

https://doi.org/10.51885/3134-8009_IES_2026_1_11

XFTAP 55.22.19

ТОЗУҒА ТӨЗІМДІ ТАБЫНДАРДЫ БАЛҚЫТЫП ҚАПТАУ ӘДІСІМЕН АЙНАЛМАЛЫ ТАУ-КЕН-ШАХТА ПЫШАҚТАРЫНЫҢ РЕСУРСЫН АРТТЫРУ

ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА РОТАЦИОННЫХ ГОРНО-ШАХТНЫХ НОЖЕЙ МЕТОДОМ НАПЛАВКИ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ

INCREASING THE SERVICE LIFE OF ROTARY MINING KNIVES BY MEANS OF SURFACING AND WEAR-RESISTANT COATINGS

М.Т. Капкенова ¹, С.Д. Капаева ¹, Р. Ғабдысалық ^{1*},
Jacek Cieřlik ², Ж.А. Бекмырза ³

¹Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан

²AGH Станислав Сташиц атындағы ғылым және технология университеті, Краков, Польша

³Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай облыстық университеті, Қостанай қ., Қазақстан

*Жауапты автор: Риза Ғабдысалық, e-mail: riza.gabdyssalyk@mail.ru

Түйінді сөздер:

айналмалы пышақтар;
тау-кен жабдықтары;
тозуға төзімділік;
балқыту; EnDOtec;
карбидті жабындар;
машина жасау

ТҮЙІНДЕМЕ

Тау-кен өнеркәсібінде кескіш құралдың беріктігін қамтамасыз ету пайдалану жағдайында абразивті және соққы тозуының агрессивті әсеріне байланысты негізгі инженерлік проблема болып табылады. Бұл зерттеу жұмыс бетінде механикаландырылған балқыту технологиясы бойынша қатайтатын жабындар жасау арқылы тау-кен жабдығының айналмалы пышақтарының пайдалану сенімділігін арттыруға арналған. Негізгі материалдың тозу кинетикасын талдау негізінде EnDOtec оңтайлы легирленген ұнтақ сымдарын таңдау жүргізілді (болат 45). AGH (Польша) Ғылым және технология университетінің сандық бағдарламалық басқаруы (СББ) бар үш координатты станок кешенінде іске асырылған жоғары дәлдіктегі балқыту әдістемесі әзірленді. Микроқаттылықты металлографиялық зерттеу және өлшеу кешені (МЕТОАЛАБ 502) абразияға төзімділік үшін өте маңызды ультра жоғары қаттылық фазаларының (1705 HV_{0,1}дейін) түзілуін растады. Балқытудың белгіленген технологиялық параметрлері сұйыту коэффициентін және термиялық әсер ету аймағының мөлшерін едәуір төмендетуге мүмкіндік берді. Алынған нәтижелер әзірленген технологияны Қазақстан Республикасының өнеркәсіптік практикасына имплементациялаудың орындылығын растайды.

Ключевые слова:

ротационные ножи;
горно-шахтное
оборудование;
износостойкость;
наплавка; EnDOtec;

АННОТАЦИЯ

Обеспечение долговечности режущего инструмента в горнодобывающей отрасли представляет собой ключевую инженерную проблему, что обусловлено агрессивным воздействием абразивного и ударного износа в условиях эксплуатации. Данное исследование посвящено повышению эксплуатационной надежности ротацион-



карбидные покрытия;
машиностроение.

ных ножей горно-шахтного оборудования путем создания на их рабочей поверхности упрочняющих покрытий по технологии механизированной наплавки. Проведен выбор оптимальных легированных порошковых проволок EnDOtec на основе анализа кинетики изнашивания основного материала (сталь 45). Разработана методика высокоточной наплавки, реализованная на трехкоординатном станочном комплексе с числовым программным управлением (ЧПУ) Университета науки и технологии AGH (Польша). Комплекс металлографических исследований и замеров микротвердости (МЕТОАЛАБ 502) подтвердил образование фаз ультравысокой твердости (до 1705 $HV_{0.1}$), критичных для сопротивления абразии. Установленные технологические параметры наплавки позволили существенно снизить коэффициент разбавления и размеры зоны термического влияния. Полученные результаты подтверждают целесообразность имплементации разработанной технологии в промышленную практику Республики Казахстан.

keywords:

rotary cutting tools; mining equipment; wear resistance; hardfacing; EnDOtec; carbide coatings; mechanical engineering.

ABSTRACT

Enhancing the service life of cutting tools in the mining industry presents a pivotal engineering challenge, driven by the aggressive effects of abrasive and impact wear encountered during operation. This study focuses on improving the operational reliability of rotary mining-machine cutting tools by applying hardening coatings using mechanized hardfacing technology. The optimal alloyed cored wires (EnDOtec series) were selected based on an analysis of the wear kinetics of the base material (Steel 45). A high-precision hardfacing methodology was developed and implemented on a three-axis Computer Numerical Control (CNC) machine at the AGH University of Science and Technology (Poland). Comprehensive metallographic examinations and microhardness measurements (METOALAB 502) confirmed the formation of ultra-high hardness phases (up to 1705 $HV_{0.1}$), critical for high abrasion resistance. The established hardfacing parameters allowed for a significant reduction in the dilution coefficient and the size of the heat-affected zone. The results support the feasibility of implementing this developed technology within the industrial practice of the Republic of Kazakhstan.

КІРІСПЕ

Жұмыс құралдарының жедел және қарқынды тозуы тау-кен өндіру өнеркәсібіндегі өнімділіктің өсуін тежейтін негізгі факторлардың бірі болып табылады. Мұндай құбылыс, өз кезегінде, өндірістік процестердің тиімділігін төмендетіп, операциялық шығындардың едәуір артуына әкеледі. Тазалау және өтпе жұмыстарында кеңінен қолданылатын ротациялық кескіштер (пышақтар) аса күрделі пайдалану жағдайларында жұмыс істейді. Бұл жағдайлар жоғары дәрежелі абразивтік тозу, айтарлықтай динамикалық соққы әсерлері және температуралық циклдердің ауытқулары сияқты факторлардың үйлесуімен сипатталады (Kotelnikov, 2021). Нәтижесінде кесу жиегінің геометриялық пішінінің жылдам бұзылуы орын алып, жабдықтың апаттық тоқтап қалуына, қымбат тұратын құрамдас бөлшектерді жиі ауыстыру қажеттілігіне алып келеді. Мұның бәрі өндірістік кешеннің техникалық дайындығының жалпы коэффициентін төмендетіп, жүйенің сенімділігі мен экономикалық тиімділігіне кері әсерін тигізеді.

Тозуға төзімді жабындарды балқытып қаптау әдісі арқылы жағу – тозатын бөлшектердің қызмет ету мерзімін арттырудың ғылыми тұрғыдан дәлелденген және экономикалық тұрғыдан тиімді шешімі болып табылады (Sagyndikov et al., 2023). Балқытып қаптау технологиясы тек бөлшектің бастапқы геометриялық пішінін қалпына

келтірумен шектелмей, сонымен қатар жұмыс бетінде негізгі материалдың қасиеттерінен едәуір жоғары трибологиялық сипаттамалары бар қабатты мақсатты түрде қалыптастыруға мүмкіндік береді. Қазақстанның тау-кен өндіру кешенінде мұндай технологиялық тәсілді енгізу саланың жалпы тиімділігін арттыру және өндірістік процестердің сенімділігін қамтамасыз ету тұрғысынан аса маңызды болып табылады (Aubakirov et al., 2023).

Зерттеудің мақсаты: Тозуға төзімді жабындарды балқытып қаптау әдісін қолдану арқылы тау-кен машиналарының ротациялық пышақтарының жұмыс тұрақтылығын қамтамасыз ету.

Қойылған мақсатқа жету үшін төмендегі міндеттер қойылып, шешілді:

- Конструкциялық болаттан жасалған ротациялық тау-кен пышақтарының абразивтік және соққылы тозу механизмдерін жүйелеу және талдау.

- Екіншілік карбидтік фазалардың жоғары концентрациясы бар құрылым қалыптастыруға қабілетті легіріленген балқытып қаптауға арналған материалдарды ғылыми негізде таңдау.

- СББ-жабдықтарын қолдана отырып, жоғары дәлдікті механикаландырылған балқытып қаптау технологиялық режимдерін әзірлеу және оларды сынақтан өткізу.

- Балқытып қаптау арқылы алынған қабаттың механикалық қасиеттері мен микроқұрылымына кешенді талдау жүргізу, соның ішінде микроқаттылық өлшеу.

- Тау-кен өндіру кешені жағдайында құралдың қызмет ету мерзімін ұлғайту және пайдалану шығындарын төмендету тұрғысынан әзірленген технологияны енгізу әлеуетін бағалау.

Тау-кен өнеркәсібінде қолданылатын құралдардың қарқынды тозуы мәселесі отандық және халықаралық ғылыми қауымдастықтардың тұрақты назарында болып келеді. Негізгі іргелі еңбектер тау жынысы массивімен өзара әрекеттесу кезінде кескіш элементтердің деградациясының басты механизмі абразивтік қажалу екенін анықтаған (Pawlik et al., 2022). Алайда, пайдалану барысындағы циклдік жүктемелердің әсерінен туындайтын шаршау және соққылы әсерлер де бұзылу үдерісінде елеулі рөл атқарады.

Тозуға төзімділікті арттыруға бағытталған әдістер, соның ішінде әртүрлі термиялық өңдеу түрлері мен қорғаныш жабындарын жағу технологиялары, қазіргі таңда белсенді ғылыми зерттеулер нысаны болып табылады. Атап айтқанда, электрофалық балқытып қаптау машиналардың, ірі және массивті бөлшектерін нығайтудың ең әмбебап әрі экономикалық тұрғыдан тиімді әдістерінің бірі ретінде қарастырылады. Темір, хром және молибден негізіндегі легіріленген қоспа материалдарды қолдану композиттік микроқұрылым алуға мүмкіндік береді. Мұндай құрылымда жоғары қаттылық Cr_7C_3 , $Cr_{23}C_6$ және NbC сияқты бастапқы және екіншілік карбидтік фазалардың түзілуі есебінен қамтамасыз етіледі (Mrowiec et al., 2023).

Балқытып қаптау технологиясының заманауи даму бағыттары СББ жүйелерімен басқарылатын механикаландырылған, соның ішінде роботтандырылған кешендерді интеграциялауды көздейді (Bisenov et al., 2024). Бұл тәсіл балқытып қаптау білігінің қалыптасуында жоғары дәлдікке қол жеткізуге, жылулық әсердің болжамдылығын қамтамасыз етуге және негізгі материалдың балқытылған қабатқа өту үлесінің төмен болуына (сұйылу коэффициентінің төмендігіне) мүмкіндік береді. Сұйылу деңгейінің төмен сақталуы жабынның бастапқыда берілген беріктік сипаттамалары мен химиялық тепе-теңдігін сақтау үшін шешуші мәнге ие. Бірқатар зерттеулерде сұйылу көрсеткішінің 10–15 % шектік мәнінен асуы легірлеуші, карбид түзуші компоненттердің құрамының күрт азаюына әкелетіні дәлелденген. Мұндай құбылыс қарқынды абразивтік тозу жағдайында жабынның тиімділігін төмендетеді.

Өзекшесі толтырылған ұнтақты сымдарды (FCAW) жол-құрылыс және тау-кен техникасы бөлшектерінің қаттылығын арттыру үшін қолдану тәжірибесі ғылыми

әдебиеттерде кеңінен сипатталған, бұл аталған әдістің жоғары нәтижелілігін растайды (Nazarbaev et al., 2023). Жарияланған деректерге жасалған шолу негізгі технологиялық параметрлер (беру жылдамдығы, ток күші, кернеу) мен соңғы балқытылған қабаттың морфологиясы, сондай-ақ қатты фазалардың таралу сипаты арасындағы тәуелділікті тереңірек зерттеудің маңыздылығын көрсетеді. Осыған байланысты, дәл ротациялық пышақтарды жоғары дәлдікпен балқытып қаптауға бағытталған бұл ғылыми-зерттеу жұмысы әлемдік заманауи технологиялық сын-қатерлер жүйесіне толық сәйкес келеді.

ЗЕРТТЕУ МАТЕРИАЛДАРЫ МЕН ӘДІСТЕРІ

Зерттеу нысаны: ротациялық тау-кен пышақтарының тозуға төзімділігін арттыру әдісі. Зерттеу пәні: технологиялық режимдер мен тозуға төзімді балқытып қапталған жабындардың химиялық құрамының пышақтардың жұмыс бетінің құрылымдық-фазалық күйіне және трибологиялық қасиеттеріне әсері.

Ротациялық пышақтарды дайындау үшін негізгі материал ретінде 45 маркалы конструкциялық көміртекті болат қолданылды. Тозуға төзімді жабындарды жағу үшін абразивтік тозу жағдайында балқытып қаптауға арналған Castolin Eutectic компаниясы өндіретін ұнтақты сымдар (FCAW) пайдаланылды: EnDOtec DO*351, EnDOtec DO*332 и EnDOtec DO*11.

Эксперименттік үлгілер мен пышақтардың кесу қырларын балқытып қаптау жұмыстары Краков қаласындағы (Польша) AGH Ғылым және технология университетінде Ян Павлик (Jan Pavlik) әзірлеп, құрастырған сандық бағдарламалық басқаруы (СББ) бар түпнұсқалық роботтандырылған үшқординаталы станоктық кешенде жүзеге асырылды (1-сурет).

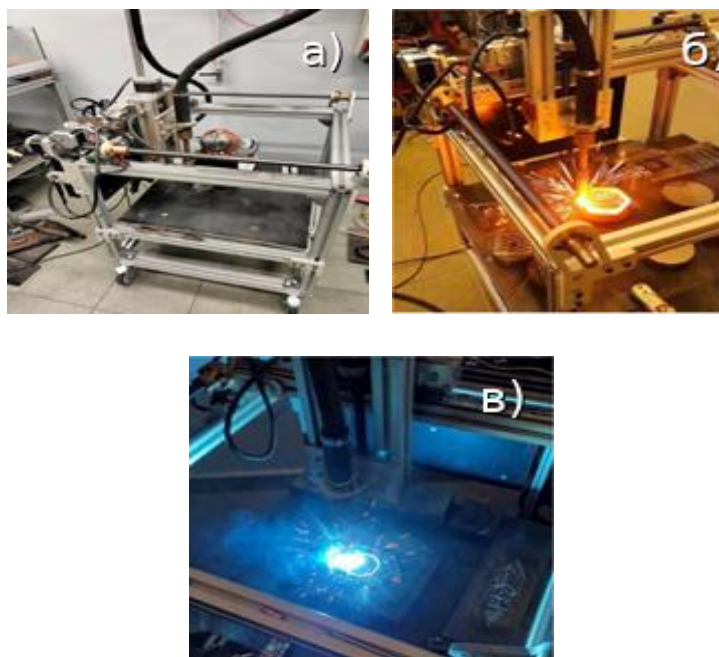


1-сурет. AGH (Польша) Ғылым және технология университетіндегі тау жынысын бұзу процесін модельдейтін ротациялық орындаушы орган:

а) жалпы көрініс; б) тау-кен пышақтары

Ескерту – автор (Капкенова, 2025) негізінде құрастырған

Балқытып қаптау процесі Ян Павлик жобалап, жасап шығарған, АГН Ғылым және технология университетінде 2-суретте орналасқан СББ бар бірегей станокты пайдалану арқылы жүзеге асырылды (Pawlik et al., 2022).



2-сурет. АГН Ғылым және технология университеті (Польша) орналасқан, Ян Павлик жобалап жасаған СББ бар балқытып қаптауға арналған жабдық және балқытып қалыптау процесі кезіндегі а – жалпы көрінісі; б – қаптау процесі; в – жұмыс аймағы
Ескерту – автор (Капкенова, 2025) негізінде құрастырған

Бұл жабдықты қолдану балқытып қаптау сымның берілуін және GMAW дәнекерлеу жанарғысының қозғалу жылдамдығын прецизионды түрде бақылауға мүмкіндік берді. Қосымша төртінші айналу осімен жабдықталған үш осьті станоктың жұмыс аймағы 320×300×170 мм құрайды және балқытып қаптау басының қозғалу жылдамдығын 0,1-ден 200 мм/с дейінгі диапазонда реттеуді қамтамасыз етеді. Қондырғының CAD-моделі мен балқыту процесі кезіндегі жабдықтың фотосуреті жоғарыда келтірілген.

Кескіш басына ротациялық пышақтар орнатылған, олар нағыз эксплуатациялық жүктемелерді имитациялайтын жағдайларда тексеріледі. Бұл материалдардың тозуға төзімділігін және қорғаныштық балқытып қапталған қабаттардың тиімділігін бағалауға мүмкіндік береді.

Саңдық бағдарламалық басқаруы бар станокты қолдану жоғары дәлдікті балқытып қаптау әдістемесін іске асыруға мүмкіндік берді. Бұл әдіс технологиялық параметрлерді қатаң бақылауды қамтамасыз етті: сым беру жылдамдығын, жанарғының орын ауыстыру жылдамдығын (V_h), электрлік режим параметрлерін (I , U), сондай-ақ қабатаралық температураны.

Нәтижелерді жан-жақты бағалау үшін келесі әдістер кешені қолданылды:

Микроқаттылықты өлшеу.

Үлгілердің микроқаттылығы МЕТОАЛАБ 502 микроқаттылық өлшегішінде инденторға түсірілетін жүктеме $P = 100$ г (0,98 Н) және ұстап тұру уақыты 10 с кезінде өлшенді. H_m микроқаттылығы ГОСТ 9450–60 (GOST 9450–60, 1960) стандартына сәйкес төмендегі (1) формула бойынша анықталды:

$$H_m = 1,854 \times \frac{P}{d^2} \quad (1)$$

мұндағы P – инденторға түсірілетін жүктеме (кгс), d – із таңбасының диагоналінің орташа ұзындығы (мм).

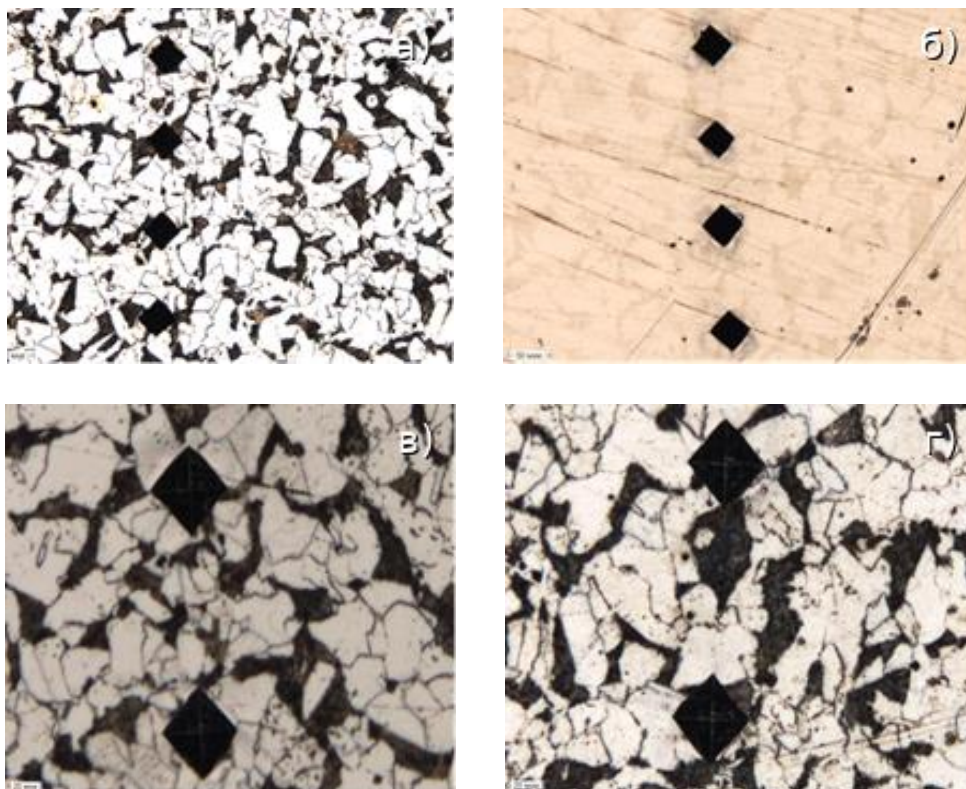
Іздер әрбір 100 мкм сайын қойылды. Статистикалық сенімділікті қамтамасыз ету үшін 5 өлшеу бойынша орташа мәндер анықталды, салыстырмалы қателік 3%-дан аспады. Металлографиялық талдау.

Оптикалық микроскоптарды қолдану арқылы балқытып қапталған қабаттың микроқұрылымы және жылулық әсер аймағы (ЖӘА) зерттелді.

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

Металлографиялық талдау көрсеткендей, DO*351 сымымен балқытып қаптау арқылы жасалған қабат жоғары легіріленген эвтектикалық құрылымды құрайды, ол аустенит-мартенсит матрицасынан және Cr_7C_3 типтес бастапқы хром карбидтерінен тұрады (Smagulov & Abilov, 2024; Badisch & Kirchgassner, 2023).

3-суреттерде негізгі металлдың (45 маркалы болат) микроқұрылымы әртүрлі өлшеу нүктелерінде көрсетілген.



3-сурет. Бастапқы күйдегі негізгі металлдың (45 маркалы болат) микроқұрылымы:

а – Үлгі – пышақтың сол жағы (негізгі металл) $\times 50$; б – Үлгі – пышақтың оң жағы (негізгі металл) $\times 50$; в – Үлгі – пышақтың ортасы (негізгі металл) $\times 20$;

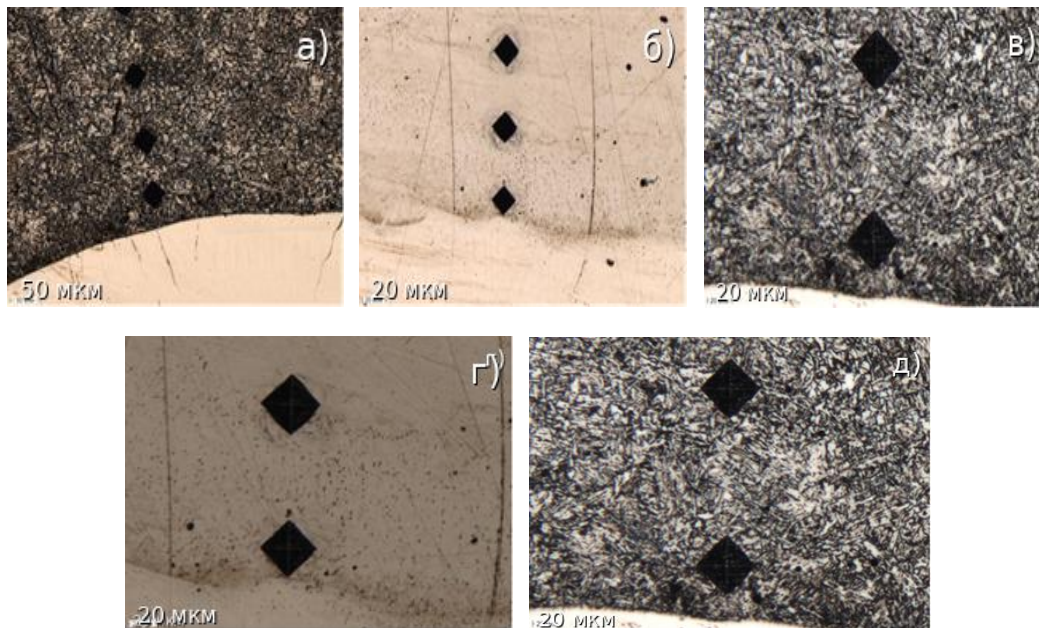
г – Үлгі – пышақтың сол жағы (негізгі металл) $\times 20$

Ескерту – автор (Капкенова, 2025) негізінде құрастырған

Бұл микроқұрылымда феррит-перлиттік фазалардың арақатынасы мен дән шекараларының айқын көрінетіні байқалады. Үлкейту дәрежесінің артуымен түйір өлшемдерінің әркелкілігі және жекелеген аймақтарда құрылымдық гетерогенділік

анықталды. Сонымен қатар, кейбір учаскелерде дисперстік қосындылар мен микрожарықшақ іздері байқалады, бұл материалдың бастапқы күйдегі ішкі кернеулерімен байланысты болуы мүмкін. Жалпы алғанда, алынған металлографиялық нәтижелер негізгі металдың құрылымы біртекті емес екенін және оның механикалық қасиеттеріне әсер ететін микродеңгейдегі айырмашылықтардың бар екенін көрсетеді.

4-суретте жылулық әсер аймағы (ЖӘА) мен ерген аймақтың микроқұрылымы көрсетілген. Бұл негізгі металға балқытып қаптау кезінде болатын жылулық циклдің әсерін бағалау үшін аса маңызды.



4-сурет. Балқытып қапталған қабаттың (EnDOtec) және 45 маркалы болатпен шекаралас жатқан жылулық әсер аймағының (ЖӘА) микроқұрылымы: а – Үлгі – пышақтың сол жағы (еріген аймақ) $\times 50$; б – Үлгі – пышақтың оң жағы (еріген аймақ) $\times 20$; в – Үлгі – ортасы (еріген аймақ) $\times 20$; г – Үлгі – пышақтың оң жағы (ерген аймақ) $\times 20$; д – Үлгі – ортасы (еріген аймақ), $\times 20$
Ескерту – автор (Капкенова, 2025) негізінде құрастырған

Технологиялық режимдерді оңтайландыру және микроқұрылымдық талдау. Жұмыс барысында әрбір сым маркасы үшін оптималды балқытып қаптау режимдері 1-кестеде анықталды. Бұл режимдер балқытып қапталған қабатты минималды сұйылумен (8–10 % дан аспайтын) қалыптастыруға және жарықтардың болмауын қамтамасыз етті.

1-кесте. Балқытып қаптау үшін оптималды технологиялық параметрлер

Балқытып қаптау материалы	Ток, I (A)	Кернеу, U (В)	Балқытып қаптау жылдамдығы (V_h , мм/с)	Сұйылу коэффициенті (%)
EnDOtec DO*351	180-200	25-27	1,8	~ 8
EnDOtec DO*332	160-180	24-26	2,0	~ 9
EnDOtec DO*11	150-170	23-25	2,5	~ 10

Ескерту – Автордың деректері негізінде жасалған (Капкенова М.Т. 2023)

Балқытып қапталған қабаттың микроқаттылығын талдау. Балқытып қапталған металдың микроқаттылығын өлшеу нәтижелері 2-кестеде көрсетілген.

2-кесте. Балқытып қапталған үлгілердің микроқаттылығын өлшеу нәтижелері ($HV_{0.1}$)

Үлгі	Балқытып қаптау материалы	Матрицаның (тігілетін аймақ маңындағы) микроқаттылығы $HV_{0.1}$	Балқытып қапталған қабаттың микроқаттылығы $HV_{0.1}$	Түсініктеме
№ 1	EnDOfec DO*11	320.7	671.4	Балқытып қапталған металдың орташа қаттылығы
№ 2	EnDOfec DO*332	310.2	625.7	Балқытып қапталған металдың орташа қаттылығы
№ 3	EnDOfec DO*351	248.0	1705.0	Қатты карбидтік фазадағы өлшеу ($C_{17}C_3$)
№ 3 (Матрица)	EnDOfec DO*351	-	445.0	Жұмсақ эвтектикалық матрицадағы өлшеу

Ескерту – Автордың деректері негізінде жасалған (Каткенова М.Т. 2023)

Алынған мәліметтер 2-кестеде көрсеткендей, максималды қаттылық мәні 1705 $HV_{0.1}$ үлгі №3 (DO*351) бойынша тіркелген және бұл мән бастапқы карбидтік фазалардың қаттылығына сәйкес келеді, олар абразивтік тозуға жоғары қарсылық көрсетеді. Қоршаған матрицаның қаттылығы (445 $HV_{0.1}$) соққылы жүктемелерге қарсы тұру үшін қажетті иілгіштікті сақтайды. Үлгілердің орташа қаттылық мәндері: №1 үлгі – (671,4 $HV_{0.1}$) және №2 үлгі (625,7 $HV_{0.1}$). Бұл көрсеткіштер негізгі металлдың (45 маркалы болат $\approx 200 HV_{0.1}$) қаттылығынан үш есе және одан да жоғары екендігін білдіреді.

Негізгі металл мен ЖӘА қаттылығын бағалау. Балқытып қаптау кезінде жылулық циклдің негізгі металлға (45 маркалы болат) әсерін бағалау үшін жылулық әсер аймағында (ЖӘА) және алыстағы учаскелерде микроқаттылық өлшеулері жүргізілді (Seitkaziev & Nurbosynov, 2024)

Микроқаттылықты зерттеу нәтижелері, әсіресе қатты фазаларда экстремалды жоғары мәндердің тіркелуі 2-кестеде, композициялық тозуға төзімді жабынның сәтті қалыптасқанын дәлелдейді. Мұндай құрылымдық механизмде қатты карбидтер абразивтік тозуға төтеп берсе, пластикалық матрица соққылы жүктемелерге қарсы тұрады, бұл тау-кен пышақтарының эксплуатация жағдайлары үшін ең тиімді болып табылады (Zimakov, 2021; Mrowiec et al., 2023).

3-кесте. Негізгі металлдың (45 маркалы болат) және ЖӘА-ның $HV_{0.2}$ микроқаттылығын өлшеу нәтижелері

Өлшеу аймағы	Бастапқы материал	Орташа қаттылық $HV_{0.2}$	Стандарттық ауытқу	Түсініктеме
Негізгі металл (сол жақ)	Болат 45	185	4,8	Балқытып қаптау аймағынан алыс
Ерген аймақ/ЖӘА (сол жақ)	Болат 45 + Балқытып қаптау	228	18,0	Жылулық әсер аймағы
Негізгі металл (ортасы)	Болат 45	178	12,5	Балқытып қаптау аймағынан алыс
Ерген аймақ/ЖӘА (ортасы)	Болат 45 + Балқытып қаптау	212	1,0	Жылулық әсер аймағы
Негізгі металл (оң жақ)	Болат 45	170	5,5	Балқытып қаптау аймағынан алыс
Ерген аймақ/ЖӘА (оң жақ)	Болат 45 + Балқытып қаптау	209	8,8	Жылулық әсер аймағы

Ескерту – Автордың деректері негізінде жасалған (Каткенова М.Т. 2023)

Негізгі металлдың (Болат 45) қаттылығы 170–185 $HV_{0.2}$ диапазонында орналасқан, бұл оның бастапқы күйіне сәйкес келеді. Жылулық әсер аймағында (ЖӨА) локалды қаттылық 209–228 $HV_{0.2}$ дейін артады, бұл бақылаулы салқындату циклы нәтижесінде жұқа дисперсті фазалардың түзілуінен туындайтын құрылымдық өзгерістермен түсіндіріледі. Бұл қаттылықтың орташа жоғарылауы жылулық әсерді тиімді минимизациялағанын көрсетеді, бұл пышақтың жалпы беріктігін сақтау үшін маңызды.

ЖӨА талдауы 3-кестеде және микрофотосуреттер 2-суретте көрсеткендей, СББ-жабдықтарын қолдана отырып әзірленген технологиялық режимдер жылулық әсер аймағын минималды деңгейде қамтамасыз етті. ЖӨА-дағы қаттылықтың орташа жоғарылауы (228 $HV_{0.2}$ дейін) қатты қатайтудың немесе металлдың қызып кетуінен туындайтын қаттылықтың күрт төмендеуі белгілері болмай, процестің жылулық балансын сәтті бақылауды көрсетеді. Бұл ротациялық пышақтың негізгі бөлігінің жалпы беріктігі мен иілгіштігін сақтау үшін аса маңызды (Fernández & García, 2018).

Алынған нәтижелер бойынша, құралдың қызмет ету мерзімінің болжамды ұзаруы 80 %-ға дейін тау-кен өндірісінде экономикалық тиімділікті арттырып, Қазақстан жағдайында өндіру тиімділігін жоғарылатуға мүмкіндік береді (Kabdrakhmanov et al., 2023).

ҚОРЫТЫНДЫ

Жүргізілген зерттеу механикаландырылған балқытып қаптау әдісі арқылы ротациялық тау-кен пышақтарының қызмет ету мерзімін елеулі түрде ұлғайту мүмкіндігі туралы ғылыми гипотезаны растады.

Негізгі қорытындылар:

- EnD0тес дәнекерлеу сымдарын таңдау негізді, себебі олар жоғары қаттылықтағы карбидтік қабаттарды қалыптастырады, бұл абразивтік тозуға тиімді қарсы тұруды қамтамасыз етеді.
- Үшкоординаталы СББ жабдығын қолдану балқытып қаптаудың жоғары дәлдігін қамтамасыз етті, сұйылу коэффициентін 10%-дан аспайтын деңгейде сақтауға мүмкіндік берді және негізгі металлға теріс жылулық әсерді минимизациялады.
- Микроқаттылық өлшеулері ультрақатты фазалардың (1705 $HV_{0.1}$ дейін) түзілуін растады, бұл негізгі металлмен (Болат 45) салыстырғанда тозуға төзімділіктің айтарлықтай өсуіне әкелді. Жылулық әсер аймағындағы қаттылық (209–228 $HV_{0.2}$) пышақтың эксплуатациялық сипаттамаларын сақтауға мүмкіндік береді.

МҮДДЕЛЕР ҚАЙШЫЛЫҒЫ: Авторлар мүдделер қақтығысының жоқ екенін мәлімдейді.

ҚАРЖЫЛАНДЫРУ. Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің грантымен қаржыландырылды (AP22683698 «Ірі шиберлі ысырмалардың түйісетін бөлшектерінің тығыздағыш беттерінің тозуға төзімділігін арттыру»).

АЛҒЫС БІЛДІРУ: Авторлар эксперименттік жабдық (СББ) және технологиялық операцияларды жүргізуге арналған консультациялық қолдау көрсеткен Ян Павликке (Jan Pavlik) және AGH Ғылым және технология университетіне (Польша) шынайы алғыстарын білдіреді.

ӘДИБЕТТЕР ТІЗІМІ

- Kotelnikov, V. V. (2021). Technology of restoration and strengthening of machine parts: Textbook. Moscow: Infra-M.
- Sagyndikov, Zh.M., Burkitbaev, M.M., & Kaliev, B.S. (2023). Wear mechanisms of mining equipment and methods of their prevention. Vestnik Karagandinskogo Tekhnicheskogo Universiteta (Bulletin of Karaganda Technical University), 2(110), 54–62.

- Aubakirov, Zh.K., Sembaev, N.S., & Nurlanov, E.K. (2023). Prospects for the use of wear-resistant coatings in the mining industry of Kazakhstan. *Vestnik KazNRTU*, 5(145), 67–74.
- Pawlik, J., Ciešlik, J., Bembenek, M., Góral, T., Kapayeva, S., & Kapkenova, M. (2022). On the influence of linear energy/heat input coefficient on hardness and weld bead geometry in chromium-rich stringer GMAW coatings. *Materials*, 15(17), 6019. <https://doi.org/10.3390/ma15176019>
- Bisenov, E. I., Abdrakhmanov, S. T., & Zhunisov, K. K. (2024). Welding technologies for mining equipment. *Kazakhstan Mining Journal*, 3(182), 45–52.
- Nazarbaev, T.A., Kozhakhmetov, E.A., & Ospanov, D.S. (2023). Increasing wear resistance of mining machine parts by welding method. *Vestnik KarTU*, 4(112), 89–97. (In Russian).
- Smagulov, D.U., & Abilov, B. T. (2024). Microstructure of chromium coatings produced by GMAW technology. *Metallurgy and Materials Science*, 1(38), 23–31.
- Seitkaziev, A. Kh., & Nurbosynov, D. N. (2024). Experience in implementing coating technologies at enterprises of the Karaganda region. *Mining of Kazakhstan*, 1(89), 78–85.
- GOST 9450–60. (1960). Metals. Method for measuring microhardness by diamond pyramid indentation. Moscow: Izdatelstvo standartov.
- Kuznetsov, A.S., et al. (2023). New materials for surfacing and their application in the mining industry: Monograph. Ekaterinburg.
- Sidorov, A.R. (2023). Methods of quality control of surfaced coatings. *Control. Diagnostics*, 8, 41–47.
- Zimakov, A. V. (2021). Wear and protection methods of mining equipment. Kemerovo: KuzSTU.
- Mrowiec, L. B., et al. (2023). Influence of dilution on wear resistance of hardfaced coatings in mining applications. *Materials*, 16(3), 1123. <https://doi.org/10.3390/ma16031123>
- Fernández, J., & García, A. (2018). Laser cladding of Ni-based alloys for mining tools. *Materials & Design*, 142, 312–320. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2018.02.047>
- Badisch, E., & Kirchgaßner, M. (2023). Microstructure and wear resistance of chromium-rich hardfacing alloys. *Surface and Coatings Technology*, 454, 129167. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2023.129167>
- Kabdrakhmanov, E. S., Zhaksylykov, T. B., & Muratov, R. M. (2023). Regularities of carbide phase formation in welded coatings. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Chemistry and Technology*, 4(450), 112–120.

Авторлар туралы мәліметтер
Информация об авторах
Information about authors



Капкенова Мадина Турлыбековна – 8D07102 - «Машина жасау» ББ докторанты, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан

Капкенова Мадина Турлыбековна – докторант по ОП – 8D07102 «Машиностроение», Восточно-Казakhstanский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

Kapkenova Madina Turlybekovna – doctoral student in the educational program 8D07102 – «Mechanical Engineering», East Kazakhstan Technical University named after D. Serikbaev, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

e-mail: MKapkenova@ektu.kz

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5979-8083>



Капаева Саркен Джулгазывна – техникалық ғылымдар кандидаты, профессор, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан

Капаева Саркен Джулгазывна – кандидат технических наук, профессор, Восточно-Казakhstanский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

Kapayeva Sarken Dzhulgazyvna – Candidate of Technical Sciences, Professor, East Kazakhstan Technical University named after D. Serikbaev, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

e-mail: sarkenkapayeva@yahoo.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2237-6960>



Ғабдысалық Риза – PhD, қауымдастырылған профессор, Д.Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан

Ғабдысалық Риза – PhD, ассоциированный профессор, Восточно-Казakhstanский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

Gabdysalyk Riza – PhD, Associate Professor, East Kazakhstan Technical University named after D. Serikbaev, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan,

e-mail: riza.gabdyssalyk@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9184-0897>



Jacek Ciešlik – PhD, профессор, AGH Станислав Сташиц атындағы ғылым және технология университеті, Краков, Польша

Jacek Ciešlik – PhD, Горно-металлургическая академия им. Станислава Сташица AGH г. Краков, Польша

Jacek Ciešlik – PhD, Professor, AGH University of Science and Technology, Krakow, Poland

e-mail: cieslik@agh.edu.pl

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0203-5149>



Бекмырза Жұмаш Айтжанұлы – PhD, Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай облыстық университеті, Қостанай, Қазақстан

Бекмырза Жұмаш Айтжанұлы – PhD, Костанайский областной университет имени Ахмета Байтурсынулы, Костанай, Казахстан

Bekmyrza Zhumash Aitghanuly – Akhmet Baitursynov Kostanay Regional University, Kostanay, Kazakhstan

e-mail: 5112431@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-5086-4127>