічних характеристик комплексів, їх інтеграції з інформаційними технологіями та адаптації до різних виробничих умов. Це дозволить досягти високих економічних показників, оптимізувати використання ресурсів і забезпечити стійке зростання галузі, що, у свою чергу, підвищить конкурентоспроможність підприємств.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-96>

PROSPECTS FOR LIGNITE USE IN UKRAINE'S ENERGY SECTOR

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ БУРОГО ВУГІЛЛЯ В ЕНЕРГЕТИЦІ УКРАЇНИ

Piliuhyn V.I.,

*DSc (Engineering), Professor,
LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Пілюгин В.І.,

*д.т.н., професор,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Kamenets V.I.,

*PhD (Engineering),
Associate Professor, LLC "Technical
university "Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Каменець В.І.,

*к.т.н., доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

До 2014 року прогноз розвитку енергетичного вугільного ринку України передбачав, що вугілля марки Г буде затребуване в перспективі понад 20 років, рис. 1.



Рис. 1. Прогноз балансу ринку енергетичного вугілля в Україні станом на 2014 рік

З 2014 і особливо з 2022 року Україна тимчасово разом із територіями втратила потужності з видобутку антрацитів та іншого енергетичного вугілля, частина шахт зруйнована і припинила видобуток. Продовжує видобуток «ДТЕК Павлоградвугілля» в обмеженому обсязі, державні шахти видобувають малу частку вугілля. Буре вугілля в нашій країні вже майже п'ятнадцять років у промислових масштабах не видобувається (підприємства ДХК «Олександріввугілля» припинили роботу у 2009 році).

За ДСТУ 3472:2015 «Brown coals, hard coals and anthracite. Classification» буре вугілля має одну марку «Б» та наступні показники якості: середній довільний показник відбиття вітриніту менше ніж 0,4%, вихід летких речовин на сухий беззольний стан від 50 до 70%, а значення вищої теплоти згоряння на вологий беззольний стан менше 24 МДж/кг.



Рис. 2. Вигляд лігніту

Буре вугілля зазвичай видобувають там, де і використовують. Є негативна тенденція: 1990 року його видобували в 13 європейських країнах (близько 700 млн тон), то 2021 року видобуток тривав переважно в шести країнах: із 277 млн тон частку Німеччини складала 46 %, Польщі – 19 %, Чехії – 11 %, Болгарії – 10 %, Румунії – 6 %, Греції – 4 %. Але є дані, що інтерес до лігнітів може отримати друге дихання у зв'язку з нестабільністю ринків, збройними конфліктами тощо, [1,2].

Нині у світі є достатні запаси енергетичних ресурсів всіх типів. На найближчі 80 років людство забезпечене достовірно розвіданими запасами, а розвіданих запасів вистачить на понад тисячу років. Нині більше половини всіх запасів перебувають у вигляді вугілля і лігніту. Природний газ, нафта і ядерне паливо складають решту невідновлюваних джерел енергії та ресурсів. За оцінками EURACOAL розвідані світові запаси лігніту становлять 8,3% від загальних запасів вуглеводнів і урану.

Дніпровський буровугільний басейн розташований на території Житомирської, Вінницької, Київської, Черкаської, Кіровоградської, Запорізької та Дніпропетровської, частково Миколаївської та Херсонської областей України. Має 27 родовищ. Балансові запаси – 2,24 млрд. т, зокрема для відкритих робіт – понад 500 млн. т. Підготовлено до експлуатації 8 родовищ сумарною потужністю 115 млн. т, з них 4 для відкритої розробки. Вугільні пласти потужністю 3-4 м залягають на глибині 15-100 м, [1, 2].



Рис. 3. Вугільні басейни України

Експериментальні дослідження, проведені на пілотних установках Інституту вугільних енерготехнологій НАНУ і Міністерства палива та енергетики, підтвердили ефективність спалювання Дніпровського бурого вугілля в циркулюючому киплячому шарі. За цієї технології ефективність утилізації палива становить 98%, водночас викиди оксиду сірки та азоту не перевищують 200 мг/м³, що дає змогу розглядати цю технологію як екологічно чисту [1].

Переваги використання лігнітів наступні: можливість видобутку відкритим способом (глибина залягання від 10 до 150 м, потужність пластів понад 4 м); проста технологія видобутку і логістики; порівняно низька собівартість, висока продуктивність праці, низька трудомісткість, матеріаломісткість, мінімальне засмічення в процесі видобутку, відсутність етапу збагачення; висока безпека ведення гірничих робіт; низька собівартість кінцевого продукту – виробленої електроенергії.

Недоліки: відносно низька калорійність спалювання; висока природна вологість вугілля; екологічні збитки (досвід Німеччини).

Проблема має вирішуватися на регіональному та державному рівнях.

Перелік використаних джерел

1. Systems, Decision and Control in Energy VI. Volume II: Power Engineering and Environmental Safety Book. SPRINGER NATURE Link. 2024.
2. Мірошніченко Д. В., Пиш'єв С. В., Лисенко Л. А. Родовища та показники якості бурого вугілля України. ТЕПЛОВА ЕНЕРГЕТИКА: ШЛЯХИ РЕНОВАЦІЇ ТА РОЗВИТКУ XX Міжнародна науково-практична конференція. ЗБІРКА НАУКОВИХ ПРАЦЬ. Київ. 2024. С. 32-37.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-97>

**CONTROLLING THE DIRECTION OF ROCKS DESTRUCTION
BY SOUNDLESS CHEMICAL DEMOLITION AGENTS**

**КЕРУВАННЯ НАПРЯМКОМ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД
НЕВИБУХОВИМИ РУЙНУЮЧИМИ СУМІШАМИ**

Sakhno I.G.,

*DSc (Engineering), Professor,
LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Сахно І.Г.,

*д.т.н., професор,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Sakhno S.V.,

*PhD (Engineering),
Associate Professor, LLC "Technical
university "Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Сахно С.В.,

*к.т.н., доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Pogosyan A.V.,

*Student (group 184B-22-1),
LLC "Technical university
"Metinvest olytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Погосян А.В.,

*студент гр. 184В-22-1,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Процеси руйнування гірських порід входять до більшості основних технологічних циклів сучасного гірництва. За рідким винятком руйнування порід забезпечують механічним або вибуховим способами. Найчастіше механічне руйнування використовується при міцності порід до 6 одиниць по шкалі проф. Протодіяконова, а вибухове – при міцності порід більше 6 одиниць.

Вибухове руйнування викликає низку негативних впливів на довкілля і стан масиву, що руйнується. Під час вибухових робіт в атмосферу виділяються великі обсяги газу і пилу, від дії вибухових хвиль розвиваються існуючі і утворюються нові тріщини в гірському масиві, знижується стійкість і несуча здатність порід і т.д. Машини, обладнання, лінії комунікацій, що потрапляють в зону впливу вибухових робіт ризикують отримати пошкодження.

Однією з сучасних альтернатив нединамічного руйнування міцних гірських порід є технології, що передбачають використання невибухових руйнуючих речовин, що розширюються в процесі

гідратаційного твердіння, створюючи високі внутрішні тиски на стінках свердловин або шпурів в які вони поміщені. В основному ці технології використовуються в цивільному будівництві при руйнуванні бетонних конструкцій в умовах, що не допускають вібрацію і динамічний вплив, будівництві гірничих виробок, руйнуванні негабаритних блоків, видобутку блоків цінних порід до суцільності яких ставляться високі вимоги.

І хоча технологія робіт з руйнування такими сумішами в цілому добре відома і апробована, механізм та оптимальні параметри руйнування все ще вивчаються з метою підвищення ефективності руйнування. При цьому одним з гострих питань, що потребує вирішення, є керування напрямом руйнування порід при мінімальній кількості шпурів. Контроль напряму невибухового руйнування сьогодні в основному ведеться за рахунок ущільненого буріння шпурів вздовж проєктної траси руйнування. При цьому збільшується обсяг бурових робіт, які є найбільш ресурсоємним процесом при невибуховому руйнуванні.

Розвиваючі ідею контролю спрямованого руйнування порід шляхом впливу на ініціацію та поширення тріщин, авторами було розроблено спосіб невибухового спрямованого руйнування порід [1]. В основі розробленого способу знаходиться керування полем напружень, що формується на стінках шпуру або свердловини в процесі розширення невибухових руйнуючих сумішей. Таке керування досягається шляхом штучного створення концентраторів розтягуючих напружень на поверхні шпуру або свердловини в місці, де необхідно спровокувати зародження тріщини. Для цього в шпур встановлюється патрон, що контактує з стінками шпуру, а невибухова руйнуюча суміш поміщується всередину патрона. Зазначений патрон уявляє собою трубу з наружним діаметром близьким до діаметра шпура, що має не менше ніж два поздовжні прорізи. Вказані прорізи забезпечують утворення навколо шпуру нерівномірного поля напружень, що виникає внаслідок саморозширення невибухової суміші всередині патрона, з формуванням у місцях співпадаючих з прорізами в патроні, концентрацій розтягуючих напружень, ріст яких призводить до зародження тріщин і руйнування порід в необхідному напрямку. За допомогою патрону може бути досягнуто руйнування матеріалу по необхідній не лінійній траєкторії, а також створення в необхідних напрямках більше ніж однієї тріщини [1].

Перелік використаних джерел

1. Пат. к.м. № 157021, МПК E21C37/00, F42B3/22, F42B5/285 Патрон невибухової руйнуючої суміші / І.Г. Сахно; С.В. Сахно; (Україна). – u202402082; заявл. 19.04.2024, опубл. 28.08.2024, бюл. № 35. – 3с.:іл.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-98>

**INCREASING THE PRODUCTIVITY OF THE IRON
ORE DRESSING PLANT BY OPTIMIZING THE PARTICLE SIZE
DISTRIBUTION OF BLASTED ROCK MASS IN THE OPEN PIT
OF PJSC “INGZK”**

**ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ РЗФ ЗА РАХУНОК
ОПТИМІЗАЦІЇ ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ ПІДРВАНОЇ
ГІРСЬКОЇ МАСИ В КАР'ЄРІ ПРАТ «ІНГЗК»**

Smirnov O.Ya.,

*PhD (geology), deputy head
of the quarry for technology and quality,
Inguletskii GZK, student
(group ZKK 184-23-1),
LLC “Technical university
“Metinvest polynchnics”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Смірнов О.Я.,

*к.геол.н., заступник начальника
кар'єру з технології та якості,
Інгулецький ГЗК, студент
гр. ЗКК 184-23-1м,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»
м. Запоріжжя, Україна*

Streltsov V.O.,

*PhD (Geology), chief geologist,
“Yuzhnyi Gok”,
Student group RKK 184-23-1),
LLC “Technical university
“Metinvest polynchnics”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Стрельцов В.О.,

*к.геол.н., головний геолог
рудоуправління, Південний ГЗК,
студент гр. РКК 184-23-1м,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»
м. Запоріжжя, Україна*

Упродовж усього періоду розробки Інгулецького родовища бідних залізних руд (магнетитових кварцитів) проводиться визначення фізичних і технічних властивостей руд і вмісних гірських порід. За результатами аналізу даних про буримість і міцність за М.М.Протодьяконовим, було виділено шість категорій руд і вмісних порід родовища за показником вибухового подрібнення. Гематит-магнетитові й магнетит-гематитові кварцити п'ятого залізистого горизонту, що були об'єктом досліджень авторів цієї роботи, належать до п'ятої категорії руд і гірських порід за показником вибухового подрібнення – руди, що дуже важко піддаються подрібненню та з категорією за буримістю XVII, коефіцієнтом міцності за шкалою проф. М.М. Протодьяконова 18-20 балів. За мінеральним, хімічним складом, структурою, текстурою, фізичними та іншими показниками магнетитові

кварцити п'ятого залізного горизонту, які містять гематит, поділяють на два (перший і другий) мінералого-технологічні різновиди.

Руди цих різновидів є вихідною сировиною рудозбагачувальної фабрики №2 (РЗФ 2) Інгулецького ГЗК, на якій використовуються млини самоподрібнення. Головною умовою їхньої стійкої роботи є стабільна подача рудного матеріалу оптимального гранулометричного складу. Для вирішення цього завдання необхідно збільшити вміст частинок крупністю понад 75 мм у рудному матеріалі після вибухового дроблення з 40,7% до 45 мас.% [1]. Цього можна досягти з використанням таких змін параметрів буропідричних робіт:

- розширення сітки свердловин;
- застосування конструкцій свердловинних зарядів, що відрізняються від тих, які використовують нині, і дають змогу змінити ступінь вибухового навантаження на руди та вмісні гірські породи;
- зміни режимів підривання;
- схеми комутації ланцюга вибухових свердловин, режимів уповільнення вибухів тощо;
- комбінування названих методів.

Очікуваний ефект:

- оптимізація роботи млинів самоподрібнення і, як результат, збільшення продуктивності устаткування, економія енергоресурсів;
- зменшення витрат вибухових речовин (ВР), зниження вартості вибухових робіт;
- зниження обсягу бурових робіт;
- у зв'язку зі зниженням кількості використовуваних ВР – зменшення викидів шкідливих газів.

Автори провели експерименти з розширення сітки вибухових свердловин без зміни величини свердловинних зарядів у межах покладу гематит-магнетитових і магнетит-гематитових кварцитів п'ятого залізного горизонту. Відстань між свердловинами для руд першого мінералого-технологічного різновиду збільшилася на 1 метр, для руд другого різновиду – на 0,5 м. Було проведено фото-планіметричне вивчення гранулометричного складу рудної маси, підірваної за стандартною (Рисунок 1а) і за запропонованою авторами експериментальною методикою (Рисунок 1б).



Рис. 1. Фото-планограми ділянок рудних масивів, підірваних за стандартною (а) та експериментальною (б) методикою

Отримані результати свідчать про збільшення середнього розміру шматка в рудному матеріалі, підірваному за стандартною (245-260 мм) та експериментальною (333-366 мм) методиками. Відповідно до експериментальної методики, за 7 місяців, починаючи з вересня 2021 р., було підірвано 657 тис. м³ руд першого і другого мінералогічно-технологічних різновидів. У зв'язку зі зменшенням питомої витрати було заощаджено 94 тонни ВР, а зі збільшенням виходу гірничої маси було зменшено обсяг бурових робіт на 2244 погонних метрів.

У жовтні-листопаді 2021 р. проводився щозмінний аналіз роботи РЗФ-2.

Щодобово контролювалася кількість руди зі збільшеним розміром частинок по відношенню до загального обсягу руди, що подається на РЗФ-2 (Рисунок 2).



Рис. 2. Щодобовий об'єм постачання руди збільшеної фракції

Аналізувалася середньогодинна продуктивність секцій РЗФ-2. У жовтні 2021 р. середня продуктивність секцій зросла на 0,827 т/год. Планова питома витрата електроенергії РЗФ-2 становила 84,69 кВт/т. У

в'язку з приростом продуктивності секцій РЗФ-2 у жовтні на 0,827 т/год відбулося зниження питомої витрати електроенергії – вона склала 0,53 кВт на 1 тону виробленого концентрату. Подальше підвищення ефективності роботи РЗФ 2 планується проводити шляхом оптимізації буропідливних робіт.

Перелік використаних джерел

1. Ведення процесу збагачення магнетитових кварцитів в умовах фабрики безшарового подрібнення / Технологічна інструкція № ТІ 00190905.07.001-2019 // Кривий Ріг: Інгулецький гірничозбагачувальний комбінат, 2019.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-99>

IMPROVING THE OPERATIONAL EFFICIENCY OF MIDREX H2 AND BLAST FURNACE PROCESSES THROUGH THE OPTIMIZATION OF PELLET METALLIZATION

ПІДВИЩЕННЯ ОПЕРАЦІЙНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСІВ MIDREX H2 І ДОМЕННОЇ ПЛАВКИ ЧЕРЕЗ ОПТИМІЗАЦІЮ МЕТАЛІЗАЦІЇ ОКАТИШІВ

Tymoshenko D.O.,

*Student (group 136Y-23-1m),
LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Тимошенко Д.О.,

*студент гр. 136У-23-1м,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Kukhar V.V.,

*DSc (Engineering), Professor,
LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Кухар В.В.,

*д.т.н., професор,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Ступінь металізації окатишів є критичним фактором як для оптимізації процесу прямого відновлення заліза Midrex + H₂, так і для доменної печі, впливаючи на ключові показники операційної ефективності підприємства.

Основна мета дослідження – виявлення впливу ступеня металізації окатишів на ефективність процесу прямого відновлення заліза Midrex + H₂ та аглодоменного переділу для визначення оптимального рівня металізації, що забезпечує найкращі техніко-економічні показники виробництва.

Методика дослідження полягала у обробці референтних даних для технології Midrex + H₂ та математичної моделі яка розроблена на ПАТ "Запоріжсталь" з урахуванням похибок та технічних характеристик доменних печей та технічного стану обладнання для аглодоменного переділу. Для виробництва DRI модель враховувала такі параметри, як відсоток металізації окатишів, витрати природного газу та водню для технології Midrex + H₂. Математична модель, розроблена для аглодоменного переділу на ПАТ «Запоріжсталь», враховує широкий спектр параметрів, що впливають на ефективність процесу, зокрема, фактори, які були досліджені в ході експерименту по збільшенню металізації шихти.

Модель включає в себе наступні ключові фактори:

1. Склад шихти та її основність: Враховуються кількісні співвідношення різних компонентів шихти, а також її основність, яка визначає хімічні властивості шлаку та впливає на процес плавки. Модель враховує зміну складу шихти при збільшенні ступеня металізації окатишів.

2. Витрати коксу: Модель враховує кількість коксу, необхідного для відновлення оксидів заліза та нагрівання шихти до необхідної температури.

3. Витрати пилу: Враховуються витрати пилу, що утворюється в процесі підготовки шихти та в доменній печі, оскільки пил впливає на газодинаміку процесу та хімічний склад шлаку.

4. Витрати вапняку: Модель враховує кількість вапняку, необхідного для формування шлаку з потрібними властивостями.

Завдяки врахуванню такої кількості факторів, математична модель дозволяє прогнозувати ефективність аглодоменного переділу в різних умовах, зокрема, при збільшенні ступеня металізації шихти, та оптимізувати параметри процесу для досягнення найкращих результатів. Модель була використана для аналізу результатів експерименту та підтвердила ефективність збільшення металізації шихти для зниження витрат коксу та підвищення продуктивності доменної печі.

За рахунок використання окатишів з високим ступенем металізації (понад 70%) дозволяє значно скоротити цикл відновлення заліза в печі

Midrex + H₂, що підвищує продуктивність та зменшує час простою обладнання [1]. При зниженні витрат природного газу та водню вищий ступінь металізації окатишів зменшує потребу в природному газі та водні для завершення процесу відновлення, що призводить до суттєвої економії витрат на енергоносії (табл. 1). Підвищення якості DRI з високим ступенем металізації містять менше домішок [2], що дозволяє отримати високоякісну сировину для виробництва сталі [3].

Таблиця 1

**Взаємозв'язок між ступенем металізації окатишів
і витратами природного газу + H₂**

Ступінь металізації (%)	Витрати природного газу (м ³ /т)	Витрати водню (м ³ /т)
60	340	450
65	320	450
70	300	450
75	280	450

Вплив металізації на доменну піч:

Зниження витрат коксу – використання окатишів з високим ступенем металізації дозволяє зменшити витрати коксу в доменній печі, що призводить до економії коштів та зниження негативного впливу на довкілля (табл. 2).

Таблиця 2

**Вміст заліза в шихті, економія коксу
та зростання продуктивності ДП**

Вміст заліза в шихті (%)	Економія коксу (%)	Зростання продуктивності (%)
60	0	0
65	6	10
70	12	20
75	18	30

Вміст заліза в шихті також є важливим фактором, що впливає на ефективність доменної печі. Збільшення вмісту заліза в шихті на 1% призводить до:

Економії коксу на 1,2% це пов'язано з тим, що для відновлення більшої кількості заліза потрібно менше коксу.

Зростання продуктивності печі на 2% більший вміст заліза в шихті дозволяє отримати більше чавуну за одиницю часу наведено на рис. 1.

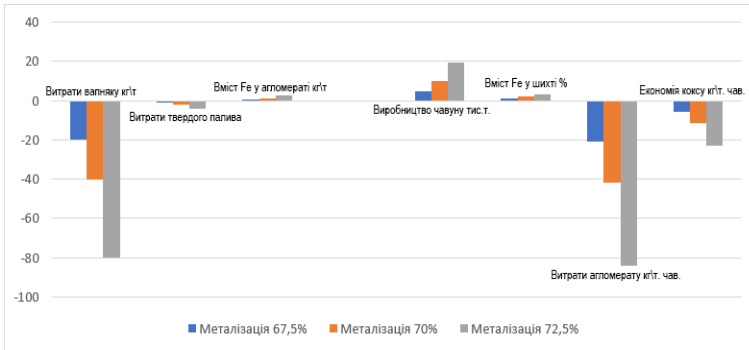


Рис. 1. Залежність змін в аглодоменному переділі від ступеня вмісту металізації в шихті

Підвищення якості металізації окатишів є важливим завданням для металургійних підприємств. Цього можна досягти за рахунок удосконалення технології збагачення залізної руди на ГЗК за рахунок оптимізації процесу флотації та модернізації обжигових машин.

Перелік використаних джерел

1. Okosun T., Nielson S., Zhou C. Blast Furnace Hydrogen Injection: Investigating Impacts and Feasibility with Computational Fluid Dynamics. JOM. 2022. Vol. 74. P. 1521–1532. DOI: 10.1007/s11837-022-05177-4.
2. Gołdasz A., Matuszewska D., Olczak P. Technical, economic, and environmental analyses of the modernization of a chamber furnace operating on natural gas or hydrogen. International Journal of Hydrogen Energy. 2022. Vol.47. № 27. P. 13213-13225. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2022.02.090.
3. Yuzhang J., Zhongyan C., Shufu Y., Yongxu C., Yujie L., Tianchi J., Xin L., Weijun Z. Development and Application of Hydrogen-Based Direct Reduction Iron Process. 2024. Vol. 12. № 9. P. 1-20. DOI: 10.3390/pr12091829.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-100>

**FEATURES OF OPTIMIZING COSTS IN STEEL PRODUCTION
IN THE CONDITIONS OF CHANGING BUSINESS
SUSTAINABILITY AND MILITARY STATE**

**ОСОБЛИВОСТІ ОПТИМІЗАЦІЇ ВИТРАТ
СТАЛЕВИРОБНИЦТВА В УМОВАХ ЗМІНИ СТІЙКОСТІ
БІЗНЕСУ ТА ВІЙСЬКОВОГО СТАНУ**

Fedorov S.O.,

*Student (group 051-23-1m),
LLC “Technical university
“Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Федоров С.О.,

*студент групи 051-23-1м,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Tereshko Yu.V.,

*PhD (Economics), Associate Professor,
LLC “Technical university
“Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Терешко Ю.В.,

*к.е.н., доцент, доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Сталевиробнича галузь є критично важливою для глобальної економіки але, як і багато інших галузей, за останні роки вона зіткнулася з безпрецедентними викликами. Крім традиційних ринкових коливань, пандемія COVID-19, зростання вартості сировини, енергетичної кризи а також збройна агресія спричинили значні труднощі для виробників сталі. Сьогодні галузь знаходиться на порозі масштабних змін, де ключовими факторами виживання та процвітання стають стратегії оптимізації витрат та підвищення операційної ефективності. Українські виробники, які раніше займали провідні позиції у світовому сталевиробництві, стикаються з унікальними викликами, пов'язаними із війною. Однак водночас війна відкрила можливості для адаптації, інновацій та модернізації.

В даному дослідженні автори аналізують стратегії оптимізації витрат у сталевиробництві на основі прикладів міжнародних та українських компаній в умовах глобальних змін ринку та військового стану України. Особлива увага приділяється енергетичній ефективності, технологічним інноваціям, логістиці та адаптації до нових ринкових умов.

Металургійний ринок протягом останніх років зіткнувся зі значними коливаннями цін на сировину та енергоносії. Зміни у вартості сировини, наприклад залізної руди та вугілля, впливають на собівартість виробництва сталі. Також на ціни суттєво впливають геополітичні події та зміни в торгівлі, такі як введення мита чи торговельні обмеження. До того ж посилення регуляції у галузі охорони навколишнього середовища вимагає від виробників сталі модернізації своїх процесів та переходу на більш екологічні технології [1].

Ще одним важливим фактором є пандемія COVID-19, яка призвела до порушення глобальних ланцюгів постачання, що вплинуло на сталеві підприємства, особливо в контексті доступу до сировини та збуту готової продукції. Підприємства змушені переглядати свої логістичні рішення, оптимізуючи процеси доставки та постачання, щоб мінімізувати витрати.

До війни Україна була одним із найбільших виробників сталі у світі, завдяки багатим природним ресурсам та потужним підприємствам у Донецькій, Луганській та Запорізькій областях. Однак повномасштабна російська агресія призвела до руйнування багатьох виробничих потужностей та інфраструктури, таких як «Азовсталь» і Маріупольський металургійний комбінат, які стали епіцентрами бойових дій. Це спричинило значне скорочення обсягів виробництва сталі в Україні.

Компанії вимушені перебудовувати логістичні ланцюги через блокаду українських портів та зруйновану інфраструктуру. У таких умовах українські виробники, такі як «Метінвест» та «АкселорМіттал Кривий Ріг», змушені використовувати залізничні шляхи через Польщу та інші країни ЄС для експорту своєї продукції.

Попри всі труднощі, галузь шукає можливості для відновлення та адаптації. Наприклад, «АкселорМіттал Кривий Ріг» продовжує працювати на знижених потужностях і зосереджується на модернізації обладнання для зниження енергоспоживання [2].

Технологічні інновації та автоматизація є важливими інструментами для підвищення операційної ефективності та скорочення витрат. Впровадження автоматизованих систем управління виробничими процесами дозволяє зменшити кількість дефектів, підвищити якість продукції та оптимізувати витрати на виробництво.

Наприклад, австрійська компанія Voestalpine активно використовує штучний інтелект для управління процесами плавки, що дозволило зменшити кількість енергетичних витрат на 12%. Українські виробники також працюють над впровадженням таких рішень. Модернізація обладнання на українських підприємствах, попри війну, дозволить у

майбутньому знизити залежність від дорогих енергоресурсів та сировини.

Однією з найважливіших стратегій оптимізації витрат є підвищення енергоефективності виробничих процесів. Виробництво сталі є енергоємним процесом, тому зниження витрат на енергоспоживання дозволяє значно оптимізувати собівартість продукції.

Компанії, такі як Tata Steel, активно інвестують у нові енергоефективні технології, такі як системи утилізації тепла. Це дозволило скоротити енергетичні витрати на 10% та підвищити рентабельність виробництва. В Україні зростання вартості енергоносіїв стимулює місцеві підприємства до впровадження нових технологій, зокрема використання електропечей та альтернативних джерел енергії [3].

Після впровадження військового стану, логістичні ланцюги в Україні були серйозно порушені. Блокада портів та руйнування залізничних шляхів вимусили компанії шукати альтернативні маршрути для експорту продукції. Наприклад, «Метінвест» адаптував свої логістичні ланцюги, збільшивши експорт через західні кордони України. Хоча це підвищує витрати на транспортування, воно дозволяє продовжувати операційну діяльність і зберегти ринкові частки на міжнародних ринках.

Українські компанії змушені шукати нові ринки збуту через блокаду традиційних експортних шляхів і скорочення попиту на внутрішньому ринку. Це призводить до диверсифікації ринків, зокрема виходу на ринки Європейського Союзу, Туреччини та Азії [4].

Крім того, війна змусила компанії переглянути свої відносини з постачальниками сировини. Наприклад, відмова від російських енергоресурсів та постачальників вугілля стимулює пошук нових партнерів в інших країнах.

Існує безліч прикладів успішної адаптації та оптимізації.

Наприклад, міжнародна компанія ArcelorMittal активно впроваджує стратегії оптимізації витрат через технологічні інновації та автоматизацію виробництва. Впровадження автоматизованих систем управління дозволило скоротити витрати на 15%, а також знизити використання енергії на 20%. Це забезпечило компанії конкурентні переваги на глобальному ринку.

Австрійський виробник Voestalpine використовує передові технології для оптимізації виробництва, такі як штучний інтелект і автоматизація процесів плавки. Це дозволило їм знизити витрати на виробництво на 12% та підвищити ефективність на 10%.

Українська компанія «Метінвест» демонструє успішну адаптацію до нових умов через впровадження інновацій та оптимізацію логістичних

ланцюгів. Перехід на альтернативні маршрути експорту, збільшення використання залізничного транспорту та інвестиції у модернізацію виробничих потужностей дозволили компанії зберегти операційну діяльність та залишатися одним із лідерів українського ринку сталі [5].

Відновлення сталевиробництва в Україні після закінчення війни може стати поштовхом для економічного зростання. Залучення іноземних інвестицій у модернізацію виробництв, впровадження нових технологій та підтримка державних програм для розвитку сталевиробництва можуть сприяти відновленню галузі. Перспективи для сталевиробництва включають:

- зелені технології (переорієнтація на екологічні технології, що зменшують викиди та енергетичні витрати);
- співпраця з міжнародними партнерами (розширення співпраці з міжнародними компаніями для обміну технологіями та досвідом);
- відновлення інфраструктури (розвиток логістичної інфраструктури для полегшення постачання та зниження витрат) [6].

Отже, оптимізація витрат у сталевиробництві є критично важливою стратегією для забезпечення стійкості бізнесу в умовах сучасних викликів. Впровадження нових технологій, підвищення енергоефективності, автоматизація процесів та адаптація логістичних рішень допомагають компаніям залишатися конкурентоспроможними. Українські сталеві підприємства, незважаючи на складнощі, демонструють здатність до адаптації та інновацій, що свідчить про їх потенціал у післявоєнний період. Ефективна оптимізація витрат може стати основою для відновлення та зростання сталевиробництва в Україні.

Перелік використаних джерел

1. Управління організаційними змінами в трансформації бізнесу. White Sales: веб-сайт. URL: <https://www.whitesales.ua/uk/blog/upravlinnya-organizacijnimi-zminami-v-transformaciyi-biznesu>. (дата звернення: 15.10.2024)
2. «АкселорМіттал Кривий Ріг» скоротить потужності через зростання цін на е/е та сповільнення експорту: веб-сайт. URL: <https://gmk.center/ua/news/arselormittal-krivij-rig-skorotit-potuzhnosti-cherez-zrostannya-cin-na-e-e-ta-spovilnennya-eksportu/>.(дата звернення: 18.10.2024)
3. Сучасні технології та світові тенденції в металургії: веб-сайт. URL: Сучасні технології та способи виробництва сталі. (дата звернення: 18.10.2024)

4. Cherniavska I. Organizational support for industrial restructuring at metallurgical enterprises. *Modern Economics*, 2018. №12. С. 259–265 [https://doi.org/10.31521/modecon.V12\(2018\)-26](https://doi.org/10.31521/modecon.V12(2018)-26) (дата звернення: 15.10.2024)

5. Срінівасан, К., Сарулкар, П. та Ядав, В.К. «Операційна досконалість сталеливарної промисловості з використанням підходу Lean Six Sigma: приклад прикладу», *Міжнародний журнал управління якістю та надійністю*, том. 41 № 3, стор. 826-849. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-08-2022-0250> (дата звернення: 22.10.2024)

6. Why green steel should play a vital role in Ukraine's post-war-recovery: веб-сайт. URL: <https://www.weforum.org/agenda/2024/07/green-steel-vital-role-ukraine-post-war-recovery/>. (дата звернення: 15.10.2024)

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-101>

MODELING OF WHIRL SIMULATION BITS OF THE DRILL STRING

МОДЕЛЮВАННЯ КОЛИВАНЬ КРУЖЛЯННЯ ДОЛІТ БУРИЛЬНОЇ КОЛОНИ

Shevchuk L.V.,

PhD (Engineering),

Associate Professor,

National Transport University,

Kyiv, Ukraine

Шевчук Л.В.,

к.т.н., доцент,

Національний транспортний

університет,

м. Київ, Україна

Zaiets Yu.O.,

PhD (Engineering),

Associate Professor,

National Transport University,

Kyiv, Ukraine

Засць Ю.О.,

к.т.н., доцент,

Національний транспортний

університет,

м. Київ, Україна

At present, hydrocarbon fuel extraction is associated with significant technological difficulties in drilling deep wells. Critical bending bulges of the drill string and its vibrations, which simultaneously include several different oscillatory phenomena, significantly complicate the identification of each of them and do not allow us to evaluate and explain the mechanisms of their influence on the dynamics of the system. In cases where the bit is subject to

normal and tangential forces of contact and frictional interaction of the bit with the borehole wall, the geometric center of the bit begins to move around the axial line of the well, ahead of or behind the rotational movement of the string itself. Such movements of the bit are called whirling simulations.

A detailed study of the simulations of the whirlpool based on the mathematical model "mass-spring", in which the bit is replaced by a hard disk, and the elastic column by a spring, began with the work [5]. Analysis of the simulations of the whirlpool using a disk model, in which the dynamic effect is mitigated, was proposed in the works [1, 2]. The disk model of oscillations received the next complication due to the consideration of the elastic compliance of the pipe of the drill string in its lower part [3, 7, 10]. Among the publications in this area, a special place is occupied by the article [6], in which it was first noted that the form of the simulations of the whirlpool largely depends on the geometry of the bit.

As noted in the publication [9], whirling simulations are the most typical dynamic process, accompanying, as practical observations and statistics show, about half of all drilled wells. At the same time, the frequency of whirling simulations can exceed the angular velocity of rotation of the drill string itself from 5 to 30 times, and the forms of movement of the bit form complex irregular figures, leading to fatigue and destructive effects on the structures of the lower part of the drill string. Considering that in the scientific literature these oscillations are studied using very simplified mathematical models, it can be noted that the problem of developing a more accurate mathematical model, compiled taking into account the action of axial force, the real geometric shape of the bit and taking into account its contact interaction with the bottom of the well, is relevant.

The simulations of the whirling drill bit includes bending oscillations of the drill string caused by the action of time-varying normal and tangential forces of contact and frictional interaction between the bit and the borehole wall. In this case, the center of the drill bit begins to move around the borehole axis, leading or lagging behind the rotation of the drill string itself. To study the simulations of the whirling of the initially disturbed system, the methods of nonholonomic mechanics are used [4, 8]. The main differential equations in partial derivatives are derived taking into account the bending compliance of the lower part of the drill string and nonholonomic rolling with rotation of the bit along the bottom of the borehole. To study the buckling of the drill string, a rotational coordinate system is used. Therefore, the Coriolis inertial forces are taken into account. With their use, the oscillations of the whirling of spheroidal, as well as oblong and oblate ellipsoidal bits are analyzed. As established by calculations, under conditions of reduced bending rigidity of the drill string, the oscillation of the bit rotation can be both stable and unstable. Using the simplest kinematic schemes of the ellipsoid body rolling,

it was found that flattened bits are more sensitive to initial disturbances and their trajectories can have tortuous lines that resemble a multi-petal flower associated with large values of acceleration and inertial forces.

It is shown that depending on the initial conditions and the shape of the bit, its rolling on the bottom surface can take the most unexpected modes and be accompanied by the movement of the contact point along smooth, tortuous trajectories, curves with looped lines. Some of these trajectories are shown in Fig. 1. Sometimes the bit can stop simulations and change the direction of its circular motion. Such movement is a reverse rotation, since the rotation of the bit and the drill string is carried out in opposite directions. In practice, it is considered the most unfavorable, since it is associated with the greatest dynamic loads on the bit and the drill string.

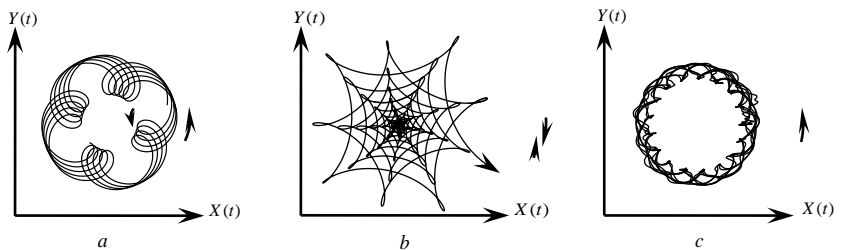


Fig. 1. Modes of the ellipsoid bit center rolling on the bore-hole bottom surface

The developed methods can be used to predict and qualitatively assess the simulations modes of the bit rotation at the stages of well design and drilling.

Перелік використаних джерел

1. Brett J.F., Warren T.M., Behr S.M. Bit whirl – a new theory of PDC bit failure. *SPE Drilling Engineering*. 1990. V.5, N 6. P. 275 – 281.
2. Chen S.L., Blackwood K., Lamine E. Field investigation of the effects of stick-slip, lateral, and whirl vibrations on roller-cone bit performance. *SPE Drilling & Completion*. 2002. V.17. P.15–20.
3. Christoforou A.P., Yigit A.S. Dynamic modelling of rotating drillstrings with borehole interactions. *Journal of Sound and Vibration*. 1997. V.206, N 2. P. 243–260.
4. Gulyayev V.I., Shevchuk L.V. Nonholonomic Dynamics of Drill String Bit Whirling in a Deep Bore-Hole. *J. Multi-body Dynamics*. 2013. V.227(3). P. 234-244.

5. Jansen J.D. Whirl and chaotic motion of stabilized drill collars. *SPE Drilling Engineering*. 1992. V.7, N 2. P. 107–114.
6. Kovalyshen Y. A simple model of bit whirl for deep drilling applications. *Journal of Sound and Vibration*. 2013. V.332, N 24. P. 6321-6334.
7. Leine R.I., Van Campen D.H., Keultjes W.J.G. Stick-slip whirl interaction in drillstring dynamics. *J. Vibr. and Acoust.* 2002. V.124. P. 209-220.
8. Neimark Ju.I., Fufaev N.A. Dynamics of Nonholonomic Systems. Providence, RI, 1972.
9. Stroud D., Pagett J., Minett-Smith D. Real-time whirl detector improves RSS reliability, drilling efficiency. *Hart Exploration & Production Magazine*. 2011. V.84, N 8. P.42 – 43.
10. Yigit A.S., Christoforou A.P. Stick-slip and bit-bounce interaction in oil-well drillstrings. *Journal of Energy Resources Technology*. 2006. V.128, N 4. P.268-274.

SOFTWARE AND INFORMATION SUPPORT FOR COMPUTERIZED SYSTEMS OF BUSINESS PROCESS MANAGEMENT

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-102>

ANALYSIS OF APPROACHES TO DEFINING SOFTWARE REQUIREMENTS QUALITY

АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ВИМОГ ДО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Gobov D.A.,

*PhD (Engineering), Associate
Professor, National Technical
University of Ukraine «Igor Sikorsky
Kyiv Polytechnic Institute»,
Kyiv, Ukraine*

Гобов Д.А.,

*к.т.н., доцент, Національний
технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»,
Київ, Україна*

Shevchenko N.Yu.,

*PhD (Economics), Associate Professor,
LLC «Technical university
«Metinvest polytechnic»,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Шевченко Н.Ю.,

*к.е.н., доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Формалізація вимог до програмного забезпечення є критичним аспектом забезпечення його якості продукту та якості під час застосування. У зв'язку зі зростанням складності інформаційних систем, а також підвищенням вимог до якості програмних продуктів, роль бізнес-аналізу в процесі виявлення, аналізу, документування та моделювання вимог набуває особливої актуальності. Від якості виконання задач бізнес-аналізу залежить рівень структурованості вимог, точність постановки задач команді розробки, а також можливість ефективного контролю змін. Це дозволяє уникнути проблем, пов'язаних з «розповзанням вимог» та затримками в розробці, забезпечуючи надійну основу для реалізації успішних проєктів з розробки програмного забезпечення. Залежно від обраної методології розробки, характеру проєкту та вимог замовника, для документування вимог можуть

застосовуватись різні підходи. Ключові підходи до формалізації вимог і забезпечення їхньої якості були визначені авторами у роботі [1].

Традиційні методи, наприклад, Waterfall, ґрунтуються на детальному документуванні вимог у вигляді специфікацій, таких як Software Requirements Specification (SRS). Згідно з IEEE Std 830-1998, SRS повинна відповідати низці критеріїв якості, включаючи завершеність, послідовність, можливість перевірки, модифікованість та відстежуваність. Деталізована структура специфікацій сприяє створенню чіткого орієнтира для розробки ПЗ і мінімізації непорозуміння між представниками замовника та командою розробників. Недоліком цього підходу є його обмежена адаптивність до змін, що може знижувати ефективність за динамічних умов проекту.

Гнучкі методології, такі як Scrum та SAFe, передбачають створення вимог у форматі коротких описів, зокрема, користувацьких історій (User Story), які відображають потреби користувачів і бізнес-цілі. User Story формують беклог продукту (Product Backlog) і використовуються для швидкої адаптації до змін у проекті. Критерії якості вимог в форматі User Story базуються на принципі INVEST: незалежність (Independent), обговорюваність (Negotiable), цінність (Valuable), оцінюваність (Estimable), малий розмір (Small) і можливість перевірки (Testable). Цей підхід забезпечує гнучкість вимог, однак іноді потребує додаткового документування у випадках підвищених вимог до звітності чи регуляторного контролю.

На проектах, що потребують підвищеної надійності та точності використовуються формальні специфікації. Підхід базується на використанні формальних мов, таких як Vienna Development Method, Spec# та RAISE Specification Language, що забезпечують точність і можливість логічного доведення коректності вимог. Формальні специфікації застосовуються у критичних системах, де точність і однозначність є пріоритетними. Перевагою цього підходу є можливість проведення формальної верифікації вимог, що знижує ймовірність неузгодженостей і забезпечує відповідність високим стандартам надійності.

В процесі забезпечення якості програмного забезпечення широко використовуються міжнародні стандарти, які окреслюють ключові характеристики, необхідні для оцінки та контролю якості програмних продуктів. Відомі стандарти, такі як ISO/IEC 25019:2023, ISO/IEC 5055:2021 та ISO/IEC/IEEE 12207:2017, містять концептуальні основи, що дозволяють розробникам формалізувати вимоги до якості,

відстежувати їхню відповідність та забезпечувати очікування зацікавлених сторін [2].

ISO/IEC 25019:2023 – стандарт SQuaRE визначає якість програмного забезпечення за кількома вимірами, зокрема внутрішньою, зовнішньою якістю та якістю під час використання. Внутрішня якість описує характеристики, які можна оцінити до етапу розгортання, зовнішня якість стосується продуктивності ПЗ у роботі, а якість під час використання охоплює можливість програмного забезпечення відповідати очікуванням кінцевих користувачів під час експлуатації. Стандарт також встановлює 8 характеристик якості, таких як функціональність, надійність та зручність використання, що допомагає визначити основні аспекти забезпечення якості в різних умовах застосування ПЗ.

Стандарт ISO/IEC 5055:2021 запроваджує поняття "структурна якість", що описує статичні характеристики програмного забезпечення та вимірює їхню відповідність заявленим і прихованим потребам. Зазначений в стандарті підхід спрямований на автоматизоване вимірювання якості коду, включаючи перевірку його складності, безпеки та надійності, що є важливим для великих проєктів, де кількість змін коду та ризик помилок є значними.

Стандарт життєвого циклу ПЗ ISO/IEC/IEEE 12207:2017 акцентує увагу на забезпеченні якості з самого початку процесу розробки шляхом чіткої ідентифікації та аналізу вимог. Це підкреслює важливість залучення бізнес-аналітиків та інженерів вимог для визначення чітких вимог на ранніх етапах, що створює передумови для ефективної верифікації та валідації на більш пізніх етапах.

Незалежно від обраного підходу до документування вимог якість вимог до програмного забезпечення значною мірою залежить від ретельного рецензування, яке здійснюється шляхом перегляду та обговорення вимог серед зацікавлених сторін, зокрема бізнес-аналітиків, розробників, тестувальників та кінцевих користувачів. Рецензування дозволяє виявити недоліки, двозначності або суперечності, які можуть вплинути на процес розробки чи подальшу експлуатацію програмного продукту. Такий спільний аналіз сприяє підвищенню чіткості вимог та їхньої відповідності початковим бізнес-цілям проєкту, знижуючи ризики внесення змін на пізніших етапах розробки, що є критично важливим для дотримання бюджету та строків.

Важливими етапами контролю якості є також валідація та верифікація. Валідація забезпечує перевірку вимог на предмет відповідності очікуванням кінцевих користувачів та загальним цілям

бізнесу. Її основна мета – гарантувати, що вимоги справді вирішують конкретні проблеми чи задовольняють потреби користувачів, що значно знижує ризик невдоволення кінцевих користувачів після впровадження продукту. Верифікація орієнтована на технічний аспект вимог: вона визначає, чи достатньо вимоги деталізовані, послідовні й логічні, щоб їх можна було використовувати як базу для подальшої розробки. Разом ці процеси дозволяють забезпечити повноту, узгодженість і технічну доцільність вимог, що є важливими умовами для створення якісного програмного продукту.

Однак зазначимо, що ефективність формалізації вимог до програмного забезпечення залежить не лише від обраної методології та рівня адаптивності проекту до змін, але й від чіткого визначення архітектури вимог як бізнес-аналітичного продукту, що забезпечує цілісну структуру для систематизації вимог на різних рівнях деталізації [1]. Архітектура вимог дозволяє інтегрувати підходи до узгодження, повноти та якості вимог, створюючи єдину інформаційну базу для зацікавлених сторін та команди розробників. Зважаючи на те, що потреби стейкхолдерів можуть змінюватися протягом життєвого циклу проекту, архітектура вимог виконує важливу роль у підтримці послідовності та гнучкості вимог, зберігаючи їхню відповідність початковим бізнес-цілям проекту.

Перелік використаних джерел

1. Гобов Д. А., Шевченко Н. Ю. Визначення архітектури вимог до ІТ-рішення як бізнес-аналітичного продукту. Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2024. № 1 (27). С. 26–38. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2024.27.026>.

2. Gobov D.A., Zuieva O. V. Examining software quality concept: business analysis perspective. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. 2023. № 2 (10). С. 9–14. DOI: <https://doi.org/10.20998/2079-0023.2023.02.02>.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-103>

**SECURING WEB APPLICATIONS IN COMPUTERIZED
MANAGEMENT SYSTEMS: MODERN THREATS
AND EFFECTIVE PROTECTION METHODS**

**БЕЗПЕКА ВЕБ-ДОДАТКІВ У КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ
СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ: СУЧАСНІ ЗАГРОЗИ
ТА ЕФЕКТИВНІ МЕТОДИ ЗАХИСТУ**

Hurkovska S.S.,

*PhD (Engineering),
Associate Professor, LLC "Technical
university "Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Гурковська С.С.,

*к.т.н., доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Одним з найважливіших аспектів ведення сучасного бізнесу є інформаційна безпека. Все частіше бізнес використовує різноманітні веб-сервіси для заохочування користувачів, тобто бізнес-процеси активно інтегруються з інформаційними системами, це в свою чергу накладає певну відповідальність процес обробки та збереження великого обсягу чутливих даних. Тому постає задача постійного вдосконалення методів захисту.

Одна з найпоширеніших загроз витоку конфіденційної інформації це атака типу XSS (Cross-Site Scripting). Такий тип атаки дає можливість зловмисникам вбудовувати шкідливий код у веб-додаток. Такий код дає можливість підмінити особистість користувача. Це може призвести до витоку конфіденційної інформації, зміни важливих бізнес-даних або перенаправлення користувачів на сторонні сайти. Щоб захиститися від подібних атак є кілька способів, в тому числі впровадження Content Security Policy (CSP) дозволяє захиститися від таких атак, обмежуючи завантаження та виконання сторонніх ресурсів у веб-додатку.

Такий вид атаки як CSRF (Cross-Site Request Forgery) дає можливість зловмиснику використовувати сеанс авторизованого користувача для виконання непередбачених та небажаних операцій. Така атака також являє собою серйозний ризик для бізнес-систем, оскільки можливі несанкціоновані транзакції, зміна налаштувань або маніпуляція даними. Захист від CSRF передбачає використання CSRF-токенів, які генеруються на сервері та перевіряються під час кожного запиту, що надходить до бізнес-системи.

SQL-ін'єкції є ще однією поширеною загрозою, яка дозволяє зловмисникам маніпулювати запитами до бази даних, отримувати

доступ до чутливої інформації, видаляти або змінювати дані. Цей тип атака може порушити цілісність даних, що використовуються у процесах управління бізнесом. Використання параметризованих запитів та ORM-фреймворків дозволяє значно зменшити ризики SQL-ін'єкцій, оскільки ці підходи запобігають прямій маніпуляції SQL-кодом.

Комплексний підхід до захисту веб-додатків, які використовуються в бізнес-процесах, передбачає впровадження заходів безпеки на кожному етапі життєвого циклу розробки. Це означає, що тестування на вразливості, регулярні аудити коду та постійне оновлення компонентів повинні стати невід'ємною частиною розробки та підтримки додатків. Важливо також проводити моніторинг і швидко реагувати на нові загрози, адаптуючи систему захисту відповідно до змін у ландшафті кібербезпеки.

Безпека веб-додатків – це критичний аспект в системах інтерактивного управління бізнес-процесами, який вимагає постійного контролю та оновлення, а також введення певних інноваційних рішень. Запровадження сучасних методів захисту дозволяє не тільки захистити дані компанії, а й забезпечити стабільність бізнес-процесів, що є основою успішної діяльності у цифровому середовищі.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-104>

**PROJECT CALENDAR IN MICROSOFT EXCEL:
A FLEXIBLE, CONVENIENT, AND QUICK PLANNING METHOD**

**ПРОЄКТНИЙ КАЛЕНДАР В MICROSOFT EXCEL:
ГНУЧКИЙ, ЗРУЧНИЙ ТА ШВИДКИЙ СПОСІБ ПЛАНУВАННЯ**

Derzhevetska M.A.,
*PhD (Economics),
LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Держевецька М.А.,
*к.е.н.,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Календарне планування у бізнес-процесах відіграє ключову роль, оскільки є інструментом, що забезпечує структурованість і послідовність роботи на кожному етапі проекту. Чіткий графік дозволяє не лише організувати процеси, а й значно підвищити ефективність управління ресурсами, зокрема людськими, матеріальними та технічними. Календар дозволяє уникнути простоїв та дублювання зусиль, адже кожен етап виконується в оптимальні терміни. Він стає важливим джерелом аналітики, оскільки дає змогу оцінити ефективність виконання проекту після його завершення, виявити причини можливих затримок і скорегувати процеси для майбутніх проєктів. Таким чином,

календарне планування є основою для підвищення ефективності, організованості та рентабельності бізнес-процесів, що надає компаніям конкурентні переваги.

Існує багато засобів для побудови календаря проєктів, кожен з яких має свої особливості, переваги й обмеження. Серед найбільш популярних інструментів варто виділити такі як Microsoft Project, Asana, Trello, Jira, Basecamp, та спеціалізовані системи ERP для управління виробничими процесами. Ці програми дозволяють не тільки створювати календарі, але й організувати весь процес управління проєктом – від планування ресурсів до контролю виконання та аналітики.

Проте вибір саме Excel є обґрунтованим з кількох причин. По-перше, це універсальний інструмент, який входить до стандартного пакету Microsoft Office, що робить його доступним для більшості підприємств, зокрема малих та середніх, які не завжди можуть дозволити собі інвестувати в дороге програмне забезпечення для управління проєктами. Крім того, Excel легко налаштовується під конкретні потреби і не потребує великих витрат на навчання персоналу.

По-друге, Microsoft Excel надає гнучкість у створенні календарів будь-якої складності, що дозволяє користувачам організувати проєкти на свій розсуд, з використанням формул, умовного форматування, діаграм і навіть макросів для автоматизації рутинних завдань. На відміну від багатьох спеціалізованих програм, Excel дозволяє створювати індивідуальні шаблони, які можна адаптувати до специфіки конкретного проєкту чи компанії.

Третя причина – це простота обміну та інтеграції з іншими програмами. Excel-файли легко надсилати й зберігати, а також інтегрувати з іншими системами та базами даних, що дозволяє використовувати його для оперативного обміну інформацією між відділами і зручно доповнювати загальну інформаційну інфраструктуру підприємства.

Зрештою, завдяки своїй універсальності, гнучкості та економічності, Excel залишається популярним вибором для створення календарів проєктів, особливо в бізнесі, де важлива не лише якість планування, а й можливість швидкого налаштування під змінні умови та бюджетні обмеження.

Існує багато різних засобів для побудови календарів проєктів за допомогою Excel, і кожен із них має свої особливості, що дозволяють обирати оптимальний підхід залежно від потреб та складності завдань.

Один із найпростіших методів – використання базових таблиць та умовного форматування. У цьому випадку користувачі створюють таблицю, наприклад, де строки відповідають дням або тижням, а стовпці відображають етапи або задачі. Цей підхід підходить для невеликих проєктів, які не потребують детальної розбивки або інтеграції з іншими процесами. Користувачі можуть легко застосовувати умовне

форматування, виділяючи комірки кольорами для позначення важливих дат чи дедлайнів.

Іншим варіантом є використання діаграм Ганта, які можна створювати вручну або за допомогою вбудованих шаблонів Excel. Цей метод дозволяє візуалізувати послідовність та тривалість задач, що зручно для планування складних багатоступневих проєктів. Діаграма Ганта відображає часові інтервали для кожної задачі, полегшує контроль виконання та сприяє вчасному виявленню затримок.

Ще одним методом є впровадження автоматизованих формул та макросів. Цей підхід зручний для більш досвідчених користувачів Microsoft Excel, які прагнуть автоматизувати оновлення даних або створення звітів. Макроси та формули дозволяють налаштувати автоматичне оновлення дати завершення задачі при зміні тривалості, обчислювати критичний шлях чи визначати інші ключові параметри проєкту. Такий варіант побудови календаря підходить для великих проєктів, де важлива точність та оперативність даних.

Вибір між цими методами залежить від складності проєкту, досвіду користувача та цілей, яких потрібно досягти. Простий календар у вигляді таблиці підходить для оперативного планування, діаграма Ганта – для більш детального управління строками, а макроси – для проєктів, де необхідна глибока аналітика та автоматизація. Кожен користувач обирає той метод, що є найбільш зручним та зрозумілим, враховуючи вимоги конкретного проєкту та доступні ресурси.

Використання Excel для побудови календарів проєктів – це практичне, гнучке та економічно обґрунтоване рішення, яке дозволяє ефективно організувати та контролювати всі етапи виробничого процесу. Завдяки універсальності та доступності Excel можна створювати як прості, так і складні календарі різними методами. Кожен із цих способів забезпечує контроль за строками, оптимізацію ресурсів і гнучкість у випадку змін.

Цей підхід допомагає уникнути затримок, забезпечити прозорість процесів та ефективну координацію між відділами, що важливо для узгодженості дій та досягнення цілей в обмежені строки. Зрештою, належне календарне планування позитивно впливає на рентабельність та продуктивність підприємства, дозволяючи знизити витрати, запобігти простою і підвищити ефективність виконання проєктів. Excel стає не тільки інструментом планування, а й цінним засобом для стратегічного управління виробничими процесами.

Прелік використаних джерел

1. Using Excel for Project Management: Benefits and Limitations URL: <https://nimbusweb.me/blog/excel-for-project-management/> (дата звернення: 20.10.2024).

2. Advantages of Gantt Charts in Project Planning URL: <https://business.adobe.com/blog/basics/what-is-a-gantt-chart> (дата звернення: 21.10.2024).

3. 25 Best Free Project Management Software: Tools to Try in URL: <https://clickup.com/blog/free-project-management-software/> (дата звернення: 21.10.2024).

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-105>

THE PROCESS OF INVENTORYING CRITICAL INFORMATION AT THE ENTERPRISE

ПРОЦЕС ІНВЕНТАРИЗАЦІЇ КРИТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ НА ПІДПРИЄМСТВІ

Pchenko M.V.,

*Head of the Information Protection
Department, LLC Metinvest digital,
Student (group 122-23-1m),
LLC “Technical university
“Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Ільченко М.В.,

*начальник відділу захисту інформації,
ТОВ «Метінвест діджитал»,
студент гр. 122-23-1м,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Sahaida P.I.,

*DSc (Engineering), Associate Professor,
LLC “Technical university
“Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Сагайда П.І.,

*д.т.н., доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

В умовах швидкого розвитку технологій та зростання кількості кібератак сучасні підприємства стикаються з необхідністю забезпечення кіберстійкості. Одним з важливих елементів цього процесу є інвентаризація критичної інформації. Процес інвентаризації дозволяє виявити та класифікувати інформаційні активи (форму в якій обробляється інформація), що є критично важливими для підприємства, а також ідентифікувати потенційні ризики та загрози для їх безпеки. Процес необхідний для ефективного управління інформаційною безпекою, збереженням даних та їх плануванням їх захисту, зменшенням

ризиків впливу на репутацію компанії, довіри клієнтів та партнерів, а також її фінансової стабільності.

Одним з ключових аспектів інвентаризації критичної інформації є її відповідність міжнародним стандартам, таким як ISO/IEC 27001:2022. Цей стандарт надає керівництво щодо встановлення, впровадження, підтримки та постійного вдосконалення системи управління інформаційною безпекою (ISMS). Відповідність стандартам ISO дозволяє підприємствам організувати процеси інвентаризації та управління ризиками більш структуровано, що сприяє підвищенню загальної ефективності системи безпеки. Крім того, наявність сертифікації ISO 27001 може бути додатковою перевагою при співпраці з партнерами та клієнтами, оскільки це підтверджує високу якість управління інформаційною безпекою на підприємстві.

Процес інвентаризації критичної інформації допомагає підприємствам зосередити ресурси на найбільш важливих активах, знижуючи при цьому витрати та підвищуючи ефективність захисту. В умовах обмежених ресурсів та високої конкуренції важливо забезпечити, щоб вкладені в безпеку інвестиції мали максимальний ефект. Автоматизація процесів інвентаризації, впровадження інтелектуальних систем для аналізу та оцінки ризиків, а також інтеграція з іншими системами управління інформаційною безпекою дозволяють підприємствам оптимізувати використання ресурсів та підвищити загальну ефективність роботи.

Інвентаризація критичної інформації включає в себе кілька етапів: виявлення інформаційних активів, їх класифікація, оцінка ризиків та загроз, а також розробка заходів для їх мінімізації (може існувати окремо). Виявлення інформаційних активів передбачає створення повного переліку всіх даних, що є критичними для роботи підприємства. Класифікація інформаційних активів дозволяє визначити їх важливість та пріоритетність, що допомагає у подальшому розподілі ресурсів для їх захисту. Оцінка ризиків та загроз включає в себе аналіз потенційних вразливостей та ймовірності їх реалізації, а також визначення можливих наслідків для підприємства. На основі цього аналізу розробляються заходи для мінімізації ризиків, включаючи впровадження технічних, організаційних та процедурних заходів безпеки.

Розвиток процесу інвентаризації критичної інформації включає кілька ключових напрямків:

- автоматизація збору та обробки даних;

– використання сучасних технологій, таких як машинне навчання та штучний інтелект, для підвищення точності та швидкості процесів інвентаризації;

– впровадження інтелектуальних систем для аналізу та оцінки ризиків, що дозволяють прогнозувати можливі загрози та розробляти заходи для їх запобігання.

Великі підприємства для ефективної обробки цього процесу повинні мати систему, яка буде мати можливість електронно обслуговувати процеси збору та актуалізації інформаційних активів за допомогою розроблених стандартизованих даних з урахуванням сучасних можливостей інтеграції зі штучним інтелектом. Зв'язок зі штучним інтелектом дасть можливість аналітикам, інформаційній безпеці та бізнес-власникам інформації економити свій час для заповнення і скорочувати загальні терміни процесу.

Висновки. В умовах постійних кібератак та зростання вимог до захисту даних, процес інвентаризації критичної інформації стає невід'ємною частиною системи управління інформаційною безпекою. Відповідність міжнародним стандартам, таким як ISO/IEC 27001:2022, підвищує довіру до підприємства та дозволяє забезпечити високу якість захисту інформації. Автоматизація процесів та впровадження сучасних технологій дозволяють значно підвищити ефективність та знизити витрати на забезпечення безпеки. Інвентаризація критичної інформації допомагає підприємствам не лише краще захищати свої дані, але й оптимізувати використання ресурсів та підвищити загальну ефективність роботи.

Перелік використаних джерел

1. ISO/IEC 27001:2022 – Міжнародний стандарт управління інформаційною безпекою. URL: <https://www.iso.org/isoiec-27001-information-security.html> (дата звернення: 25.10.2024).

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-106>

USING ML.NET TO SOLVE A CLASSIFICATION TASK IN C#

ВИКОРИСТАННЯ ML.NET ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ КЛАСИФІКАЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ C#

Kasianiuk O.S.,
*Senior Lecturer,
LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Касьянюк О.С.,
*старший викладач,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

ML.NET [1] для C# є актуальним інструментом машинного навчання, особливо для розробників і компаній, що вже працюють у .NET екосистемі. Він забезпечує глибоку інтеграцію з .NET платформами, такими як ASP.NET та WPF, що робить впровадження моделей у реальні додатки максимально зручним і швидким. ML.NET використовує знайомий синтаксис C#, спрощуючи початок роботи для програмістів, що вже знають цю мову, та пропонує великий вибір вбудованих алгоритмів для різноманітних задач, таких як класифікація чи регресія.

Завдяки AutoML розробники можуть швидко налаштувати оптимальні параметри моделей навіть без глибоких знань у ML, а підтримка формату ONNX дозволяє використовувати моделі, створені в інших ML-екосистемах, таких як TensorFlow чи PyTorch, без необхідності переходу на інші платформи.

Проведемо дослідження ML.NET для вирішення задачі класифікації Ірисів Фішера [2]. В першу чергу потрібно підготувати класи для вхідних і вихідних даних моделі. Код для них продемонстровано на рисунку 1.

```
using Microsoft.ML.Data;

public class IrisData {
    [LoadColumn(0)]
    public float SepalLength;
    [LoadColumn(1)]
    public float SepalWidth;
    [LoadColumn(2)]
    public float PetalLength;
    [LoadColumn(3)]
    public float PetalWidth;
    [LoadColumn(4)]
    public string Label;
}

public class IrisPrediction {
    [ColumnName("PredictedLabel")]
    public string PredictedLabel;
}
```

Рис. 1. Код для збереження даних моделі

Далі вже йдуть налаштування моделі, її навчання та тестування, код для яких продемонстровано на рисунку 2. Цей код розроблявся для інтерактивного блокноту .Net Interactive.

```
using System;
using Microsoft.ML;
using Microsoft.ML.Data;

// Створюємо ML контекст
var mlContext = new MLContext();

// Завантажуємо дані
string dataPath = "iris.data";
IDataView dataView =
mlContext.Data.LoadFromTextFile<IrisData>(dataPath, hasHeader: false,
separatorChar: ',');

// Розбиваємо дані на тренувальні та тестові набори
var splitData = mlContext.Data.TrainTestSplit(dataView,
testFraction: 0.2);
var trainData = splitData.TrainSet;
var testData = splitData.TestSet;

// Створюємо пайплайн для підготовки даних і навчання моделі
var pipeline =
mlContext.Transforms.Conversion.MapValueToKey("Label")
    .Append(mlContext.Transforms.Concatenate("Features",
"SepalLength", "SepalWidth", "PetalLength", "PetalWidth"))
    .Append(mlContext.MulticlassClassification.Trainers.SdcaMaximumEntropy
("Label", "Features"))
    .Append(mlContext.Transforms.Conversion.MapKeyToValue("PredictedLabel"
));

// Навчаємо модель
var model = pipeline.Fit(trainData);

// Оцінюємо модель
var predictions = model.Transform(testData);
var metrics =
mlContext.MulticlassClassification.Evaluate(predictions, "Label",
"Score");

Console.WriteLine($"Log-loss: {metrics.LogLoss}");
Console.WriteLine($"Переконфігуровані дані точності:
{metrics.MacroAccuracy}");
Console.WriteLine($"Мікро точність: {metrics.MicroAccuracy}");

// Тестуємо на новому наборі даних
var predictor = mlContext.Model.CreatePredictionEngine<IrisData,
IrisPrediction>(model);
var sampleData = new IrisData()
{
    SepalLength = 5.1f,
    SepalWidth = 3.5f,
```

```

        PetalLength = 1.4f,
        PetalWidth = 0.2f
    };

    var prediction = predictor.Predict(sampleData);
    Console.WriteLine($"Прогнозований клас ірису: {prediction.PredictedLabel}");

```

Рис. 2. Налаштування, навчання та тестування моделі

Готову модель, яку ми навчили, можна зберегти у файл. Код для цього продемонстрований на рисунку 3.

```

// Зберігаємо модель на диск
string modelPath = "model.zip";
mlContext.Model.Save(model, trainData.Schema, modelPath);
Console.WriteLine("Модель збережено в файлі model.zip");

```

Рис. 3. Збереження моделі

Далі цю модель можна завантажити та знову використовувати для класифікації. Код для цього продемонстрований на рисунку 4.

```

// Завантажуємо модель
DataViewSchema modelSchema;
ITransformer loadedModel = mlContext.Model.Load(modelPath, out modelSchema);

// Створюємо PredictionEngine для використання завантаженої моделі
var loadedPredictor = mlContext.Model.CreatePredictionEngine<IrisData, IrisPrediction>(loadedModel);

// Виконуємо прогнозування на новому прикладі
var newSample = new IrisData()
{
    SepalLength = 5.1f,
    SepalWidth = 3.5f,
    PetalLength = 1.4f,
    PetalWidth = 0.2f
};

var newPrediction = loadedPredictor.Predict(newSample);
Console.WriteLine($"Прогнозований клас ірису для нової моделі: {newPrediction.PredictedLabel}");

```

Рис. 4. Завантаження та використання моделі

Цей приклад на C# і ML.NET реалізує модель для класифікації ірисів, показуючи весь процес створення: завантаження даних, їх поділ, налаштування обробки, тренування та оцінку моделі. Код також підтримує збереження та повторне завантаження моделі, що спрощує її застосування без повторного навчання.

ML.NET є чудовим вибором для розробників C# і компаній, які вже працюють в .NET екосистемі, забезпечуючи простий спосіб інтеграції ML у наявні рішення без складних інтеграцій або змін технологічного стеку.

Перелік використаних джерел

1. ML.Net. *NuGet: веб-сайт*. URL: <https://www.nuget.org/packages/microsoft.ml/> (Дата звернення 30.10.2024)
2. Iris Dataset. *UC Irvine Machine Learning Repository: веб-сайт*. URL: <http://archive.ics.uci.edu/dataset/53/iris> (Дата звернення 30.10.2024)

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-107>

ON THE PRINCIPLES OF DEVELOPING A COMPUTER PROGRAM FOR CALCULATING THE STRENGTH OF DOUBLE-BRACED I-BEAMS

ПРО ПРИНЦИПИ РОЗРОБКИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ПРОГРАМИ З РОЗРАХУНКУ НА МІЦНІСТЬ ДВОХОПОРНИХ ДВОТАВРОВИХ БАЛОК

Kostikov O.A.,

*PhD (Physics and Mathematics),
Associate Professor, LLC "Technical
university "Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Костіков О.А.,

*к.ф.-м.н., доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Kholodnyak Yu.S.,

*PhD (Engineering), Associate Professor,
Kramatorsk, Ukraine*

Холодняк Ю.С.,

*к.т.н., доцент,
м. Краматорськ, Україна*

З метою автоматизації розрахунку на міцність статично визначених двохопорних двотаврових балок було розроблено комп'ютерну програму, яка забезпечила рішення цієї задачі.

Актуальність розробки пов'язана з необхідністю забезпечити швидкий вибір матеріалу(номера двотавру), який витримає задане навантаження.

При розробці програми використовувався об'єктно-орієнтований підхід, тому її можна використовувати в якості прикладу при вивченні методології об'єктно-орієнтованого аналізу та проектування програмного забезпечення. Також програма може бути корисною для студентів при опануванні таких дисциплін, як опір матеріалів та будівельна механіка.

На відміну від існуючих програм [1-3], запропонована розробка відрізняється простотою експлуатації та використанням спрощеної методики розрахунку, заснованої на безпечних факторних просторах двотаврів [4].

Програма створена в середовищі програмування Python. Стандартний для Windows графічний інтерфейс робить роботу в цій програмі зрозумілою і простою. Для створення цього інтерфейсу використовувалась графічна бібліотека Python Tkinter.

На рис. 1 показано введення вхідних даних для роботи програми. Під час введення автоматично будується відповідна схема балки. Також при введенні проводиться валідація даних, введених користувачем для запобігання некоректному введенню інформації. Якщо було введено невірні дані, програма видає відповідне повідомлення.

Після введення вхідних даних шляхом вибору відповідних пунктів меню можна провести розрахунок опорних реакцій балки, побудувати епюри поперечних сил та згинальних моментів, визначити мінімальний номер двотавру, для якого виконуються умови міцності за нормальними, дотичними та еквівалентними напруженнями, побудову області безпечного факторного простору для знайденого номеру двотавра (рис. 2). Для перевірки того, що знайдений номер двотавру є мінімальним, будується область безпечного факторного простору для двотавра з меншим номером і графічно демонструється існування значень поперечних сил та згинальних моментів вздовж осі балки, які виходять за межі цієї області.

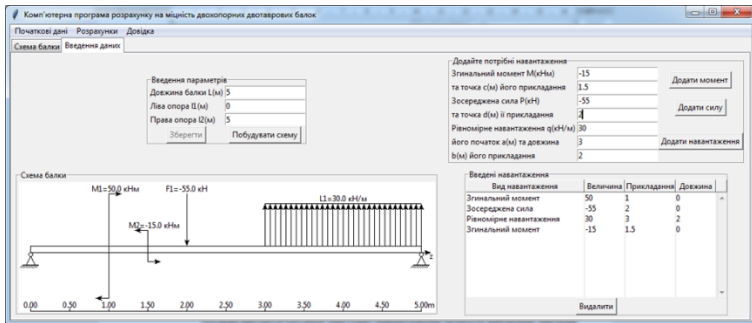


Рис. 1. Введені дані разом зі схемою балки

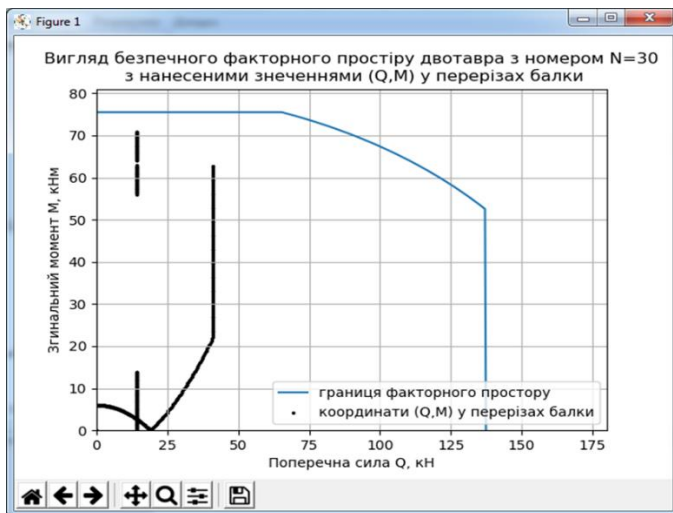


Рис. 2. Вигляд безпечного факторного простору двотавра

Таким чином, розроблена комп'ютерна програма надає можливість користувачу швидко визначити мінімальний номер двотавра, що задовольняє умовам міцності, забезпечуючи при цьому за рахунок оптимального вибору економію коштів, сприяє ефективному вивченню методів розрахунків, полегшуючи трудомісткі обчислювальні процеси та слугує прикладом об'єктно-орієнтованої розробки програмного забезпечення.

Перелік використаних джерел

1. SkyCiv Beam Software | SkyCiv Engineering. SkyCiv Cloud Structural Analysis Software | Cloud Structural Analysis Software and Calculators. URL: <https://skyciv.com/structural-software/beam-analysis-software/> (date of access: 15.10.2024).
2. Steel Beam Calculator – Detailed Calculations in Just Minutes. Steel Beam Calculator. URL: <https://www.steelbeamcalculator.com/en-us/> (date of access: 15.05.2024).
3. Beam Calculator. MechaniCalc: Quick & Intuitive Calculations for Mechanical Engineers. URL: <https://mechanicalc.com/calculators/beam-analysis/> (date of access: 15.10.2024).
4. Kholodnyak Yu., Kostikov A., Podlesny S. et al. About Computer Programs for Simplified Methodology of Complex Assessment of Strength of Two-beam Beams. *Перспективні технології та прилади*. 2019. No. 15. P. 99–108. URL: <https://doi.org/10.36910/6775-2313-5352-2019-15-15> (date of access: 15.10.2024).

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-108>

AUTOMATIC SYSTEM FOR MONITORING THE PARTICLE SIZE DISTRIBUTION OF RAW PELLETS

АВТОМАТИЧНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ СИРИХ ОБКОТИШІВ

Kuznitsov O.M.,
*student (group 122-24-1m),
LLC “Technical university
“Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Кузніцов О.М.,
*студент гр. 122-24-1м,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Вступ. Гранулометричний склад сирих обкотишів є критичним параметром у багатьох виробничих процесах, особливо в металургії. Від нього залежить якість кінцевого продукту, ефективність подальшої обробки та загальна продуктивність виробництва. Тому, автоматизація контролю цього параметра є важливим завданням для сучасних підприємств.

Принцип роботи. Основна ідея таких систем полягає в тому, щоб безперервно вимірювати розмір частинок сирих обкотишів і порівнювати отримані дані з заданими значеннями. При відхиленні від норми корегується технологічний процес для досягнення необхідного гранулометричного складу.

Вимірювальними пристроями АСКГСО є камери цілодобового контролю, які використовуються для отримання зображень частинок і подальшої їх обробки за допомогою програмного забезпечення. Система збирає показання гранулометричного складу сирих обкотишів на виході з чаш огрудкування.

Показання з камер цілодобового контролю збираються в технічному контролері зору ХРЕСТІА, обробляються та направляються у програмований логічний контролер подальшого аналізу. Розроблена система автоматизації збирає дані з інформаційних систем, трансформує та накопичує ці дані за допомогою збирача даних. Збір даних працює під керуванням програмного продукту PLC Server.

Сховище даних функціонує під керуванням реляційної СУБД Microsoft SQL Server, і виконано у вигляді набору взаємопов'язаних реляційних таблиць та допоміжних об'єктів. Детальний опис таблиць БД, використовуються для організації міжвідомчої взаємодії.

Як основний носій даних у системі застосовуються вбудовані накопичувачі на твердих магнітних дисках. Організація даних на дисках та доступ до інформації, що зберігається, забезпечуються засобами використовуваних операційних систем та СУБД, що входять до складу програмно-технічного комплексу.

Інформація про стан гранулометричного складу зберігається у внутрішнє сховище та відображається на екрані панелі керування і доступна на інформаційному порталі в локальній мережі в якому також буде відображатися й інша інформація про технологічний процес.

Висновки. Автоматична система контролю гранулометричного складу сирих обкотишів є важливим інструментом у залізорудному виробництві. Ця система дозволяє швидко та точно вимірювати розмір частинок сирих обкотишів, що дозволяє оперативно вносити корективи в технологічний процес і мінімізувати відхилення від заданих параметрів. Це забезпечує оптимальні умови випалу обкотишів та сприяє підвищенню якості готової продукції і зниженню витрат на виробництво.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-109>

**THE METHOD OF AUTOMATING THE CONTINUOUS
IMPROVEMENT SYSTEM IN THE SERVICES OF LIMITED
LIABILITY COMPANY “METINVEST BUSINESS SERVICES”**

**МЕТОДИКА АВТОМАТИЗАЦІЇ СИСТЕМИ БЕЗПЕРЕРВНОГО
ВДОСКОНАЛЕННЯ В СЕРВІСАХ ТОВАРИСТВА
З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ
«МЕТІНВЕСТ БІЗНЕС СЕРВІС»**

Ladygin O.V.,

*Student, LLC “Technical university
“Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Ладигін О.В.,

*студент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Sahaida P.I.,

*DSc (Engineering), Associate Professor,
LLC “Technical university
“Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Сагайда П.І.,

*д.т.н., доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Автоматизація процесів управління є основним інструментом для підвищення продуктивності та конкурентоспроможності в сучасних компаніях. Ця робота присвячена розробці інформаційної системи, яка оптимізує процеси безперервного вдосконалення сервісів у ТОВ «Метінвест Бізнес Сервіс». Застосування системи безперервного вдосконалення дозволяє значно підвищити якість послуг та поліпшити процеси прийняття рішень завдяки автоматизації збору, аналізу і впровадження пропозицій щодо вдосконалення. Система надає компанії можливість більш ефективно здійснювати зміни, знижуючи витрати та мінімізуючи часові ресурси, необхідні для реалізації рішень.

Дослідження має на меті створення автоматизованої системи, здатної забезпечити збір і аналіз оцінок якості послуг, а також керування пропозиціями з вдосконалення. Система повинна обробляти інформацію автоматично, інтегруючись із внутрішніми системами компанії, що забезпечує своєчасне прийняття рішень на основі реальних даних. Очікується, що ця система покращить управління пропозиціями, а також дозволить мінімізувати час на їх обробку та підвищити точність рішень.

Розробка системи базується на методах математичного моделювання. Імітаційне моделювання дозволяє відтворювати процеси обробки пропозицій та оцінювати вплив змін. Динамічне моделювання забезпечує аналіз стану системи у часі, що дає змогу відслідковувати прогрес пропозицій та їхній вплив на загальний результат роботи організації. Моделювання бізнес-процесів (BPMN) забезпечує детальну візуалізацію кожного етапу від подачі до реалізації пропозицій, що робить процес прозорим та легко керованим.

Процес розробки системи включав кілька етапів. На першому етапі проводився детальний аналіз предметної області для виявлення вузьких місць, що підлягають автоматизації. На наступному етапі формувалися математичні моделі, які враховували такі параметри, як час розгляду, витрати на реалізацію та очікуваний економічний ефект. Після цього моделі були перевірені на основі реальних даних для забезпечення точності прогнозів.

Основним інструментом для обробки та зберігання даних про пропозиції став SQL Server, а Power BI використовується для візуалізації даних та побудови інтерактивних дашбордів. Ці інструменти забезпечують цілісність та актуальність даних, необхідних для прийняття рішень.

Розроблений програмний комплекс має модульну архітектуру, що дозволяє легко інтегрувати його з іншими корпоративними системами. Включає функції для створення, редагування та візуалізації пропозицій, а також забезпечує інтеграцію з CRM і ERP, створюючи єдине інформаційне середовище.

Очікується, що автоматизація процесів дозволить збільшити частку реалізованих пропозицій на 30%, скоротити середній час обробки з та підвищити задоволеність клієнтів на 5-10% в залежності від функції. Впровадження даної системи сприятиме підвищенню прозорості та ефективності процесів управління пропозиціями, зокрема через інтеграцію автоматизованого збору та обробки даних.

Висновки. Розроблена методика автоматизації системи безперервного вдосконалення допомагає підвищити ефективність управління пропозиціями в ТОВ «Метінвест Бізнес Сервіс», сприяє досягненню стратегічних цілей компанії та дозволяє оптимізувати витрати при збереженні високої якості сервісів. Система також забезпечує ефективне управління клієнтським досвідом та дозволяє значно підвищити продуктивність праці спеціалістів відповідного напрямку.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-110>

USING MACHINE LEARNING TO PREDICT THE RESULTS OF CYBERSPORTS COMPETITIONS

ВИКОРИСТАННЯ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ КІБЕРСПОРТИВНИХ ЗМАГАНЬ

Mikheienko D.Yu.,

*PhD (Engineering),
Associate Professor, LLC "Technical
university "Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Міхєєнко Д.Ю.,

*к.т.н., доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Titenko D.A.,

*Student (group CS 23-2M),
Donbas State Engineering Academy,
Kramatorsk, Ukraine*

Тітенко Д.А.,

*студент гр. КН 23-2м,
Донбаська державна
машинобудівна академія,
м. Краматорськ, Україна*

У сучасному світі кіберспорт набув значної популярності та став повноцінною складовою спортивної індустрії. Гра Dota 2 є однією з найпопулярніших кіберспортивних дисциплін, яка залучає мільйони гравців та глядачів по всьому світу. Прогнозування результатів кіберспортивних матчів стає все більш актуальним як для аналітиків та тренерів команд, так і для глядачів, букмекерських компаній та інвесторів.

Використання методів машинного навчання для аналізу великих обсягів даних, що генеруються під час матчів, відкриває нові можливості для підвищення точності прогнозів та розробки ефективних стратегій. Проте, дослідження у цій галузі є відносно новими, і багато аспектів залишаються недостатньо вивченими, зокрема, вплив розміру вибірки та набору ознак на продуктивність моделей. Таким чином, тема дослідження є актуальною та відповідає сучасним тенденціям розвитку кіберспорту та технологій аналізу даних.

Для моделювання кіберспортивних матчів Dota 2 було обрано декілька методів машинного навчання, зокрема логістичну регресію, рандомний ліс, та XGBoost [1-3]. Вибір цих методів обумовлений їх здатністю обробляти великий обсяг даних, їхньою ефективністю в

задачах класифікації та прогнозування, а також здатністю враховувати складні залежності між параметрами.

Для реалізації моделей машинного навчання та аналізу даних використовується мова програмування Python. Ця мова була обрана через її доступність, широке ком'юніті та наявність великої кількості бібліотек для машинного навчання та обробки даних. Основні бібліотеки, які використовувалися: Scikit-Learn – для реалізації моделей логістичної регресії, рандомного лісу, XGBoost – бібліотека, що надає інструменти для реалізації та оптимізації моделі XGBoost, Pandas та NumPy – для обробки та підготовки даних.

На рисунку 1 наведена загальна архітектура програмного забезпечення, яка включає етапи збирання даних, їх попередньої обробки, навчання моделей, валідації та візуалізації результатів.



Рис. 1 Архітектура програмного забезпечення для моделювання кіберспортивних матчів Dota 2

Вибрані методи машинного навчання, дозволяють досягти високої точності у прогнозуванні. Завдяки використанню сучасного програмного забезпечення та методів моделювання, розроблена система має потенціал для покращення розуміння і аналізу кіберспортивних матчів Dota 2.

Перелік використаних джерел

1. Applied Logistic Regression: Third Edition. / Hosmer, David W.; Lemeshow, Stanley; Sturdivant, Rodney X. Wiley, 2013. 510 p.
2. Verma, A. and Dong, X. (2016) Detection of Ventricular Fibrillation Using Random Forest Classifier. Journal of Biomedical Science and Engineering, 9, 259-268. doi: 10.4236/jbise.2016.95019
3. Chen, T.Q. and Guestrin, C. (2016) Xgboost: A Scalable Tree Boosting System. Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, San Francisco, 13-17 August 2016, 785-794. <https://doi.org/10.1145/2939672.2939785>

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-111>

USING GRAPH DATABASES TO DETERMINE THE NEAREST OR LONGEST TRAVEL ROUTES TO NECESSARY STATIONS

ВИКОРИСТАННЯ ГРАФОВИХ БАЗ ДАНИХ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ НАЙБЛИЖЧИХ ЧИ НАЙДОВШИХ ШЛЯХІВ ПРОЇЗДУ ВАГОНІВ ДО НЕОБХІДНИХ СТАНЦІЙ

Mihnyov O.V.,
*Student (group 122-23-1m),
LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Mіхньов О.В.,
*студент гр. 122-23-1м,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Аналіз літературних джерел та кейсів застосування показав, що графові бази даних є потужним інструментом для моделювання та аналізу складних систем, які мають мережеву структуру. Між тим, під час планування та організації вантажних перевезень в мережах залізничних шляхів існує задача знаходження найбільш ефективних маршрутів, з урахуванням відстані між транспортними вузлами та обмеженнями на умови перевезення, яка до сих пір не має однозначного та оптимального розв'язання. У контексті залізничного транспорту, залізнична мережа може бути уявлена як граф, де станції – це вершини, а рейки – ребра. Це дозволяє ефективно вирішувати задачі оптимізації руху вагонів. У використанні в якості інструменту розв'язання алгоритмів пошуку на графах графових баз даних є певні переваги: наочне представлення умов задачі; швидкий пошук оптимальних шляхів між вузлами; динамічна зміна умов розв'язання задачі; можливість використовувати додаткову інформацію. На ребрах графа можна зберігати додаткову інформацію, таку як довжина ділянки, час проїзду, оператор, назва вантажу, вартість проїзду, вага, допустима вага вантажу тощо. Це дозволяє легше сприйняти інформацію, але треба не перезавантажити базу інформацією.

Найвідоміші алгоритми для пошуку шляхів на графах, які можуть бути реалізовані запитами в графових базах даних, це алгоритм Беллмана – Форда та алгоритм Дейкстри. Алгоритм Дейкстри використовується для пошуку найкоротшого шляху в графі з невід'ємними вагами ребер, а алгоритм Беллмана-Форда дозволяє знаходити найкоротші шляхи навіть у графах з від'ємними вагами ребер. Використовувати ці алгоритми можна наприклад при оптимізації маршрутів або плануванні руху поїздів.

Перспективним є використання Neo4j, однієї з найпопулярніших графових баз даних, з підтримкою мови запитів Cypher, що забезпечує використання широкого спектру алгоритмів пошуку для оптимізації

маршрутів руху вагонів. Це дозволить значно підвищити ефективність планування роботи залізничного транспорту, відкрити нові можливості для вирішення складних логістичних задач.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-112>

**KEY BUSINESS ANALYSIS ASPECTS TO REQUIREMENTS
ELICITATION FOR ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEMS
WITHIN DIGITAL TRANSFORMATION**

**КЛЮЧОВІ АСПЕКТИ БІЗНЕС-АНАЛІЗУ ЩОДО ВИЯВЛЕННЯ
ВИМОГ ДО СИСТЕМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ
В МЕЖАХ ЦИФРОВОЇ ТРАСФОРМАЦІЇ**

Moskalenko V.V.,

*DSc (Engineering), Professor,
LLC “Technical university
“Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Москаленко В.В.,

*д.т.н., професор,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Цифрову трансформацію слід розглядати як безперервний процес еволюції та вдосконалення суспільства. Оскільки бізнес працює у цифровому світі, що постійно розвивається, то кожна сучасна компанія для підтримки свого сталого розвитку та для підвищення конкурентоспроможності повинна змінити парадигми управління та підходи до автоматизації певних процесів. Усе це спонукає керівництво компанії до формулювання нових стратегій розробки та впровадження систем штучного інтелекту (ШІ) в управління бізнес-процесами компаній, у тому числі, до перегляду механізмів управління розробкою програмного забезпечення (ПЗ) для реалізації проєктів з цифровізації [1]. Отже, постає задача формування вимог щодо систем ШІ для розв'язання задач управління компанією в межах стратегії цифрової трансформації компанії.

Управління вимогами до таких систем здійснюється у продовж усього їх життєвого циклу: проєктування, розробки та розгортання систем ШІ. Життєвий цикл систем ШІ у дослідженні [2] представлено як розвиток програмного рішення через його окремі фази (проєктування, розробку та розгортання) та 19 складових етапів від задуму до впровадження, що стосується будь-якого ініціативи ШІ. У даному випадку у якості такої ініціативи розглядаємо проєкт щодо розробки ПЗ для розв'язання задач бізнесу з використанням алгоритмів ШІ та цифрових технологій.

Згідно визначенню: цифрові системи та технології – це засоби, за допомогою яких компанія може модернізувати свою основну

IT-інфраструктуру шляхом впровадження безпечної технологічної основи цифрової трансформації компанії. Завдяки цьому компанія може підготувати свій технологічний ландшафт до майбутнього, оновлюючи IT-середовище та середовище програмних додатків для підтримки поточних та стратегічних потреб бізнесу [3]. Тому практики бізнес-аналізу повинні постійно удосконалюватися в межах нових технологій розробки ПЗ для підтримки життєздатності бізнесу. У цьому контексті термін «гнучкий» означає мислення або спосіб мислення про роботу, про бізнес-аналіз.

Процес виявлення вимог здійснюється у відповідності основної концептуальної моделі бізнес-аналізу (Business Analysis Core Concept Model™ – ВАССМ™), яка наведена на рис. 1 [4].

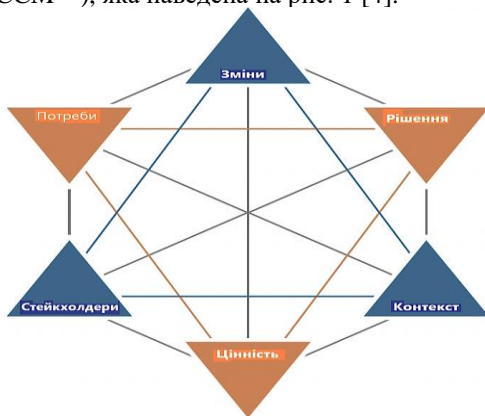


Рис. 1. Основна концептуальна модель бізнес-аналізу

Отже, виявлення бізнес-цінності ПЗ є ключовим аспектом бізнес-аналізу. Роль бізнес-аналітика у процесі життєвого циклу розробки системи ІІІ у межах цифрової трансформації визначається такими аспектами [5]:

- розуміння потреб зацікавлених сторін гарантує, що система відповідає бізнес-цільям і відповідає вимогам користувачів;
- визначення обсягу проекту допомагає встановити його межі, основні функції системи, а також обмеження проекту, такі як час і бюджет;
- визначення вимог і встановлення їх пріоритетів забезпечують вирішення найбільш критичних потреб бізнесу щодо цифровізації та ефективний розподіл ресурсів;
- визначення та оцінка потенційних ризиків сприяє розробці стратегії пом'якшення або управління ними протягом життєвого циклу проекту, збільшуючи ймовірність його успіху;

- налагодження зв'язку та постійна співпраці між зацікавленими сторонами забезпечує спільне розуміння цілей проекту, обсягу та вимог, що є важливим для успіху проекту;
- створення спільного бачення основної цінності системи ІІІ досягається шляхом узгодження потреб бізнесу із цілями проекту;
- створення основи для планування та оцінки проекту гарантує те, що він буде завершено вчасно, у межах бюджету та з бажаним рівнем якості.

При формуванні вимог до систем ІІІ в межах цифровізації бізнесу потрібно враховувати такі основні аспекти [2]:

- створенні програмні системи ІІІ повинні базуватися на цифровому досвіді клієнтів та розширювати його;
- розв'язання інфраструктурних проблем, наприклад, перетворення ІТ-основи для створення ефективного бізнесу;
- оптимізація бек-офісу, покращення операційної гнучкості та комунікацій між співробітниками компанії завдяки впровадженню ПЗ корпоративного рівня управління;
- забезпечення постійного управління якістю на основі використання наскрізного підходу, де висока якість поєднується з високою швидкістю, що забезпечується певними інформаційними ресурсами та відповідним ПЗ;
- захист користувачів, даних, програм та інфраструктури на основі розробки програмних систем з відповідними вимогами кібербезпеки.

Висновки. Розглянуто особливості виявлення та формування вимог до системи ІІІ як складової цифрової трансформації компанії. У процесі управління вимогами аналізується та коригується корпоративна цифрова стратегія, яка має вирішальне значення для узгодження інвестицій компанії у цифровізацію з її бізнес-цілями. Ця стратегія передбачає постійний перегляд технологій та бізнес-процесів, реінжиніринг програмних систем, які використовуються як в управлінні компанією, так і для автоматизації різних процесів. Отже, впровадження у процес розробки ПЗ нових підходів щодо виявлення, аналізу та управління вимогами до систем ІІІ є актуальною задачею та потребує постійної уваги бізнес-аналітиків у сфері ІТ.

Перелік використаних джерел

1. Paige M. The Evolution of Digital Transformation History: From Pre-Internet to Generative AI. URL: <https://hatchworks.com/blog/product-design/history-digital-transformation/> (дата звернення: 25.10.2024).
2. De Silva D., Alahakoon D. An artificial intelligence life cycle: From conception to production. *Patterns* 2022. Vol. 3, Issue 6, 100489. DOI: 10.1016/j.patter.2022.100489.
3. Digital systems and technology. URL: <https://www.cognizant.com/us/en/glossary/digital-systems-and-technology> (дата звернення: 25.10.2024).

4. BACCM Overview – The Core Concepts that form Business Analysis – Core Concept Model. URL: <https://www.iiba.org/professional-development/knowledge-centre/ba-connection/baccm-overview---the-core-concepts-business-analysis-core-concept-model/> (дата звернення: 25.10.2024).

5. Ibekwe R. Business Analysis during Discovery Phase of Agile Software Delivery. URL: <https://www.linkedin.com/pulse/business-analysis-during-discovery-phase-agile-ralph-ibekwe-phd/> (дата звернення: 25.10.2024).

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-113>

**USING ORANGE3 TO AUTOMATE DATA MINING PROCESSES
IN THE MODE OF VISUAL CONSTRUCTION
OF DATA TRANSFORMATION STAGES**

**ВИКОРИСТАННЯ ORANGE3 ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДАНИХ В РЕЖИМІ
ВІЗУАЛЬНОЇ ПОБУДОВИ ЕТАПІВ ПЕРЕТВОРЕННЯ ДАНИХ**

Nefedchenko O.O.,
*Student (group 122-22-1p),
LLC “Technical university
“Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Нефедченко О.О.,
*студент гр. 122-22-1п,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Sahaida P.I.,
*DSc (Engineering),
Associate Professor, LLC “Technical
university “Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Сагайда П.І.,
*д.т.н., доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

На сучасних підприємствах та в організаціях накопичені корпоративні дані мають великі розміри та стають все більш доступними для фахівців з їх обробки та витягу з них моделей. Відповідно, зростають вимоги до рівня підготовки спеціалістів з Data Science. Якісний розвідувальний аналіз даних (exploratory data analysis) потребує володіння декількома мовами або засобами програмування для розв'язання задач статистичної обробки даних, візуалізації результатів, підготовки звітів. Між тим коло працівників-аналітиків розширюється,

необхідність використання оброблених, з метою підтримки прийняття рішень, даних збільшується. Це потребує підготовки фахівців, які можуть проводити дослідження даних швидко та без необхідності написання і налагодження великих програм, і одночасно забезпечувати якість і надійність результатів проведених досліджень. Це, в свою чергу, вимагає знань і навичок застосування багатьох алгоритмів обробки, особливостей і режимів їх використання. Тому наразі виникає гостра потреба в інструментах, які дозволяють ефективно аналізувати дані та витягувати з них корисну інформацію, з можливістю довідкової та інформаційної підтримки такої діяльності, можливістю автоматизації рутинних активностей.

Одним з таких інструментів є Orange3. Цей візуальний програмний пакет призначений для автоматизації багатьох етапів машинного навчання, крім того, він дає можливість навіть початківцям проводити складні аналізи даних без необхідності написання великої кількості коду. На відміну від аналогічних за функціональністю інструментів від Azure Machine Learning та Google Vertex AI, він не вимагає платного акаунту та суттєвої підготовки в галузі інформаційних технологій.

Orange3 – це вільно розповсюджуваний програмний пакет з відкритим кодом, який використовується для візуального програмування в області машинного навчання та data mining. Він надає інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, що дозволяє будувати складні аналітичні pipelines (послідовності операцій обробки даних) шляхом візуального конструювання: перетягування та з'єднання візуальних блоків (віджетів), кожен з яких відповідає за окремий етап перетворення або трансформації даних.

Перевагами використання Orange3 для автоматизації процесу обробки даних та витягу з них моделей є:

- візуальний інтерфейс, простий у використанні, навіть для тих, хто не має глибоких знань програмування;
- підтримка широкого спектру алгоритмів машинного навчання, від класифікації та регресії до кластеризації та асоціативного аналізу.
- можливість інтеграції з іншими пакетами та бібліотеками, за рахунок чого аналітик може працювати з даними з різних джерел, включаючи файли CSV, бази даних, і легко інтегрується з іншими бібліотеками Python (NumPy, SciPy, scikit-learn).
- велика та досить активна спільнота користувачів і розробників, що забезпечує постійний розвиток пакету та підтримку аналітиків-початківців.

– доступність початкового коду програмного комплексу, що дозволяє глибоко зануритися в роботу пакету та адаптувати його під свої потреби.

Приклад використання Orange3. Припустимо, у нас є набір даних про клієнтів підприємства, і ми хочемо передбачити, чи клієнт відмовиться від отримання послуг або товарів. За допомогою Orange3 можна:

- завантажити дані про клієнтів (їх ознаки та результати співробітництва) та в програму;
- виконати попередню обробку даних, видаливши пропущені значення та закодувавши категоріальні змінні;
- обрати алгоритм класифікації, наприклад, логістичну регресію;
- навчити модель на навчальних даних;
- оцінити точність моделі на тестових даних;
- візуалізувати результати класифікації, наприклад, побудувати received operation curve (ROC-криву), яка дозволить оцінити якість навченої моделі та можливість її використання для прогнозів.

Всі ці операції та активності не потребують багато часу, дозволяють швидко освоєння користувальницького інтерфейсу, та дають можливість у короткий термін провести багатоваріантний інтелектуальний аналіз даних.

Висновки. Orange3 – це потужний і зручний інструмент для аналізу даних, який дозволяє автоматизувати багато рутинних задач і зосередитися на інтерпретації результатів. Він особливо корисний для тих, хто хоче швидко отримати перші результати аналізу без глибоких знань програмування. Однак, для більш складних задач і пристосування до особливостей та вимог конкретного підприємства або організації може знадобитися додаткове програмування на Python. Для розв'язання складних задач, наприклад, проведення глибокого навчання, потрібно виконувати інтеграцію Orange3 з фреймворками глибокого навчання, такими як TensorFlow або PyTorch, а також комбінування Orange3 з іншими інструментами для аналізу даних, такими як Jupyter Notebook, PyCharm.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-114>

**DEVELOPMENT OF THE MATHEMATICAL MODEL
OF THE TUNNEL FURNACE FOR OPTIMIZING THE USE
OF ENERGY RESOURCES**

**РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТУНЕЛЬНОЇ ПЕЧІ
ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ**

Pipko O.V.,

*Master,
LLC “Technical university
“Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Піпко О.В.,

*магістр,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Getman I.A.,

*PhD (Engineering),
associate Professor, LLC “Technical
university “Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Гетьман І.А.,

*к.т.н., доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

На сучасному етапі виробництва на перший план виходить енергоефективність. Чим менше витрачається енергоресурсів в процесі виробництва, тим краще, тим менше собівартість отриманої продукції [1, с. 12].

Існує два способи зменшення витрати енергоресурсів. Один з них базується на проведенні тривалих і дорого вартісних експериментів. При цьому отримати швидко бажаний результат досить проблематично, тому що, потрібно проведення тривалих дослідів, отримання статистичних даних з можливим порушенням технологічного процесу та отриманням невідповідної якості продукції. Раніше цей спосіб був безальтернативним. Проте зараз, зі збільшенням обчислювальної потужності персональних комп'ютерів та появою спеціалізованого програмного забезпечення він вже не настільки актуальний та відійшов на другий план.

Другий – це побудова математичної моделі технологічного агрегату, яка, хоч і спрощено, але відображає усі залежності в його роботі [2, с. 13]. При цьому можна використати результати, які отримані в процесі експлуатації технологічного агрегату без відхилень від його режимної карти.

Повноцінну математичну модель роботи тунельної печі одразу зробити важко. Проте, якщо обрати певний напрямок, то можна без великих ускладнень отримати досить непогані результати. Наприклад, опрацюємо температурний режим даного технологічного агрегату. В цьому випадку на перший план виходить так звана крива нагрівання. Тобто розподіл температур по довжині печі. Умовно піч при такому моделюванні можна розділити на дві частини: керовану та некеровану. В некерованій немає пальників і температура в ній поступово зменшується в залежності від того, наскільки димові гази відійшли від керованої зони, в якій розташовані пальники.

Основна задача – це правильно змоделювати режим роботи керованої зони тунельної печі, в якій безпосередньо відбувається згорання природного газу. Фактична основа в цьому випадку – це потрібне значення температури для випалювання продукції. Наприклад, потрібне значення температури в керованій зоні тунельної печі – 1200 °С. Також потрібно враховувати початкову температуру. Якщо піч тільки почала працювати, то вона становить 20 °С. Відповідно потрібно збільшити температуру на 1180 °С і на це буде витрачено значно більше природного газу. Якщо ж початкова температура становить 1100 °С, тобто попередньо випалювалась якась продукція, то потрібно збільшити температуру усього на 100 °С і на це вже буде використано значно менше природного газу.

У спрощеному вигляді кількість теплоти можна визначити наступним чином [3, с. 87]:

$$Q = C * V * \Delta T + Q_{\text{втрат}}, \quad (1)$$

де Q – загальна кількість теплоти, кКал/кВт;

C – середня теплоємність матеріалів, Дж/(кг·К);

V – об'єм простору, 1 м³;

ΔT – різниця температур, °С;

$Q_{\text{втрат}}$ – теплові втрати, кКал/кВт;

При цьому масу газу можна визначити наступним чином:

$$m_{\text{газу}} = Q / (q * \eta), \quad (2)$$

де $m_{\text{газу}}$ – маса газу, кг;

q – теплотворна здатність газу, кКал/кВт;

η – ККД обладнання, %;

Формули (1) та (2) дозволяють розрахувати витрату газу. Але потрібно враховувати не тільки це, але і співвідношення природного газу та повітря. В нашому випадку використовуються пальники Kromschroder ВЮ140НВ, для яких співвідношення природний газ/повітря повинно

становити 1,05. Тобто на 1 м^3 газу повинно йти $1,05 \text{ м}^3$ повітря. При цьому також потрібно враховувати ще одне важливе обмеження – це температура повітря, яка подається до пальника і повинна знаходитися в діапазоні від 270 до 450°C згідно паспортних даних.

Окремо варто відзначити максимальну потужність пальника. Вона визначається графіком, який наведено на рисунку 1. Інший важливий графік регламентує співвідношення повітря високого тиску та підігрітого повітря та його наведено на рисунку 2.

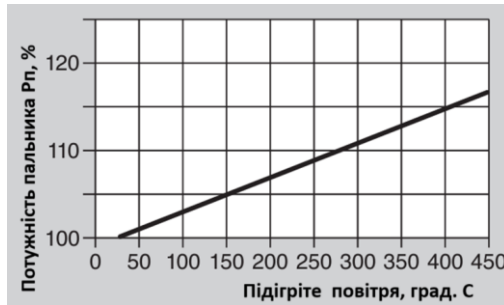


Рис. 1. Співвідношення потужності пальника та температури підігрітого повітря для пальника Kromschroder BIO140NB

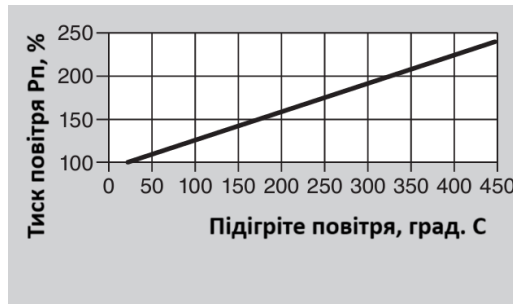


Рис. 2. Співвідношення повітря високого тиску та підігрітого повітря для пальника Kromschroder BIO140NB

На основі раніше наведеної інформації можна побудувати математичну модель роботи тунельної печі, яка дозволить істотно

зменшити витрату природного газу за рахунок оптимізації режиму згорання.

Висновки:

1. У формулі 1 потрібно мінімізувати значення теплових втрат $Q_{\text{втр}}^{\text{т}}/Q_{\text{втр}}^{\text{г}}$. Повністю їх ліквідувати неможливо, але мінімізувати однозначно можливо. Крім того, інші значення в формулі (1) можна визначити. Відповідно витрати можна розрахувати і спробувати мінімізувати.

2. На поточний час температура підігрітого повітря фактично становить 270 – 320 °С. Згідно паспортних даних її можна збільшити до 450 °С. Проте такий режим роботи не є бажаним, оскільки може привести до того, що паливник може вийти з ладу. Але режим з 400 °С температури нагрітого повітря є припустимим. Більш того, згідно рисунку 1, він дозволяє отримати 115 % потужності паливника і є оптимальним.

3. Для забезпечення оптимального співвідношення природній газ/повітря рекомендується забезпечити відсоток повітря високого тиску на рівні 225%. Згідно наведених раніше графіків це дозволить забезпечити при мінімальній витраті природнього газу максимальне використання отриманого тепла.

Проте для більш якісного прогнозування потрібно цю модель реалізувати у вигляді програми та провести додаткові розрахунки, що і планується зробити в майбутньому.

Перелік використаних джерел

1. Математичне моделювання систем і процесів: навч. Посібник/ П.М. Павленко, С.Ф. Філоненко, О.М. Чередніков, В.В. Трейтяк -К.: НАУ, 2017. -392с.

2. Стажицький О.М., Таран Є.Ю., Гординський Л.Д. Основи математичного моделювання: Навчальний посібник. -К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2006. – 96с.

3. М.І. Горбійчук, М.І. Когутяк, В.М. Гарасимів Математична модель підігрівника з проміжним теплоносієм. *Методи та прилади контролю якості* : наук.-техн. журн. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ. – 2021. – , № 2. – 112 с. – 2021 – с. 83 – 95

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-115>

USE OF RAG SYSTEMS TO IMPROVE THE ACCURACY AND CONTENT OF QUERY RESULTS FOR LARGE LANGUAGE MODELS

ВИКОРИСТАННЯ RAG-СИСТЕМ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ТА ЗМІСТОВНОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ ЗАПИТІВ ДО ВЕЛИКИХ МОВНИХ МОДЕЛЕЙ

Plutalov Ya.A.,

*Student (group 122-24-1m),
LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Плуталов Я.А.,

*студент гр. 122-24-1м,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Sahaida P.I.,

*DSc (Engineering),
Associate Professor, LLC "Technical
university "Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Сагайда П.І.,

*д.т.н., доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Поточні дослідження підходу Retrieval-Augmented Generation (RAG) спрямовані на покращення продуктивності великих мовних моделей (ВММ) через інтеграцію компонентів інформаційного пошуку на основі документів та ресурсів предметної області або підприємства (організації), для інформаційної підтримки фахівців якої призначена відповідна система. Зазвичай ВММ генерують відповіді на основі навчальних даних, але з RAG вони можуть звертатися до зовнішніх джерел для отримання актуальної або специфічної інформації, що підвищує точність і змістовність генерації. У цій роботі висвітлюються ключові переваги цієї технології, зокрема гнучкість та розширення знань моделі, особливо в контексті швидко мінливих або специфічних сфер, в тому числі для створення інтелектуального асистента інформаційного порталу Технічного університету «Метінвест Політехніка».

Робочий процес RAG складається з трьох етапів – індексування, пошук і генерація, які працюють разом, щоб підвищити точність відповіді. На етапі індексування текст кодується у вставки, які зберігаються у векторній базі даних із можливістю пошуку. Під час пошуку запит користувача також кодується, щоб знайти найбільш релевантні документи в цій базі даних. На етапі генерації модель поєднує запит користувача зі знайденими документами, що дає змогу системі генерувати більш точні результати. З використанням описаного вище структурованого підходу ВММ надає відповіді, які спираються на сучасні, релевантні джерела інформації.

Спосіб обробки даних, застосовуючи RAG системи, сприяє наданню більш чітких відповідей користувачеві та детальнішою роботою з певною документацією або необхідним джерелом даних, а не більш загальними знаннями ВММ. Сфера застосування RAG розширюється до мультимодальних галузей, адаптуючи його принципи до інтерпретації та обробки різноманітних форм даних, як-от зображення, відео та код. Подібне розширення підкреслює значне практичне значення RAG для розгортання штучного інтелекту, що може стати серйозним поштовхом для академічного та промислового секторів.

Попри значні переваги, RAG постає перед викликами: проблеми з ефективністю під час обробки великих наборів даних, залежність від якості зовнішніх джерел, а також ризики «галюцинацій» – ситуацій, коли модель може неправильно інтерпретувати або змішувати знайдену інформацію.

Використання RAG з інтеграцією зовнішніх джерел інформації підвищує точність та релевантність відповідей, надаючи можливість отримувати сучасні знання, що особливо корисно для напрямів з інтенсивним розвитком та унікальними вимогами. Проте виникає необхідність в подальших дослідженнях щодо підвищення ефективності генерування результатів та покращення якості джерела пошуку.

Перспективним напрямком даного дослідження є використання підходу RAG до створення інтелектуального асистента інформаційного порталу Технічного університету «Метінвест Політехніка», який на основі корпусу нормативних документів Університету буде формувати відповіді на питання студентів, викладачів та абітурієнтів по особливостям навчального процесу, наукових досліджень в Університеті, іншим аспектам функціонування закладу вищої освіти. При цьому відповіді повинні підкріплюватися посиланнями на релевантні абзаци або сторінки відповідних документів.

Висновки. Основна ідея RAG полягає у поєднанні великих мовних моделей з зовнішніми джерелами інформації для покращення якості відповідей. Організація таких систем повинна забезпечити виконання трьох основних етапів: індексацію документів підприємства або організації, пошук релевантних фрагментів тексту у відповідності до запиту користувача, генерацію відповідей з використанням великих мовних моделей. Перевагами використання систем RAG для інформаційної підтримки користувачів є отримання більш точних, актуальних та деталізованих відповідей, які базуються на корпусі документів предметної області. Проблемами та викликами залишаються недостатня продуктивність таких систем, залежність від якості даних, що використовуються під час пошуку, ризики "галюцинацій". Перспективним напрямком даного дослідження є використання підходу RAG до створення інтелектуального асистента інформаційного порталу Технічного університету «Метінвест Політехніка».

Перелік використаних джерел

1. Gao, Y., Xiong, Y., Gao, X., Jia, K., Pan, J., Bi, Y., Wang, H. Retrieval-Augmented Generation for Large Language Models: A Survey. arXiv.org e-Print archive. URL: <https://arxiv.org/html/2312.10997v5#S2> (дата звернення: 25.10.2024).

2. Demir N. Hands-On with RAG: Step-by-Step Guide to Integrating Retrieval Augmented Generation in LLMs. Medium. URL: <https://blog.demir.io/hands-on-with-rag-step-by-step-guide-to-integrating-retrieval-augmented-generation-in-llms-ac3cb075ab6f> (дата звернення: 25.10.2024).

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-116>

**FUNDAMENTAL PRINCIPLES FOR DEVELOPING
THE GEODATA ZONES SYSTEM FOR MONITORING
THE STABILITY OF DEEP QUARRY SLOPES****ОСНОВНІ ЗАСАДИ РОЗРОБКИ СИСТЕМИ GEODATA ZONES
ДЛЯ МОНІТОРИНГУ СТАНУ БОРТІВ ГЛИБОКИХ КАР'ЄРІВ**

Romanenko A.O.,

*PhD, Student (group 122-23-1M),
LLC "Metinvest Polytechnic
Technical University,"
Kryvyi Rih, Ukraine*

Романенко А.О.,

*к.т.н., студент гр. 122-23-1М,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Кривий Ріг, Україна*

Вступ. Промислові об'єкти, такі як кар'єри, вимагають постійного моніторингу стійкості, оскільки зміни в геологічних умовах або порушення цілісності бортів можуть призвести до небезпечних ситуацій, включаючи обвали та зсуви. Забезпечення стабільності гірничих робіт є ключовим фактором для безпеки працівників і збереження обладнання, а також для мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище.

Система "GeoDATA zones" призначена для інтеграції даних з різних джерел, включаючи маркшейдерські і геофізичні вимірювання, щоб забезпечити комплексний підхід до аналізу стійкості бортів. Використання таких даних дозволяє отримувати актуальну інформацію про стан гірничих масивів у реальному часі, оперативно реагувати на зміни і вживати заходів для запобігання аварійним ситуаціям. Крім того, система інтегрує історичні дані, що дозволяє проводити довгостроковий аналіз та прогнозування ризиків, визначаючи зони підвищеної безпеки.

Таким чином, застосування технологій цифрового моніторингу та інтеграції даних дозволяє суттєво підвищити рівень безпеки і стабільності кар'єрних бортів, зменшуючи ймовірність аварій та забезпечуючи безперервність гірничих операцій.

Методологія. У дослідженні використовуються методи збору й інтеграції даних із застосуванням сучасних цифрових інструментів. Основними етапами є стандартизація форматів даних, передобробка та автоматизація інтеграції, що забезпечує цілісність даних для їхнього аналізу у реальному часі.

Результати. Система **GeoDATA Zones** розробляється для покращення моніторингу та забезпечення стійкості бортів глибоких та надглибоких кар'єрів. Її створення обумовлено потребою в комплексному рішенні для збору, обробки та аналізу даних натурних спостережень та інформації про масив, що дозволить своєчасно реагувати на потенційні загрози. Основними засадами системи є інтеграція різнорідних даних, автоматизація обробки та підтримка користувачів у прийнятті рішень на основі аналізу звітів, які створюються напівавтоматично.

Основні засади, на яких базується розробка системи **GeoDATA Zones**, включають:

- автоматизацію та гнучкість введення даних: система передбачає завантаження даних через CSV-файли або введення вручну, що дозволяє оперативно вносити дані з різних джерел без необхідності складних інтеграцій. Це забезпечує легкість у використанні та гнучкість для різних типів користувачів.

- інтеграцію різнорідних даних: до складу системи мають входити модулі, які збиратимуть та об'єднуюватимуть дані маркшейдерських спостережень, геофізичних досліджень та інші дані, які є важливими для оцінки стійкості ділянки борту кар'єру.

- модулі аналізу та прогнозування: система має забезпечувати аналіз структурних змін на ділянках бортів кар'єру та виявляти потенційно небезпечні зони. Налаштування параметрів виявлення відхилення значень факторів від середніх має автоматично виявляти аномалії, що можуть передувати обвалам або іншим загрозам.

- інтерактивна візуалізація та звітність: користувачі отримують доступ до інтерактивних графіків, що полегшить аналіз даних та ухвалення рішень. Можливість експорту даних та гнучке налаштування звітності забезпечать адаптивність системи до вимог різних спеціалістів.

Очікувані результати від запровадження **GeoDATA Zones**:

- Покращена точність прогнозування та оцінки ризиків. Дасть змогу завчасно виявляти небезпечні зони та розробляти заходи для запобігання аварійним ситуаціям.

– Підтримка адаптивності та доступ до звітності. Можливість завантаження та аналізу даних у різних форматах допоможе користувачам приймати обґрунтовані рішення на основі актуальних даних, підвищуючи загальну безпеку та ефективність гірничих робіт.

Таким чином, розробка GeoDATA Zones спрямована на створення надійної системи моніторингу та аналізу, яка відповідатиме сучасним вимогам безпеки у гірничій галузі та надасть гнучкість у роботі з даними для оперативного прийняття рішень.

Висновки: розроблена система дозволяє автоматизувати аналіз стійкості бортів кар'єру, використовуючи інтегровані геофізичні та маркшейдерські дані. Це підвищує рівень безпеки гірничих робіт і дозволяє оперативно реагувати на зміни в умовах виробництва.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-117>

**TECHNOLOGIES FOR THE USE OF ARTIFICIAL
INTELLIGENCE AGENTS TO AUTOMATE THE EXECUTION
OF TASKS FOR THE SEARCH AND GENERALISATION
OF DATA FROM EXTERNAL SOURCES**

**ТЕХНОЛОГІЇ ВИКОРИСТАННЯ АГЕНТІВ ШТУЧНОГО
ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИКОНАННЯ ЗАВДАНЬ
З ПОШУКУ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ ДАНИХ
ІЗ ЗОВНІШНІХ ДЖЕРЕЛ**

Sahaida P.I.,

*DSc (Engineering),
Associate Professor, LLC "Technical
university "Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Сагайда П.І.,

*д.т.н., доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Dobriak S.K.,

*PhD (Engineering), LLC "Technical
university "Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine;
Donbas State Engineering Academy,
Ternopil, Ukraine*

Добряк С.К.,

*к.т.н., ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна;
Донбаська державна машинобудівна
академія, м. Тернопіль, Україна*

Швидкий розвиток технологій штучного інтелекту (ШІ) та зростання обсягів даних створюють потребу в нових нетривіальних інструментах

для ефективної обробки даних та витягу з даних знань про роботу предметних областей. В даний час існує проблема, яка вимагає постійних досліджень для свого вирішення: традиційні методи пошуку та аналізу даних в різноманітних джерелах (сховищах даних, корпусах документів підприємств та організацій, корпоративних та соціальних мережах) часто не справляються з великими обсягами неструктурованої інформації та складними запитами.

Мета дослідження: проаналізувати потенціал агентів ШІ, інтегрованих з великими мовними моделями (Large Language Models – LLM), для автоматизації виконання завдань у сфері обробки даних та розв'язання задач інтелектуальної діяльності, зокрема, з пошуку та узагальнення даних з зовнішніх, відносно бази знань LLM, джерел даних.

В ході дослідження було проаналізовано архітектуру та функціонал агентів ШІ, сучасні доробки в галузі теорії та практики організації і застосування багатоагентних систем.

Аналіз архітектури сучасних технічних рішень показав наступне. Незалежно від типу, більшість агентів мають такі основні компоненти:

- компонент сприйняття (перцепції), – забезпечує здатність агента сприймати інформацію з навколишнього середовища через сенсори (датчики або інтерфейси для отримання даних з інших систем);
- виконавчі інструменти, – програмні комплекси та бібліотеки функцій для взаємодії з навколишнім середовищем. Агент може виконувати різні дії, такі як переміщення в інформаційному просторі, маніпулювання об'єктами даних, зміна стану інших програмних систем, тощо;
- база знань, – компонент, який містить інформацію про навколишній світ, правила поведінки, цілі агента та інші умови і обмеження, необхідні для прийняття рішень;
- компонент прийняття рішень, – використовує відповідні алгоритми для вибору дій агентом на основі сприйнятої інформації та наявних знань про предметну область.

Суттєвим досягненням сучасної науки про штучний інтелект та великою відмінністю від багатоагентних систем попередніх поколінь є інтеграція агентів ШІ з великими мовними моделями. Інтеграція агентів ШІ з LLM відкриває нові можливості для розширення їхньої функціональності та переліку задач, які вони можуть розв'язувати. Особливістю цього підходу є наступні ознаки агентів ШІ:

- взаємодія з LLM для виконання завдань: агент може передавати LLM текстові запити, а LLM генерує відповіді, які агент використовує для прийняття рішень або виконання завдань;

- передача контексту: агент може передавати LLM додаткову інформацію про контекст завдання, щоб допомогти їй генерувати більш точні та релевантні відповіді;

- спільне використання знань: LLM може служити розширеною базою знань для агента, надаючи доступ до великих обсягів накопиченої під час навчання LLM інформації та знань, які можуть бути використані для вирішення складних завдань агента в конкретній предметній області.

Агенти штучного інтелекту, які інтегровані з великими мовними моделями, відкривають нові можливості для ефективного пошуку та аналізу інформації. Так, при автоматизації пошуку даних і знань у зовнішніх джерелах визначено наступні завдання для виконання агентами III:

- складні багатоступінчасті запити, – вміст завдання: агенти здатні розуміти та виконувати складні запити, що включають кілька умов і логічних операцій. Наприклад, при виконанні запиту: "Знайти всі наукові статті про методи проектування нереляційних баз даних, опубліковані в журналах з високим імпаکت-фактором за останні п'ять років", агент зможе розбити цей запит підзапити, знайти відповідну літературу та надати структуровану відповідь. Цю відповідь можна обробити засобами іншого агента, який зможе виконати узагальнення вмісту або пошук подібних статей.

- пошук інформації в реальному часі, – завдяки інтеграції з різноманітними джерелами даних, агенти можуть здійснювати пошук, відстежувати зміни та оновлювати результати.

- верифікація та оцінка достовірності джерел, – агенти можуть використовувати різні методи для оцінки достовірності джерел інформації. Наприклад, вони можуть аналізувати репутацію джерела, перевіряти факти, порівнювати інформацію з інших джерел та виявляти ознаки маніпуляції або недоброчесності.

Дуже корисним в процесі автоматизації пошуку даних в зовнішніх джерелах є спроможність агентів узагальнювати дані. Агенти можуть автоматично виділяти найважливішу інформацію з великих обсягів тексту, витягати вагомі сутності та ключові показники. Ще одна корисна властивість – спроможність виявлення відношень між даними, таких як причинно-наслідкові зв'язки, кореляції, аналогії тощо. Це дозволяє виявляти закономірності, робити прогнози та будувати більш глибоке розуміння даних. Також це дозволяє автоматизувати створення онтологічних моделей про функціонування предметних областей, створювати графові бази знань, які також використовуються в процесах підвищення ефективності обробки даних засобами LLM, в рамках

технології RAG (retrieving augmented generation), а саме її різновиду GraphRAG.

Перевагами використання агентів ШІ, в тому числі при пошуку даних в зовнішніх джерелах, є продуктивність і швидкість виконання завдань, за рахунок взаємодії та паралельного виконання окремих етапів, підвищення точності результатів завдяки використанню складних алгоритмів та їх комплексування. Додатковою перевагою є розширення діапазону можливих завдань та підвищення їх складності (агенти в багатоагентному середовищі здатні знаходити більш точні відповіді на складні запити, від пошуку інформації до її аналізу та узагальнення).

Проблеми, які виникають при організації та під час використання багатоагентних систем ШІ, пов'язані перед усім з якістю даних, що обробляються. Ефективність роботи агентів суттєво залежить від цілісності, чистоти та надійності даних, відсутності протиріч в них. Інтерпретація результатів їх діяльності також може бути складною, особливо під час складної оркестровки взаємодії багатьох агентів. В таких умовах важко відслідкувати логіку прийняття рішень агентом та визначити, на якому саме етапі роботи окремого агента або на якому етапі обміну повідомленнями між ними сталася аварійна ситуація або було втрачено якість обробки даних. Також залишається неусуненою загальна вада LLM та агентів, які взаємодіють з ними: можливість порушення етичних правил, а саме виникнення упередженості, дискримінації, галюцинацій.

Висновки. Агенти штучного інтелекту, інтегровані з великими мовними моделями, є потужним інструментом для роботи з інформацією, в тому числі, під час пошуку даних і відомостей у зовнішніх джерелах (сховищах даних, корпоративних та соціальних мережах, тощо). Відповідні технології використання агентів базуються на їх спроможності автоматичного виділення найважливішої інформації з великих обсягів тексту, витягати вагомі сутності та ключові показники, виявляти різноманітні відношення між даними, такі як причинно-наслідкові зв'язки, кореляції, аналогії тощо. Однак, для успішного застосування агентів необхідно враховувати їхні обмеження та вирішувати пов'язані з ними етичні проблеми.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-118>

USING .NET INTERACTIVE TO VISUALIZE DATA IN INTERACTIVE NOTEBOOKS CREATED WITH C#

ВИКОРИСТАННЯ .NET INTERACTIVE ДЛЯ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ДАНИХ У ІНТЕРАКТИВНИХ БЛОКНОТАХ, СТВОРЕНИХ ЗА ДОПОМОГОЮ C#

Samoilenko D.O.,

*Student (group 122-22-1),
LLC “Technical university
“Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Самойленко Д.О.,

*студент групи 122-22-1,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Kasianiuk O.S.,

*Senior Lecturer,
LLC “Technical university
“Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Касьянюк О.С.,

*старший викладач,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Використання інтерактивних блокнотів, таких як .NET Interactive [1], набуває все більшої актуальності в освіті, дослідженнях і бізнес-аналізі. Ці блокноти створюють багатомовне середовище, що підтримує C#, F#, PowerShell, SQL, HTML та інші мови, завдяки чому користувачі можуть працювати з різними типами даних і завданнями в межах однієї платформи без необхідності перемикатися між різними середовищами. Це особливо зручно для інтерактивного виконання коду, оскільки дозволяє писати і виконувати код блоками, миттєво отримуючи результати. Такий підхід спрощує навчання, дозволяє швидко відстежувати і виправляти помилки, експериментувати з кодом і тестувати ідеї.

Microsoft.Data.Analysis [2] – це бібліотека для роботи з даними в .NET, яка надає функціонал для обробки, аналізу та маніпуляції великими обсягами даних безпосередньо в середовищі .NET. Вона включає потужні структури, такі як DataFrame, які підтримують різні типи даних і дозволяють швидко виконувати операції, наприклад, обчислення статистичних показників, фільтрацію, злиття та агрегацію даних.

Прикладом використання Microsoft.Data.Analysis в інтерактивному блокноті є відображення DataFrame, яке продемонстровано на рисунку 1.

XPlot.Plotly.Interactive [3] – це бібліотека для побудови інтерактивних графіків у .NET з використанням Plotly, яка дозволяє легко створювати візуалізації даних безпосередньо в середовищах на кшталт Jupyter Notebook і .NET Interactive.

Прикладом використання є візуалізація даних з DataFrame на графіку. Код для візуалізації представлено на рисунку 2, а графік – на рисунку 3.

```
+ Code + Markdown | ▶ Run All ↺ Restart ☰ Clear All Outputs | 📄 Variables ... 📄 .NET Interactive
```

```
using Microsoft.Data.Analysis;
using System;

// Створення стовпців
var names = new StringDataFrameColumn("Names", new
string[] { "Alice", "Bob", "Catherine", "David" });
var ages = new Int32DataFrameColumn("Age", new int[] {
23, 30, 26, 45 });
var salaries = new DecimalDataFrameColumn("Salary", new
decimal[] { 70000m, 80000m, 90000m, 120000m });

// Створення DataFrame
var df = new DataFrame(names, ages, salaries);

// Виведення DataFrame
display(df);
```

[6] csharp - C# Script Code

...

index	Names	Age	Salary
0	Alice	23	70000
1	Bob	30	80000
2	Catherine	26	90000
3	David	45	120000

Рис. 1. Створення та відображення дани у інтерактивному блокноті

```
using XPlot.Plotly;

var chart = Chart.Plot(
    new Scattergl() {
        x = df["Names"],
        y = df["Salary"],
        mode = "lines"
    }
);

chart.Display();
```

[11] ✓ 0.6s csharp - C# Script Code

Рис. 2. Код для візуалізації даних за допомогою XPlot.Plotly.Interactive

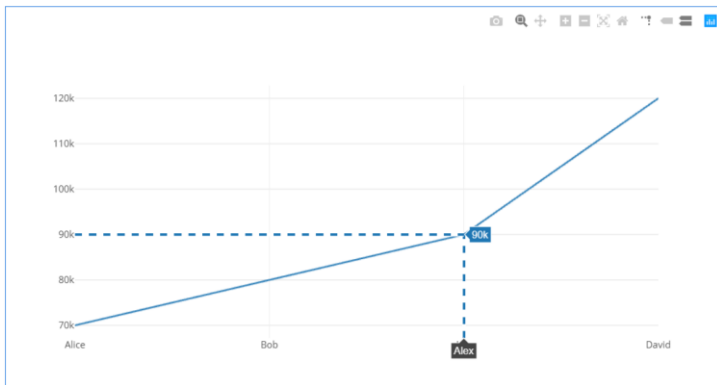


Рис. 3. Приклад візуалізації даних за допомогою XPlot.Plotly.Interactive

В освітній сфері .NET Interactive надає гнучкі та доступні інструменти для створення інтерактивних навчальних матеріалів, що робить процес навчання програмуванню, алгоритмам і базам даних зрозумілішим і захопливішим. Як проєкт з відкритим вихідним кодом, .NET Interactive розвивається за рахунок підтримки спільноти, яка додає нові функції і модулі відповідно до потреб користувачів. Ця гнучкість дозволяє швидко реагувати на зміни у технологічному світі. Таким

чином, використання .NET Interactive сприяє прискоренню розробки та аналізу, підвищує ефективність освітнього процесу та розширює можливості інтеграції з іншими інструментами, що робить його актуальним для багатьох спеціалістів.

Перелік використаних джерел

1. .NET Interactive. *GitHub*: веб-сайт. URL: <https://github.com/dotnet/interactive?tab=readme-ov-file#net-interactive> (Дата звернення 29.10.2024)
2. Microsoft.Data.Analysis. *NuGet*: веб-сайт. URL: <https://www.nuget.org/packages/Microsoft.Data.Analysis/> (Дата звернення 29.10.2024)
3. XPlot.Plotly.Interactive. *NuGet*: веб-сайт. URL: <https://www.nuget.org/packages/XPlot.Plotly.Interactive/> (Дата звернення 29.10.2024)

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-119>

FEATURES OF CREATING A COMPREHENSIVE ENTERPRISE MANAGEMENT INFORMATION SYSTEM

ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ КОМПЛЕКСНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПІДПРИЄМСТВОМ

Subotin O.V.,

*PhD (Engineering),
Associate Professor, LLC "Technical
university "Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Суботін О.В.,

*к.т.н., доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Novikov D.S.,

*PhD student, Donbas State
Engineering Academy,
Ternopil-Kramatorsk, Ukraine*

Новіков Д.С.,

*аспірант, Донбаська державна
машинобудівна академія,
м. Тернопіль-Краматорськ, Україна*

Інтеграція автоматизованої системи управління підприємством (АСУП)
і автоматизованої системи управління технологічними процесами (АСУТП)

дозволяє реалізувати поточне та оперативне управління підприємством, наприклад, планування витрат і собівартості та їх розрахунок у реальному часі. На базі поточної інформації із АСУТП можливо реалізувати цільове керування якістю продукції і підтримання заданої її продуктивності на фоні енергозбереження та економії ресурсів [1].

Створення принципів та алгоритмів реалізації узгоджених рішень на різних рівнях управління є найбільш складною і клопіткою задачею і залежить від типу й специфіки виробництва та підприємства. Тому першим кроком при побудові інтегрованої автоматизованої системи управління (ІАСУ) є процес функціональної інтеграції, при якому додатково розроблюють алгоритми зв'язку і узгодження локальних задач.

Виділені в результаті функціональної декомпозиції задачі, поєднуються між собою інформаційними зв'язками. Отже, другим кроком при побудові ІАСУ є задача інформаційної інтеграції з забезпеченням доступу до необхідних даних для реалізації цих функцій. Дані можуть використовуватись в декількох функціях, тому є необхідність їх поєднання в бази даних (БД) з власною системою управління (СУБД).

Враховуючи різний характер даних, для підвищення ефективності процедур їх обробки створюють центральну (для задач керування бізнес-процесами) та локальні (для задач керування технологічними процесами) бази даних із забезпеченням їх сумісності та доступності з вузлів системи.

Для вирішення задач функціональної та інформаційної інтеграції можна використати різноманітні механізми [2,3].

Як приклад розглядаються методи та засоби дослідження, аналізу та оптимізації електронного документообігу у складі комплексної інформаційної системи управління промисловим підприємством, де використовується алгоритм аналізу, заснований на виявленні "проблемних" ділянок та оптимізації руху документів згідно з раціональною організацією праці. Алгоритм передбачає три етапи:

- аналіз системи документообігу підприємства та його організаційної і функціональної структури з формуванням існуючої моделі документообігу;
- аналіз структури документообігу з угрупованням документів підприємства за функціональним призначенням та видом керуючих функцій;
- організація взаємодії підрозділів згідно з існуючою моделлю документообігу на основі дослідження організаційних структур підприємства у розрізі руху документів з оцінкою можливості їх реалізації.

Закордонні корпоративні інформаційні системи (SAP, BAAN, BPMN та інші) мають у своєму складі спеціальні засоби для обстеження підприємства та побудови моделі їх діяльності, проте існують стандартизовані методології

та інструментальні засоби, наприклад, методологія структурного аналізу SADT (Structured Analysis and Design Technique) [3].

Спочатку функціональність підприємства описується загалом – контекстною діаграмою (стандарт моделювання бізнес-процесів IDEF0). Потім реалізується процес функціональної декомпозиції, коли загальна функція розбивається на підфункції, які діляться на більш дрібні – і так далі до досягнення необхідної деталізації опису. Отримуємо дерево вузлів функціональної моделі. Кожен вузол дерева вузлів відповідає окремому фрагменту опису – діаграмі. Модель є сукупністю ієрархічно збудованих діаграм, кожна з яких є описом будь-якої функції або роботи.

Отже, внаслідок обстеження підприємства будується функціональна модель існуючої організації роботи – AS-IS (як є). На основі цієї моделі досягається консенсус щодо виконавців робіт та їх вкладу в процес. Така модель дозволяє з'ясувати послідовність виконання робіт.

Таким чином, впровадження інформаційної системи неминуче призведе до розбудови існуючих бізнес-процесів підприємства [2].

Знайдені у базовій моделі недоліки виправляються під час створення моделі TO-BE (як буде) – моделі нової організації бізнес-процесів. На ній оцінюються наслідки впровадження інформаційної системи та аналізуються альтернативні шляхи виконання роботи у майбутньому. З кількох варіантів таких моделей за будь-яким критерієм вибирається найкраща.

Практика використання програмного пакету Computer Associates AllFusion Process Modeler показала, що для оцінки різних сторін діяльності підприємства треба створювати моделі процесів з підтримкою додатково до IDEF0 ще двох стандартів (нотацій) моделювання – DFD та IDEF3.

Щоб визначити ефективність бізнес-процесів після впровадження корпоративної інформаційної системи необхідне застосування системи оцінки якості. Передбачається використання методу вартісного аналізу, який реалізований в програмному продукті BPWin.

На рис. 1 зображено приклад дерева вузлів (функцій) функціональної моделі діяльності промислового підприємства, що змодельована в BPWin. Для наочності окремо наведений приклад декомпозиції довільної функції.



Рис. 1. Дерево вузлів функціональної моделі промислового підприємства

З аналізу наведеного прикладу виходить, що діаграма дерева вузлів показує ієрархічну залежність робіт, але не взаємозв'язки між роботами. В моделі діаграм дерев вузлів може бути скільки завгодно багато, оскільки дерево може бути побудоване на довільну глибину і не обов'язково з кореня.

Наведена діаграма може підлягати подальшій декомпозиції з метою деталізації вузлів та для побудови моделі даних підприємства, необхідної для проектування електронної системи документообігу.

При проектуванні бази даних електронного документообігу отримана функціональна модель підприємства використовується для побудови моделі даних обраної СУБД.

Перелік використаних джерел

1. Пупена О.М., Ельперін І.В., Луцька Н.М., Ладанюк А.П. Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах: Навчальний посібник. К.: Вид-во “Ліра-К”, 2011. 552 с.

2. Шевченко Н. Ю., Мойсеєнко К. Є., Латишева О. В. Діагностика та моделювання бізнес-процесів підприємства як обов'язковий компонент проекту підвищення операційної ефективності. Вісник економічної науки Ук-раїни. 2023. No 1 (44). С. 50-56. DOI: [https://doi.org/10.37405/1729-7206.2023.1\(44\).50-56](https://doi.org/10.37405/1729-7206.2023.1(44).50-56)

3. Бікулов Д. Управління бізнес-процесами підприємства: навчальний посібник. Запоріжжя, ЗНУ, 2017. 440 с.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-120>

ANALYSIS OF THE CURRENT STATE OF TOURISM BUSINESS SUPPORT INFORMATION SYSTEMS

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ТУРИСТИЧНОГО БІЗНЕСУ

Тkachuk A.V.,

*Student (group 122-24-1p),
LLC “Technical university
“Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Тkachuk A.B.,

*студентка гр. 122-24-1п,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Sahaida P.I.,

*DSc (Engineering), Associate Professor,
LLC “Technical university
“Metinvest polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine*

Сагайда П.І.,

*д.т.н., доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

В процесі поточної цифрової трансформації сучасного бізнесу інформаційні технології в туристичній галузі відіграють важливу роль у

забезпеченні ефективного управління, поліпшенні обслуговування клієнтів та сприяють розвитку туристичної індустрії. Сучасні інформаційні системи забезпечують можливість ефективного управління операціями, маркетингом і обслуговуванням клієнтів, що має вирішальне значення для успіху туристичних компаній. Оцінка продуктивності інформаційних систем передбачає визначення ключових показників ефективності (КПІ), основними серед яких є швидкість обробки замовлень, задоволеність клієнтів, зниження витрат і зростання продажів. Інформаційні системи забезпечують інтеграцію різних функцій компанії, що дозволить підвищити якість обслуговування, забезпечити зручність для клієнтів.

Аналіз існуючих досліджень та публікацій показує, що автоматизація на основі використання інформаційних систем підтримки діяльності туристичного бізнесу сприяє покращенню маркетингових стратегій, підвищенню точності прогнозування попиту та оптимізації управління ресурсами. Основними проблемами автоматизації є висока вартість впровадження, складність інтеграції з існуючими системами та ризики кібербезпеки. Це включає витрати на придбання програмного забезпечення, обладнання, навчання персоналу та технічну підтримку. Іншою важливою проблемою є складність інтеграції нових автоматизованих систем з існуючими інформаційними системами та процесами, що може ускладнити обмін даними та знизити ефективність роботи. Це може призвести до тимчасових збоїв у роботі компанії, що вимагає значних ресурсів для налаштування та тестування систем. Аналіз основних проблем та ризиків дозволяють визначити можливі шляхи їх мінімізації.

Основні напрямки автоматизації обробки даних та підтримки прийняття рішень включають впровадження систем управління відносинами з клієнтами (CRM), систем управління ресурсами підприємства (ERP) та систем бронювання.

Дослідження основних методів обробки даних, що використовуються в інформаційних системах підтримки туристичного бізнесу, показали, що вони включають візуалізацію локацій та відповідних туристичних об'єктів, в тому числі зі зниженням розмірності факторного простору, підтримку документно-орієнтованих та графових баз даних, реалізацію рекомендаційних алгоритмів та алгоритмів машинного навчання для витягу моделей з даних, на основі яких виконується прогнозування параметрів і станів предметної області, та інші. Порівняння ефективності різних методів дозволяє визначити їх переваги та недоліки. Тенденції та нові технології в методах та моделях інформаційних систем для туризму, такі як штучний інтелект та блокчейн, можуть значно покращити функціональність та безпеку інформаційних систем.

Висновки. Туристичний бізнес – це сучасна галузь, яка динамічно розвивається. Впровадження інформаційної системи відкриває нові можливості для ефективного вирішення основних задач туристичного бізнесу. Дослідження підкреслюють необхідність ретельного планування та управління процесом автоматизації на основі впровадження інформаційних систем в сфері туризму. Однією із умов забезпечення ефективної підтримки прийняття рішень у цій сфері є проектування та створення відповідної інформаційної системи з комплексним використанням методів обробки та аналізу даних, що дозволить розв'язувати широкий клас задач. Подальші дослідження та інновації в цій галузі допоможуть покращити обслуговування клієнтів і оптимізувати бізнес-процеси.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-121>

RESEARCH OF THE INTELLIGENT CHATBOT OF THE SERVICE SUPPORT SERVICE

ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ЧАТ-БОТУ СЛУЖБИ СЕРВІСНОЇ ПІДТРИМКИ

Shamtko O.V.,

PhD (Engineering),

*Associate Professor, LLC "Technical
university "Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Шматко О.В.,

к.т.н., доцент,

*ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Ефективне управління персоналом є надзвичайно важливим для забезпечення безперебійного функціонування металургійних підприємств, сприяючи ефективному розподілу завдань, безперервній комунікації та оптимізації ресурсів [1]. Однак традиційні методи управління персоналом часто стикаються з такими проблемами, як непорозуміння, прогалини в інформації та трудомісткі адміністративні процеси [2].

У цьому контексті інтеграція технології чат-ботів пропонує перспективні рішення. Чат-боти можуть надавати допомогу в режимі реального часу, автоматизувати рутинні завдання та сприяти ефективній комунікації між працівниками металургійних підприємств [3]. Виступаючи як віртуальні асистенти, вони надають інформацію,

відповідають на запитання та скеровують співробітників у їхній повсякденній діяльності. Впровадивши прототип чат-бота в інформаційну систему, металургійні підприємства можуть удосконалити процеси управління персоналом, підвищити операційну ефективність та досягти кращих результатів.

Інтелектуальні агенти стали популярним інструментом у сфері управління персоналом, пропонуючи автоматизовану допомогу та підтримку працівникам і керівникам [5,6]. Ці агенти призначені для виконання різних завдань, таких як відповіді на поширені запитання, надання інформації про політику та процедури, допомога у складанні графіків та управлінні відпустками, а також полегшення комунікації між різними відділами. Дослідження показали, що впровадження чат-ботів-помічників у системи управління персоналом призвело до значної економії часу та підвищення рівня задоволеності працівників [7-8].

В роботі розглядається впровадження прототипу інтелектуального чат-боту для служби управління персоналом. Вибір платформи Telegram був обґрунтований її зручністю та готовою інфраструктурою, а вибір Python як мови програмування – простотою використання, читабельністю коду та широкою бібліотечною підтримкою, включаючи взаємодію з нейронними мережами та сервісами на кшталт OpenAI.

В роботі досліджується розроблений чат-бот для проведення співбесід співробітниками служби управління персоналом під час прийому на роботу.

Основне завдання чат-ботів для проведення співбесід, це отримати високоякісні відповіді від учасників [9]. Огляд наукових публікацій за цією тематикою показує, що успіх інтерв'ю часто визначається двома аспектами: якістю отриманих відповідей і рівнем залученості користувачів [10]. Таким чином, в роботі досліджуються здібності розробленого інтелектуального чат-боту проводити співбесіди. При цьому досліджуються: якості відповідей чат-боту та залученість користувачів. Набір метрик для оцінювання чат-боту служби управління персоналом був сформований на основі аналізу наукових публікацій [11,12].

Результати дослідження представлені у таблиці 1 та на графіку (рис.1). В опитуванні взяли участь 30 респондентів, з яких 16 чоловіків і 14 жінок. Респонденти були розподілені на дві групи: Група А працювала зі стандартним чат-ботом сервісної служби без використання штучного інтелекту, а Група Б – з розробленим інтелектуальним чат-ботом.

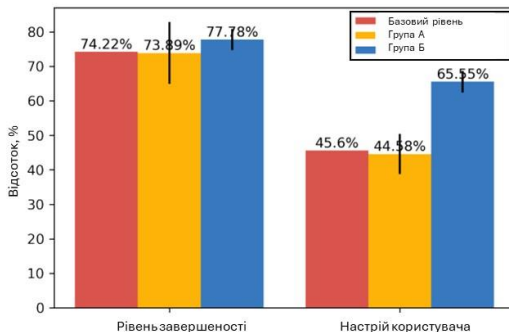
Таблиця 1

Порівняння показників продуктивності чат-боті (з ШІ та без ШІ)

Метрика	Група В		Група А		Базовий рівень	
	СЗ*	СВ*	СЗ	СВ	СЗ	СВ
Інформативність	2.160	1.362	1.905	1.645	1.843	1.061
Довжина відповіді	7.204	5.788	6.291	4.736	6.204	3.969
Тривалість взаємодії	2.342	0.362	1.632	0.122	0.758	0.324
Рівень задоволеності	4.229	0.977	4.039	1.113	4.172	1.004
Рівень довіри	4.034	1.027	3.925	1.072	3.929	0.961
Рівень емпатії	0.018	0.039	0.015	0.043	0	0
Частота повторів	0.016	0.003	0.018	0.006	0.018	0.047
Рівень вторгнення в приватність	0.217	0.182	0.204	0.194	0.208	0.181

СЗ (середнє значення) – це сума всіх значень змінної, поділена на кількість цих значень.

СВ (стандартне відхилення) являє собою міру розкиду значень навколо середнього значення.

**Рис. 1. Порівняльний аналіз**

Висновок. Автоматизація процесів управління персоналом, покращення комунікації та оптимізація процесу прийняття рішень може призвести до економії коштів та підвищення операційної ефективності.

Перелік використаних джерел

1. Махмудов Х., Чухліб В. Вплив цифрових технологій на ефективність управління персоналом. *Проблеми і перспективи економіки та управління*. 2022. №. 4 (32). С. 17-26.

2. Писаревська Г. І. Тенденції розвитку використання Digital технологій в управлінні персоналом. *Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія «Економічні науки»*. 2021. №. 41. С. 54-60.
3. Черненко Н. І. Штучний інтелект в управлінні персоналом *Таврійський науковий вісник. серія: економіка*. 2022. №. 12. С. 76-83.
4. Волянська-Савчук Л. В. та ін. Розвиток трендів використання Digital-технологій в управлінні персоналом. *Збірник наукових праць Черкаського державного технологічного університету. Серія: Економічні науки*. 2023. №. 68. С. 112-120.
5. Рахно Ю., Линенко А. Можливості впровадження сучасних цифрових рішень управління персоналом торговельних мереж України. *JEL: F29, L86, O10, O14*. 2023. С. 380.
6. Могильна Л. М. Управління та розвиток персоналу з використанням інформаційних технологій. *Цифрова економіка та економічна безпека*. 2023. №. 7 (07). С. 104-110.
7. Канцур І. Г., Кононова О. Є., Хмарська І. А. Управління персоналом в умовах цифрової економіки //Економіка та держава. – 2022. – №. 2. – С. 103-108.
8. Потьомкіна О. В., Гордійчук А. І. Трансформація системи управління персоналом підприємства в умовах цифровізації економіки. *Економічні науки. Серія" Регіональна економіка"*. 2022. №. 19 (75). С. 217-224.
9. Моніч А. О. Механізм антикризового управління персоналом організації публічної сфери. дис. магістр: 281. Публічне управління та адміністрування. Тернопіль. 2023. 65 с.
10. Винничук Р., Нога А. Використання чат-ботів в HR-менеджменті: аналіз вітчизняних літературних джерел. *Наука і техніка сьогодні*. 2024. №. 4 (32).
11. Abd-Alrazaq A. et al. Technical metrics used to evaluate health care chatbots: scoping review. *Journal of medical Internet research*. 2020. Т. 22. №. 6. С. e18301.
12. Casas J. et al. Trends & methods in chatbot evaluation. *Companion Publication of the 2020 International Conference on Multimodal Interaction*. 2020. С. 280-286.

НОТАТКИ

The project was implemented with the support of



The Center for Ukrainian-European Scientific Cooperation is a non-governmental organization, which was established in 2010 with a view to ensuring the development of international science and education in Ukraine by organizing different scientific events for Ukrainian academic community.

The priority guidelines of the Center for Ukrainian-European Scientific Cooperation

1. International scientific events in the EU

Assistance to Ukrainian scientists in participating in international scientific events that take place within the territory of the EU countries, in particular, participation in academic conferences and internships, elaboration of collective monographs.

2. Scientific analytical research

Implementation of scientific analytical research aimed at studying best practices of higher education establishments, research institutions, and subjects of public administration in the sphere of education and science of the EU countries towards the organization of educational process and scientific activities, as well as the state certification of academic staff.

3. International institutions study visits

The organisation of institutional visits for domestic students, postgraduates, young lecturers and scientists to international and European institutes, government authorities of the European Union countries.

4. International scientific events in Ukraine with the involvement of EU speakers

The organisation of academic conferences, trainings, workshops, and round tables in picturesque Ukrainian cities for domestic scholars with the involvement of leading scholars, coaches, government leaders of domestic and neighbouring EU countries as main speakers.

Contacts:

Head Office of the Center for Ukrainian-European Scientific Cooperation:
88000, Uzhhorod, 25, Mytraka str.
+38 (099) 733 42 54
info@cuesc.org.ua

www.cuesc.org.ua

International scientific conference “MININGMETALTECH 2024 –
The mining and metals sector: integration of business, technology
and education”

November 28–29, 2024

Izdevniecība «Baltija Publishing»
Valdeķu iela 62 – 156, Rīga, LV-1058
E-mail: office@baltijapublishing.lv

Iespiests tipogrāfijā SIA «Izdevniecība «Baltija Publishing»
Parakstīts iespiešanai: 2024. 30. novembris
Tirāža 100 eks.