

НГТУ



НЭТИ

Обработка металлов

(технология • оборудование • инструменты)

Сайт журнала: http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov



Повышение стойкости зубьев буровых долот за счет изменения технологии их изготовления

Джавохир Тошов^{1, a}, Дониёр Фозилов^{2, b}, Касым Елемесов^{3, c}, Улугбек Рузиев^{2, d},
 Довуджон Абдуллаев^{2, e}, Динара Басканбаева^{3, f, *}, Лала Бекирова^{4, g}

¹ Ташкентский государственный технический университет, ул. Университетская, 2, г. Ташкент, 100095, Республика Узбекистан

² АО «Научно-производственное объединение «Алмалыкский ГМК», ул. В. Гайдарова, 1, г. Чирчик, 111700, Республика Узбекистан

³ Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, ул. Сатпаева, 22, г. Алматы, 050013, Республика Казахстан

⁴ Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности, пр. Азадлыг, 34, г. Баку, AZ1010, Азербайджан

^a <https://orcid.org/0000-0003-4278-1557>, j.toshov@tdtu.uz; ^b <https://orcid.org/0009-0005-6362-8326>, fozilovdoniyor81@gmail.com;

^c <https://orcid.org/0000-0001-6168-2787>, k.yelemesov@satbayev.university; ^d <https://orcid.org/0009-0008-2371-3085>, u.ruziev@agmk.uz;

^e <https://orcid.org/0009-0005-6362-8326>, dn.abdullaev@agmk.uz; ^f <https://orcid.org/0000-0003-1688-0666>, d.baskanbayeva@satbayev.university;

^g <https://orcid.org/0000-0003-0584-7916>, lala.bakirova@asoju.edu.az

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

УДК 621.9

История статьи:

Поступила: 22 августа 2024
 Рецензирование: 10 сентября 2024
 Принята к печати: 17 сентября 2024
 Доступно онлайн: 15 декабря 2024

Ключевые слова:

Буровые долота
 Вольфрамкобальтовые сплавы
 Производство
 Штыревое долото
 Твердые породы
 Эксплуатационные испытания

Финансирование

Исследование финансировалось Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан, номер гранта IRN BR18574141.

АННОТАЦИЯ

Введение. Развитие горной промышленности требует повышения стойкости и долговечности инструмента. Для долот горно-бурильных машин эта задача часто решается путем улучшения материала зубьев долот. В работе представлены результаты исследования по разработке технологии изготовления твердосплавных буровых коронок с повышенной износостойкостью и испытания опытных образцов при бурении твердых горных пород. **Методы и материалы.** В работе исследовались твердосплавные зубья долот, изготавливаемые АО «Алмалыкский ГМК» по стандартной и доработанной технологии. Были изучены их строение и химический состав. Изменение технологии подразумевало изменение формы зуба. В качестве исходного компонента также использовался более чистый порошок вольфрама. **Результаты и обсуждение.** Разработаны и освоены новые способы выполнения технологических операций по изготовлению твердосплавных зубьев (штифтов) и стальных штифтовых долот. При изготовлении вольфрамкобальтовых зубьев использовался твердый сплав ВК10КС, для производства которого применялся порошок карбида вольфрама, синтезированный карбидизацией очищенного порошка вольфрама. Форма поверхности зубьев была изменена с баллистической на полубаллистическую. В качестве связующего использовался металлический порошок кобальта. Штифтовые долота типа КНШ 40×25 изготовлены из стали 35ХГС. Испытания экспериментальных долот проводились на нескольких рудниках, в результате чего была установлена их пригодность для бурения пород с твердостью $f = 14 \dots 18$. Результаты промышленной эксплуатации показали, что стойкость зубьев долот, изготовленных АО «Алмалыкский ГМК», незначительно уступает долотам европейских производителей. При этом стоимость таких долот в разы ниже.

Для цитирования: Повышение стойкости зубьев буровых долот за счет изменения технологии их изготовления / Дж.Б. Тошов, Д.М. Фозилов, К.К. Елемесов, У.Н. Рузиев, Д.Н. Абдуллаев, Д.Д. Басканбаева, Л.Р. Бекирова // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2024. – Т. 26, № 4. – С. 112–124. – DOI: 10.17212/1994-6309-2024-26.4-112-124.

Введение

Горная промышленность Средней Азии активно развивается благодаря наличию богатых природных ресурсов. Государства Средней Азии, включая Узбекистан, Казахстан, Таджикистан, Кыргызстан и Туркменистан, активно развивают горнодобывающую промышленность, стремясь увеличить объемы производства и при-

*Адрес для переписки

Басканбаева Динара Джумабаевна, к.т.н.
 Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева,
 ул. Сатпаева, 22,
 050013, г. Алматы, Республика Казахстан
 Тел.: +7 701 861 5162, e-mail: d.baskanbayeva@satbayev.university

влечь иностранные инвестиции [1]. Одним из ключевых направлений развития горной промышленности является добыча и переработка редкоземельных металлов. Редкоземельные металлы играют важную роль в производстве высокотехнологичной продукции, такой как электроника, аккумуляторы и оборудование для возобновляемой энергетики [2–5]. Повышение объемов добычи полезных ископаемых требует активного совершенствования как оборудования и машин, так и инструмента для добычи.

Вращательно-ударное бурение – это комбинированный вид бурения, сочетающий резание горных пород с приложением ударных нагрузок. При таком бурении на породорезущий инструмент воздействует крутящий момент, статическая сила подачи и удары определенной частоты и силы. В некоторых геологических условиях ударно-вращательное бурение оказывается более производительным, чем вращательное и ударное по отдельности. Это объясняет его широкое применение в различных горных работах [6, 7].

Эффективное разрушение породы при ударно-вращательном бурении твердосплавными долотами осуществляется за счет оптимального подбора состава твердого сплава, размера инструмента, геометрии резцов, их расположения по торцу долота, хорошо организованной системы промывки и правильно рассчитанных параметров режима бурения [8–10].

В штифтовых сверлах в качестве материала для режущих зубьев используются твердые сплавы – как правило, вольфрамокобальтовые сплавы ВК6 и ВК8. Эти твердосплавные материалы зарекомендовали себя как надежные в использовании и относительно недорогие. Долота указанного типа могут работать в породах до девятой категории буримости [11].

Износостойкость долот в эксплуатации зависит от геолого-технических условий бурения: твердости, абразивности, трещиноватости, прерывистости пород; скорости вращения, диаметра коронки и осевой нагрузки; глубины и кривизны скважины; исправности бурового станка [12–15]. Однако решающее значение имеют твердость и прочность при изгибе твердосплавных резцов, а также качество изготовления и сборки штыревого долота.

Существенная доля такого инструмента производится в странах Европы и имеет высокую стоимость. В рамках предприятия АО «Алмалыкский ГМК» (Узбекистан) производятся породоразрушающие долота по существенно меньшей себестоимости. При этом стойкость и долговечность таких долот ниже, чем у европейских аналогов.

Цель данной работы: повышение стойкости зубьев буровых долот за счет совершенствования технологии их изготовления.

Методы и материалы исследований

Работа выполнялась в три этапа. На первом этапе был проведен анализ причин разрушения долот, изготавливаемых АО «Алмалыкский ГМК». На втором этапе на основании полученных результатов была изменена технология изготовления зубьев долот и исследованы полученные по новой технологии образцы. На третьем этапе были проведены сравнительные испытания образцов долот, изготовленных по усовершенствованной технологии, и их европейских аналогов фирмы Atlas Copco (Швеция).

Исследовательская работа выполнялась на базе научно-производственного объединения по производству редких металлов и твердых сплавов АО «Алмалыкский ГМК» (НПО АГМК). Проведены исследования по разработке технологии изготовления сверл типа КНШ 40×25 мм с семью вставными штифтами-зубьями, аналогичных сверлам производства Atlas Copco (Швеция). Прототипы долот были изготовлены с использованием твердосплавных зубьев из вольфрамокобальтовых сплавов. Производство зубьев осуществлялось на НПО АГМК.

Структурные исследования проводились с использованием светового микроскопа Carl Zeiss AxioObserver Z1m и сканирующего электронного микроскопа Carl Zeiss EVO 50 XVP (Йена, Германия). Фазовый состав изучался с использованием рентгеновского дифрактометра ARL X'TRA (Thermo Fisher Scientific, Уолтем, Массачусетс, США) в излучении $\text{CuK}\alpha$. Для металлографического анализа поверхности зубьев долот использовался визуально-оптический метод с использованием микроскопа Carl Zeiss Axio Observer A1m.

Результаты и их обсуждение

Определение причин разрушения зубьев долот, изготовленных по стандартной технологии

Опытно-эксплуатационные испытания первых образцов шарошечных долот КНШ 40×25 мм характеризовались их низкой износостойкостью при проходке по сравнению с импортными образцами производства Atlas Copco (Швеция). На рис. 1, *а* показан образец коронки КНШ 40×25 мм после испытания по пробиванию гранита на глубину сверления 18 см. На рис. 1, *б* приведено увеличенное изображение пористой поверхности зуба с углублениями, образующими так называемую поверхность «кожи рептилии».

На рис. 2 представлено увеличенное изображение участка поверхности на границе участка износа зуба с поверхностью зуба до износа, на котором видно, что вдоль границы происходит разделение целых скоплений зерен твердого сплава ВК в результате износа.

Поверхность типа «кожа рептилии» характеризуется возникновением максимальных растя-



Рис. 1. Семишарошечное долото типа КНШ 40×25 производства НПО после эксплуатационных испытаний при бурении гранитной породы, глубина бурения 18 см (*а*); состояние поверхностей зубьев коронки, характеризующееся пористостью с углублениями, известными как образование поверхности «кожи рептилии» (*б*)

Fig. 1. Seven-cone drill bit type KNSh40×25 manufactured by NPO, after operational tests during drilling of granite rock; drilling depth 18 cm (*a*); the condition of the surfaces of the teeth of the crown, characterized by porosity with depressions known as the formation of the “reptile skin” surface (*b*)



Рис. 2. Сечение границы поверхности участка износа зуба с поверхностью зуба до износа: слева – исходная поверхность; справа – поверхность в результате износа

Fig. 2. Cross-section of the boundary of the surface of the tooth wear area with the tooth surface before wear: left – original surface; right – surface as a result of wear

гивающих напряжений в отдельных точках контакта с шероховатостью породы.

На рис. 3 показан схематический пример, объясняющий механизм образования трещин на поверхности зуба. Согласно источнику, выступающая часть породы вдавливается в поверхность зуба, создавая локальное напряжение на его поверхности. Когда эта процедура повторяется несколько раз, мелкие трещины соединяются, образуя в итоге структуру «кожи рептилии».

Для установления причин низкой износостойкости экспериментальных долот НПО АГМК были проведены исследования, направленные на разработку оптимальных способов изготовления вольфрамкобальтовых зубьев, их прочного закрепления в канавках долот и совершенствование технологии их сборки. Согласно сведениям из литературы [16, 17] отделение материалов с поверхностей твердосплавных зубьев может происходить несколькими способами:

- измельчение зерен твердого сплава ВК и отделение фрагментов;
- отделение цельных зерен или их частей, которые теряют способность удерживаться в структуре;
- измельчение смеси: ВК-сплав / каменное связующее и отделение фрагментов;

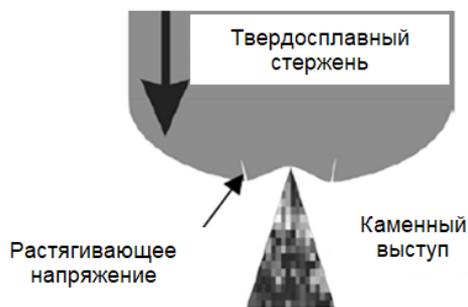


Рис. 3. Механизм формирования «кожи рептилии»

Fig. 3. The mechanism of formation of “reptile skin”

- трибохимический износ, соскабливание корродированных или окисленных поверхностных слоев ВК;

- отделение фрагментов композиционных фрагментов групп зерен ВК вместе со связующим.

Исследование микроструктуры образцов вольфрамкобальтовых зубьев первых опытных партий показало, что одной из причин образования пористой структуры с впадинами, склонной к образованию ям, трещин и сколов при воздействии на зубья шероховатостей горных пород, является большой размер зерен карбида вольфрама. Большой размер зерен вольфрама получается в результате использования обычного металлического вольфрамового порошка, в составе которого имеются нежелательные примеси кальция, кремния, железа и серы.

На рис. 4 представлена микроструктура обычного образца твердого сплава ВК10, элементный состав которого выявил значительное содержание примесей, негативно влияющих на физико-механические свойства сплава (рис. 5).

На рис. 6 представлена микроструктура поверхности спая образца обычного твердого сплава ВК10. Видно, что твердый сплав отличается наличием в нем областей неоднородности в виде скоплений выделившихся крупных сферических образований, а также явно инородных частиц, обнажившихся на поверхности излома образца ВК10 (рис. 7). Это объясняет причину излома.

Области неоднородности и наличие зерен посторонних примесей негативно влияют на прочность при изгибе, твердость, ударную вязкость и другие физико-механические свойства сплава ВК10, которые в конечном итоге должны определять эксплуатационную износостойкость изготовленных твердосплавных зубьев.

Электронное изображение 8

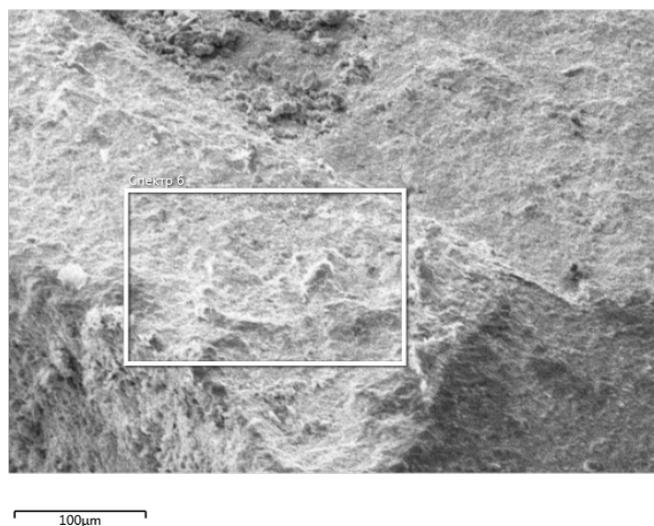


Рис. 4. Морфологические особенности микроструктуры обычного образца твердого сплава ВК10

Fig. 4. Morphological features of the microstructure of a conventional sample of hard alloy ВК10 (90 % W; 10 % Co)

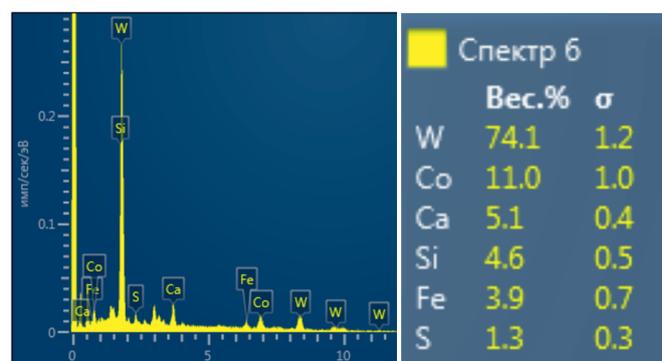


Рис. 5. Результаты элементного анализа участка микроструктуры образца обычного твердого сплава ВК10

Fig. 5. Results of elemental analysis of a section of the microstructure of a sample of conventional hard alloy ВК10 (90 % W; 10 % Co)

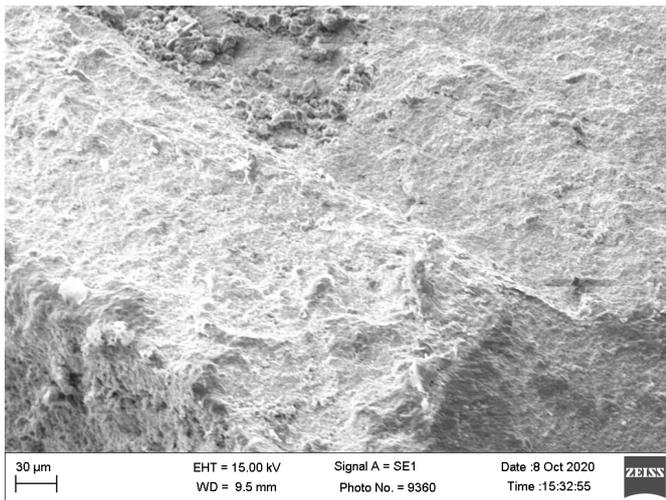


Рис. 6. Поверхность раскалывания образца обычного твердого сплава VK10

Fig. 6. Cleavage surface of a sample of conventional hard alloy VK10 (90 % W; 10 % Co)

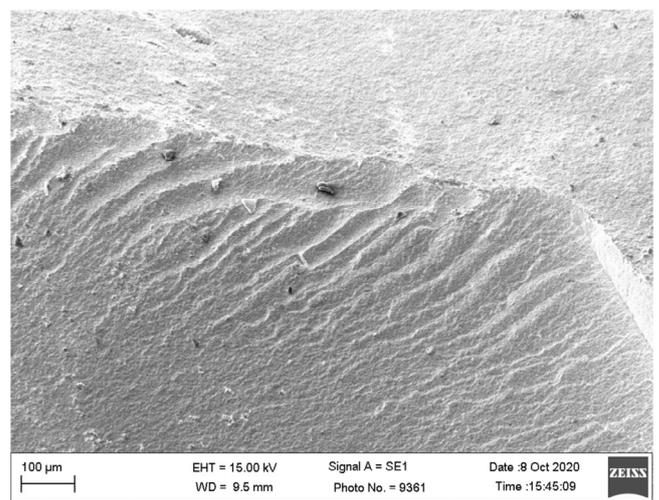


Рис. 7. Поверхность разрушения образца обычного твердого сплава VK10

Fig. 7. Fracture surface of a sample of conventional hard alloy VK10 (90 % W; 10 % Co)

Совершенствование технологии производства зубьев долот

С целью достижения высокой чистоты и однородности сплава VK10 для зубьев буровых долот были разработаны и опробованы технологические параметры получения высокочистого металлического порошка вольфрама. Для этого

была разработана технология получения исходного триоксида вольфрама повышенной чистоты. Описание технологии приведено в более ранних работах авторов [18, 19]. На рис. 8 представлена микрофотография порошка триоксида вольфрама, состоящего из однородных призматических кристаллов. Элементный состав ха-

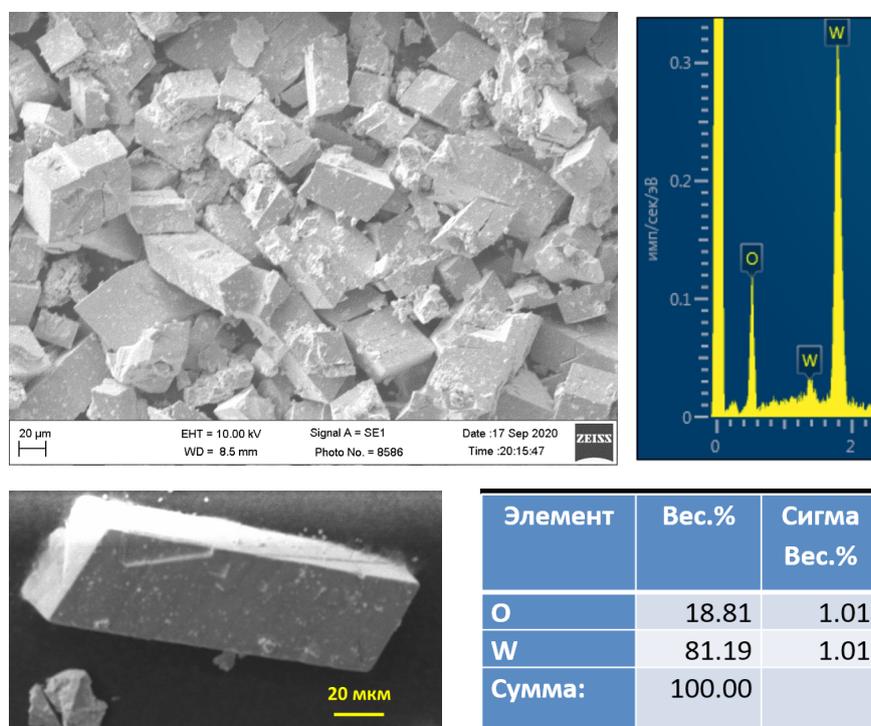


Рис. 8. Порошковые кристаллы триоксида вольфрама; результаты элементного анализа порошка триоксида вольфрама

Fig. 8. Tungsten trioxide powder crystals; results of elemental analysis of tungsten trioxide powder

рактируется наличием вольфрама и кислорода. Соотношение этих элементов соответствует стехиометрии триоксида.

На рис. 9 показана микрофотография кристаллов металлического порошка вольфрама, полученного из чистого триоксида вольфрама, а также представлены результаты элементного анализа кристаллов полученного металлического порошка вольфрама.

На рис. 10 представлены результаты элементного анализа образца синтезированного по-

рошка чистого металлического вольфрама, подтверждающие его высокую степень чистоты.

Порошок чистого металлического вольфрама использовался для получения карбида вольфрама методом карбидизации с использованием графитового порошка по технологии НПО АГМК. Использовался порошок чистого металлического вольфрама с содержанием W более 99,80 %, т. е. соответствующий марке КС. Восстановление проводилось по режиму получения порошка его карбида со средним размером зерна Фишера 12,0...20,0 мкм. Процесс получения твердого сплава заключался в измельчении смеси порошков металлического вольфрама и графита в мельнице со спиртом, выпаривании пульпы, просеивании, смешивании с пластификатором, прессовании зубьев, сушке и водородном спекании.

Для прессования зубьев были изготовлены специальные твердосплавные пуансоны из сплава ВК20, чтобы увеличить давление прессования для достижения их высокой плотности, однородности, прочности и износостойкости.

На этапе прессования зубьев был решен ряд вопросов, направленных на устранение тенденции к образованию трещин прессования, которые возникают из-за повышенной дисперсности пресс-порошка [20]. Характерные трещины образовывались перпендикулярно вектору пресс-

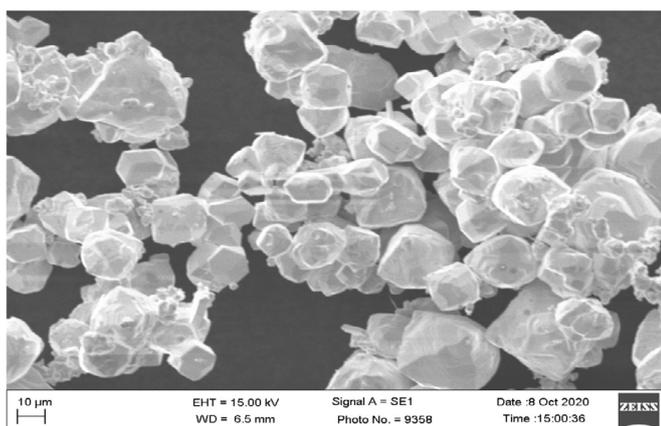


Рис. 9. Микрофотография чистого металлического порошка вольфрама, полученного из чистого триоксида вольфрама

Fig. 9. Micrograph of pure tungsten metal powder obtained from pure tungsten trioxide

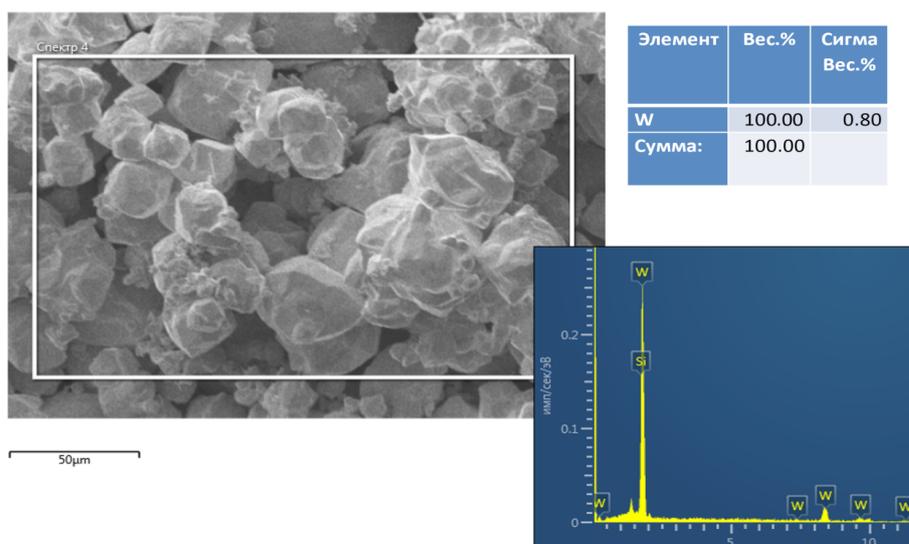


Рис. 10. Результаты элементного анализа синтезированного образца чистого металлического порошка вольфрама

Fig. 10. Results of elemental analysis of the synthesized sample of pure tungsten metal powder

сования за счет расслаивания пресс-порошка вследствие возникновения так называемого эффекта пружины, связанного с возникновением градиента давления. На рис. 11 показаны трещины расслаивания, возникающие при прессовании зубьев из высокодисперсных пресс-порошков.

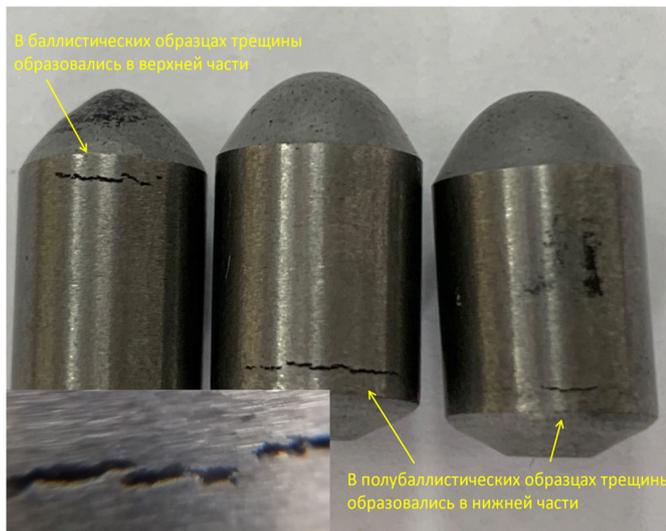


Рис. 11. Области локализации трещин расслаивания в твердом сплаве. Зубья баллистической и полубаллистической формы

Fig. 11. Areas of localization of delamination cracks in hard alloy. Ballistic and semi-ballistic teeth

При нагружении верхней рабочей поверхности баллистического зуба верхним пуансоном на боковой цилиндрической поверхности, расположенной вблизи верхней сферической поверхности, был обнаружен горизонтальный кольцевой слой компакта. Было также обнаружено, что поверхность зубьев, сформированная в контакте с верхним пуансоном, характеризуется образованием пористой структуры с углублениями, т. е. с образованием «кожи рептилии».

Для исключения появления трещин расслаивания в области верхней рабочей части зуба, где требуется наибольшая прочность и износостойкость, а также для исключения образования «кожи рептилии» форма зуба была изменена с баллистической на полубаллистическую [21, 22]. В результате изменения формы, ранее подвергавшейся указанным дефектам прессования, верхняя поверхность зуба вступала в контакт с нижним пуансоном. В этом случае верхний пуансон с измененной формой поверхности формировал нижнюю часть зуба.

На рис. 11 показаны образцы штампованных полуфабрикатов зубьев баллистической и полубаллистической формы. Последующие эксплуатационные испытания подтвердили правильность изменения формы зубьев на полубаллистическую.

На рис. 12 и 13 показано состояние поверхностей торцов зубьев при их изготовлении в баллистической и полубаллистической форме.

Были проведены испытания физико-химических параметров образцов твердосплавных зубьев, спеченных в водородной печи при различных режимах [23, 24]. Результаты испытаний показали соответствие получен-

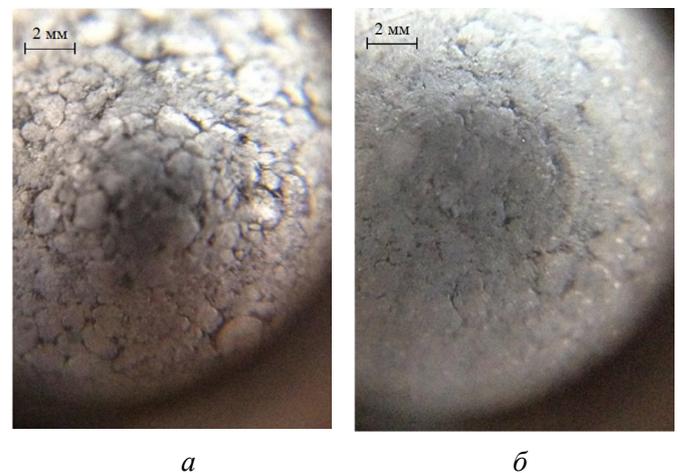


Рис. 12. Рабочие поверхности зубьев баллистической (а) и полубаллистической (б) формы

Fig. 12. Working surfaces of teeth of ballistic (a) and semi-ballistic (b) shapes

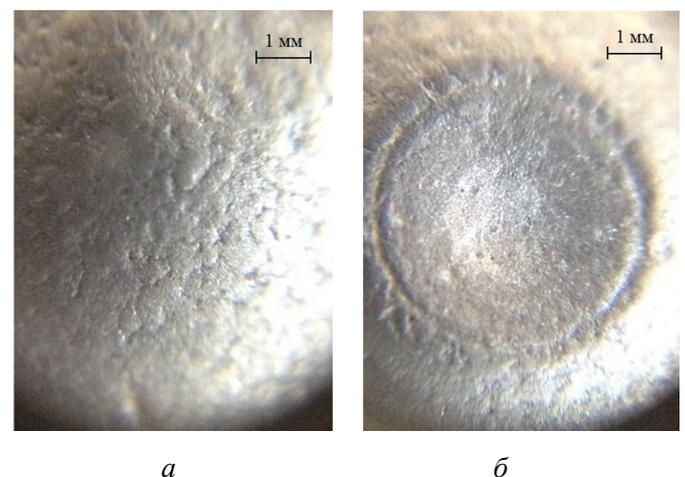


Рис. 13. Образец рабочей (а) и обратной (б) поверхности полубаллистического твердосплавного зуба

Fig. 13. Sample of working (a) and reverse (b) surfaces of a semi-ballistic carbide tooth

ных образцов зубьев нормативным требованиям, предъявляемым к сплаву ВК10КС (см. таблицу).

При сравнении с параметрами долот производства фирмы Atlas Copco (Швеция) твердость и размеры зерен отличаются не более чем на 2,5 %. Твердость зубьев на инструменте от Atlas

Copco составляет HRA 88,3. Это почти совпадает с твердостью зубьев, полученных по разработанной технологии. Практически не отличается и средний размер зерна: для зубьев от Atlas Copco он составляет 4,1 мкм, что тоже близко к размеру зерна зубьев, полученных по разработанной технологии.

Результаты сравнительных испытаний физико-химических свойств твердосплавных зубьев, спеченных по различным режимам

Results of comparative tests of physical and chemical properties of carbide teeth sintered under different conditions

Анализируемые параметры	Свойства зубьев, спеченных по способу 1	Свойства зубьев, спеченных по способу 2	Технические требования к сплаву ВК10
Плотность, г/см ³	14,55	14,51	14,43...14,63
Твердость, HRA	87,8	87,8	87,4...88,2
Коэрцитивная сила, Э	87	80	70...90
Средний размер зерна, мкм	4,3	4,2	Не регулируется
Микроструктура	Равноосная зернистая структура	Равноосная зернистая структура	Однородная, без крупных зерен и скоплений кобальта
C_{total} , %	5,40	5,52	5,46...5,54

Сравнительные испытания долот, изготовленных по различным технологиям

Для изготовления стальных корпусов коронок была разработана 3D-модель штифтовой коронки и программа для ее изготовления на пятикоординатном станке с ЧПУ SNKex1 80. Экспериментальные коронки изготавливались из стали 35ХГС с последующей закалкой и шлифовкой до чистоты Ra 1,6.

Окончательная сборка долот КНШ 40×25 осуществлялась методом холодной прессовки зубьев, заточенных под угол конуса зуба 39°. Для производственных испытаний были изготовлены опытно-промышленные партии долот КНШ 40×25, которые прошли эксплуатационные испытания на нескольких шахтах.

Несколько партий экспериментальных долот КНШ 40×25 были испытаны на Кызыл-Ольминских рудниках Ангреновского рудоуправления при бурении породы с твердостью $f' = 14...15$ с результатом бурения 48,2 метра, а также для породы с $f' = 12...16$ с результатом 46,3 метра, при износе 10–15 %.

Долота также были испытаны при бурении пород с $f' = 14...17$ в условиях рудника «Каулды» со средним результатом по четырем проходкам

49,5 метра. Были также проведены испытания 15 долот КНШ 40×25 на руднике «Чадак» в штольнях с прочностью пород $f' = 16...18$, результаты бурения составили от 47 до 58 метров.

Получены акты производственных испытаний на пригодность буровых долот КНШ 40×25, изготовленных на НПП, для работы на рудниках «Ангренс», «Каулди» и «Чадак».

Выполненные работы по промышленной эксплуатации экспериментальных долот показали, что их стойкость уступает долотам, изготовленным Atlas Copco (Швеция), не более чем на 14–17 %.

При освоении производства твердосплавных штифтовых долот КНШ 40×25 на АО «Научно-производственное объединение “Алмалыкский ГМК”» ожидается получение значительного годового экономического эффекта за счет их более низкой стоимости в сравнении с долотами производства фирмы Atlas Copco (Швеция).

Заключение

По результатам проведенных исследований были выявлены основные причины быстрого выхода из строя зубьев долот, производимых

НПО АГМК. Исследования показали, что основная причина их разрушения – это плохая структура (крупное зерно и наличие микродефектов). Существенно снижает стойкость также и неудачная форма поверхности зубьев.

Проведенные работы по оптимизации технологии изготовления зубьев долот позволили существенно повысить их стойкость. Для изготовления использовался более чистый порошок вольфрама более низкой дисперсности, была оптимизирована форма поверхности зуба на полубаллистическую. Внесены изменения в режим спекания и последующей выдержки зубьев. В итоге была разработана усовершенствованная технология производства зубьев из твердого сплава ВК10КС. Зубья, изготовленные по разработанной технологии, показали сопоставимую стойкость с зубьями, изготовленными европейским производителем (Atlas Copco, Швеция). При этом стоимость долот с зубьями, изготовленными по технологии НПО АГМК, существенно ниже.

Список литературы

1. Жуков И.А., Голиков Н.С., Мартюшев Н.В. Рационализация конструкции секции скребкового конвейера средствами автоматизированного метода анализа прочностных характеристик // Устойчивое развитие горных территорий. – 2022. – Т. 14, № 1. – С. 142–150. – DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-1-142-150.
2. Логический подход к построению модели машинного обучения для оценки устойчивого развития горных территорий / С.В. Галачиева, С.А. Махосева, Л.А. Лютикова, А.М. Тлехугов // Устойчивое развитие горных территорий. – 2023. – Т. 15, № 4. – С. 921–928. – DOI: 10.21177/1998-4502-2023-15-4-921-928.
3. Клюев Р.В. Системный анализ методов расчета систем электроснабжения карьеров // Устойчивое развитие горных территорий. – 2024. – Т. 16, № 1. – С. 302–310. – DOI: 10.21177/1998-4502-2024-16-1-302-310.
4. Simulation analysis of rock braking mechanism of tunnel boring machine / L. Zhu, T. Wei, B. Liu, T. Yu // Technical Gazette. – 2016. – Vol. 23 (6). – P. 1585–1590. – DOI: 10.17559/TV-20141107084349.
5. The resource efficiency assessment technique for the foundry production / I.G. Vidayev, N.V. Martyushev, A.S. Ivashutenko, A.M. Bogdan // Advanced Materials Research. – 2014. – Vol. 880. – P. 141–145. – DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.880.141.
6. Research on slim-hole drilling technology for shale gas geological survey in China / H. Zhao, H. Wu, L. Shen, Zh. Zhu, Y. Shan // Petroleum Research. – 2024. – Vol. 9 (3). – P. 451–461. – DOI: 10.1016/j.ptlrs.2024.03.006.
7. Influence of W addition on microstructure and mechanical properties of Al-12%Si alloys / A. Zykova, N. Martyushev, V. Skeebea, D. Zadkov, A. Kuzkin // Materials. – 2019. – Vol. 12 (6). – P. 981. – DOI: 10.3390/ma12060981.
8. Hard rock cutting with high pressure jets in various ambient pressure regimes / T. Stoxreiter, A. Martin, D. Teza, R. Galler // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. – 2018. – Vol. 108. – P. 179–188. – DOI: 10.1016/j.ijrmms.2018.06.007.
9. Ardashkin I.B., Yakovlev A.N. Evaluation of the resource efficiency of foundry technologies: methodological aspect // Advanced Materials Research. – 2014. – Vol. 1040. – P. 912–916. – DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1040.912.
10. Balci C., Bilgin N. Correlative study of linear small and full-scale rock cutting tests to select mechanized excavation machines // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. – 2007. – Vol. 44 (3). – P. 468–476. – DOI: 10.1016/j.ijrmms.2006.09.001.
11. Zverev E.A., Skeebea V.Yu. Integrated quality ensuring technique of plasma wear resistant coatings // Key Engineering Materials. – 2017. – Vol. 736. – P. 132–137. – DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.736.132.
12. Niu Z., Jiao F., Cheng K. An innovative investigation on chip formation mechanisms in micro-milling using natural diamond and tungsten carbide tools // Journal of Manufacturing Processes. – 2018. – Vol. 31 (1). – P. 382–394. – DOI: 10.1016/j.jmapro.2017.11.023.
13. Numerical simulation of temperature field in steel under action of electron beam heating source / V.Yu. Skeebea, V.V. Ivancivsky, N.V. Martyushev, N.V. Vakhrushev, A.K. Zhigulev // Key Engineering Materials. – 2016. – Vol. 712. – P. 105–111. – DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.712.105.
14. Self-rotatory performance of conical cutter interacted with rock material / X. Liu, P. Tang, X. Li, M. Tian // Engineering Failure Analysis. – 2017. – Vol. 80. – P. 197–209. – DOI: 10.1016/j.engfailanal.2017.06.030.
15. Efficiency of well drilling with air blowing based on the use of a vortex tube / J.B. Toshov, K.T. Sherov, B.N. Absadykov, R.U. Djuraev, M.R. Sikhimbayev // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences. – 2023. – Vol. 4 (460). – P. 225–235. – DOI: 10.32014/2023.2518-170X.331.
16. Теплякова А.В., Жуков И.А., Мартюшев Н.В. Применение бурильных машин с ударным кулачковым механизмом в различных горно-геологических условиях // Устойчивое развитие горных

территорий. – 2022. – Т. 14, № 3. – С. 501–511. – DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-3-501-511.

17. Куликова Е.Ю., Баловцев С.В., Скопинцева О.В. Комплексная оценка геотехнических рисков в шахтном и подземном строительстве // Устойчивое развитие горных территорий. – 2023. – Т. 15, № 1. – С. 7–16. DOI: 10.21177/1998-4502-2023-15-1-7-16.

18. Toshov J.B. The questions of the dynamics of drilling bit on the surface of well bottom // Archives of Mining Sciences. – 2016. – Vol. 61 (2). – P. 275–283. – DOI: 10.1515/amsc-2016-0020.

19. Analysis of interaction of rock breaking tool with rock in the drilling process / J.B. Toshov, K.T. Sherov, M.R. Sikhimbayev, B.N. Absadykov, A. Esirkepov // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences. – 2024. – Vol. 1 (463). – P. 271–281. – DOI: 10.32014/2024.2518-170X.380.

20. Башлык С.М., Загибайло Г.Т. Бурение скважин. – М.: Недра, 1983. – 447 с.

21. Kinematic features of a new drill bit of the tornado-like bottom-hole model / J. Tian, X. Pang, Z. Liang, L. Yang, L. Zhang, Q. Wei, Y. Li, Y. Zhu // Acta Petrolei Sinica. – 2013. – Vol. 34 (6). – P. 1163–1167.

22. Мендебаев Т.Н., Смашов Н.Ж. Многокамерная забойная гидромашина роторного типа для бурения скважин // Устойчивое развитие горных территорий. – 2022. – Т. 14, № 2. – С. 303–309. – DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-2-303-309.

23. Породорезущий инструмент для геологоразведочных скважин: справочник / Н.И. Корнилов, Л.К. Берестень, Д.И. Коган, В.С. Травкин. – М.: Недра, 1979. – 359 с.

24. Справочник инженера по бурению разведочных скважин. Т. 1 / под общ. ред. Е.А. Козловского. – М.: Недра, 1984. – 512 с.

Конфликт интересов

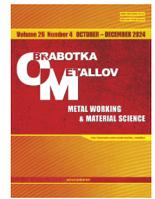
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2024 Авторы. Издательство Новосибирского государственного технического университета. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



Obrabotka metallov - Metal Working and Material Science

Journal homepage: http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov



Increasing the durability of drill bit teeth by changing its manufacturing technology

Javokhir Toshov^{1, a}, Doniyor Fozilov^{2, b}, Kassym Yelemessov^{3, c}, Ulugbek Ruziev^{2, d},
Dovudjon Abdullayev^{2, e}, Dinara Baskanbayeva^{3, f, *}, Lala Bekirova^{4, g}

¹ Tashkent State Technical University, 2, University st., Tashkent, 100095, Republic of Uzbekistan

² JSC “Scientific and Production Association” Almalyk MMC”, 1 V. Gaidarova st., Chirchik, 111700, Republic of Uzbekistan

³ K.I. Satbayev Kazakh National Research Technical University, 2 Satbaev st., Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan

⁴ Azerbaijan State Oil and Industry University, 34 Azadliq Ave., Baku, AZ1010, Azerbaijan

^a <https://orcid.org/0000-0003-4278-1557>, j.toshov@tdtu.uz; ^b <https://orcid.org/0009-0005-6362-8326>, fozilovdoniyor81@gmail.com;

^c <https://orcid.org/0000-0001-6168-2787>, k.yelemessov@satbayev.university; ^d <https://orcid.org/0009-0008-2371-3085>, u.ruziev@agmk.uz;

^e <https://orcid.org/0009-0005-6362-8326>, dn.abdullaev@agmk.uz; ^f <https://orcid.org/0000-0003-1688-0666>, d.baskanbayeva@satbayev.university;

^g <https://orcid.org/0000-0003-0584-7916>, lala.bakirova@asoju.edu.az

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 22 August 2024

Revised: 10 September 2024

Accepted: 17 September 2024

Available online: 15 December 2024

Keywords:

Drill bits

Tungsten-cobalt alloys

Manufacturing

Pin bit

Hard rocks

Performance testing

Funding

This research was funded by Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan, grant number IRN BR18574141.

ABSTRACT

Introduction. The development of the mining industry requires increasing the durability and safe tool performance life. For bits of mining drilling machines, this problem is often solved by improving the material of the teeth of these bits. The paper presents the results of a study on the development of a technology for the manufacture of hard-alloy drill bits with increased wear resistance and testing of prototypes when drilling hard rocks. Changes in technology have led to changes in the shape of the tooth. Also, purer tungsten powder was used as the initial component. **Research methods.** The paper studies carbide teeth of bits manufactured at JSC Almalyk Mining and Metallurgical Combine using standard and modified technology. Its structure and chemical composition were studied. **Results and discussion.** New methods for performing technological operations for the manufacture of carbide teeth (pins) and steel pin bits are developed and mastered. Tungsten-cobalt teeth were manufactured using VK10KS (90 %W; 10 % Co) hard alloy, produced using tungsten carbide powder synthesized by carburization of purified tungsten powder. The shape of the tooth surface was changed from ballistic to semi-ballistic. Metallic cobalt powder was used as a binder. Pin bits of the KNSh40×25 type are made of 0.35 C-Cr-Mn-Si steel. Tests of experimental bits were carried out at several mines, as a result of which its suitability for drilling rocks with a hardness of $f = 14-18$ was established. The results of industrial operation showed that the durability of the teeth of bits manufactured by JSC Almalyk Mining and Metallurgical Combine is not significantly inferior to bits from European manufacturers. At the same time, the cost of such bits is several times lower.

For citation: Toshov J.B., Fozilov D.M., Yelemessov K.K., Ruziev U.N., Abdullayev D.N., Baskanbayeva D.D., Bekirova L.R. Increasing the durability of drill bit teeth by changing its manufacturing technology. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) = Metal Working and Material Science*, 2024, vol. 26, no. 4, pp. 112–124. DOI: 10.17212/1994-6309-2024-26.4-112-124. (In Russian).

References

1. Zhukov I.A., Golikov N.S., Martyushev N.V. Design rationalization of the scraper conveyor section by means of an automated method of strength characteristics analysis. *Ustoichivoe razvitie gornyykh territorii = Sustainable Development of Mountain Territories*, 2022, vol. 14 (1), pp. 142–150. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-1-142-150. (In Russian).

* Corresponding author

Baskanbayeva Dinara D., Ph.D. (Engineering), Deputy Director

K.I. Satbayev Kazakh National Research Technical University,

2 Satbaev st.,

050013, Almaty, Republic of Kazakhstan

Tel.: +7 701 861 5162, e-mail: d.baskanbayeva@satbayev.university

2. Galachieva S.V., Makhosheva S.A., Lyutikova L.A., Tlekhugov A.M. A logical approach to building a machine learning model for assessing the sustainable development of mountain areas. *Ustoichivoe razvitie gornyykh territorii = Sustainable Development of Mountain Territories*, 2023, vol. 15 (4), pp. 921–928. DOI: 10.21177/1998-4502-2023-15-4-921-928. (In Russian).
3. Klyuev R.V. System analysis of calculation methods for power supply systems in quarry points. *Ustoichivoe razvitie gornyykh territorii = Sustainable Development of Mountain Territories*, 2024, vol. 16 (1), pp. 302–310. DOI: 10.21177/1998-4502-2024-16-1-302-310. (In Russian).
4. Zhu L., Wei T., Liu B., Yu T. Simulation analysis of rock braking mechanism of tunnel boring machine. *Technical Gazette*, 2016, vol. 23 (6), pp. 1585–1590. DOI: 10.17559/TV-20141107084349.
5. Vidayev I.G., Martyushev N.V., Ivashutenko A.S., Bogdan A.M. The resource efficiency assessment technique for the foundry production. *Advanced Materials Research*, 2014, vol. 880, pp. 141–145. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.880.141.
6. Zhao H., Wu H., Shen L., Zhu Zh., Shan Y. Research on slim-hole drilling technology for shale gas geological survey in China. *Petroleum Research*, 2024, vol. 9 (3), pp. 451–461. DOI: 10.1016/j.ptlrs.2024.03.006.
7. Zykova A., Martyushev N., Skeebe V., Zadkov D., Kuzkin A. Influence of W addition on microstructure and mechanical properties of Al-12%Si alloys. *Materials*, 2019, vol. 12 (6), p. 981. DOI: 10.3390/ma12060981.
8. Stoxreiter T., Martin A., Teza D., Galler R. Hard rock cutting with high pressure jets in various ambient pressure regimes. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 2018, vol. 108, pp. 179–188. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2018.06.007.
9. Ardashkin I.B., Yakovlev A.N. Evaluation of the resource efficiency of foundry technologies: methodological aspect. *Advanced Materials Research*, 2014, vol. 1040, pp. 912–916. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1040.912.
10. Balci C., Bilgin N. Correlative study of linear small and full-scale rock cutting tests to select mechanized excavation machines. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 2007, vol. 44 (3), pp. 468–476. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2006.09.001.
11. Zverev E.A., Skeebe V.Yu. Integrated quality ensuring technique of plasma wear resistant coatings. *Key Engineering Materials*, 2017, vol. 736, pp. 132–137. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.736.132.
12. Niu Z., Jiao F., Cheng K., An innovative investigation on chip formation mechanisms in micro-milling using natural diamond and tungsten carbide tools. *Journal of Manufacturing Processes*, 2018, vol. 31 (1), pp. 382–394. DOI: 10.1016/j.jmapro.2017.11.023.
13. Skeebe V.Yu., Ivancivsky V.V., Martyushev N.V., Vakhrushev N.V., Zhigulev A.K. Numerical simulation of temperature field in steel under action of electron beam heating Source. *Key Engineering Materials*, 2016, vol. 712, pp. 105–111. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.712.105.
14. Liu X., Tang P., Li X., Tian M. Self-rotatory performance of conical cutter interacted with rock material. *Engineering Failure Analysis*, 2017, vol. 80, pp. 197–209. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2017.06.030.
15. Toshov Zh.B., Sherov K.T., Absadykov B.N., Juraev R.U., Sikhimbaev M.R. Efficiency of well drilling with air blowing based on the use of a vortex tube. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences*, 2023, vol. 4 (460), pp. 225–235. DOI: 10.32014/2023.2518-170X.331.
16. Teplyakova A.V., Zhukov I.A., Martyushev N.V. Application of drilling machines with impact cam mechanism in various mining and geological conditions. *Ustoichivoe razvitie gornyykh territorii = Sustainable Development of Mountain Territories*, 2022, vol. 14 (3), pp. 501–511. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-3-501-511. (In Russian).
17. Kulikova E.Yu., Balovtsev S.V., Skopintseva O.V. Complex estimation of geotechnical risks in mine and underground construction. *Ustoichivoe razvitie gornyykh territorii = Sustainable Development of Mountain Territories*, 2023, vol. 15 (1), pp. 7–16. DOI: 10.21177/1998-4502-2023-15-1-7-16. (In Russian).
18. Toshov J.B. The questions of the dynamics of drilling bit on the surface of well bottom. *Archives of Mining Sciences*, 2016, vol. 61 (2), pp. 275–283. DOI: 10.1515/amsc-2016-0020.
19. Toshov J.B., Sherov K.T., Sikhimbaev M.R., Absadykov B.N., Esirkepov A. Analysis of interaction of rock breaking tool with rock in the drilling process. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences*, 2024, vol. 1 (463), pp. 271–281. DOI: 10.32014/2024.2518-170X.380.
20. Bashlyk S.M., Zagibailo G.T. *Burenie skvazhin [Drilling wells.]* Moscow, Nedra Publ., 1983. 447 p.
21. Tian J., Pang X., Liang Z., Yang L., Zhang L., Wei Q., Li Y., Zhu Y. Kinematic features of a new drill bit of the tornado-like bottom-hole model. *Acta Petrolei Sinica*, 2013, vol. 34 (6), pp. 1163–1167.

22. Mendebayev T.N., Smashov N.Zh. Multi-chamber downhole hydraulic machine of rotary type for wells. *Ustoichivoe razvitie gornyykh territorii = Sustainable Development of Mountain Territories*, 2022, vol. 14 (2), pp. 303–309. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-2-303-309.

23. Kornilov N.I., Beresten' L.K., Kogan D.I., Travkin V.S. *Porodorezhushchii instrument dlya geologorazvedochnykh skvazhin* [Rock-cutting tool for exploration wells]. Handbook. Moscow, Nedra Publ., 1979. 359 p.

24. Kozlovskii E.A., ed. *Spravochnik inzhenera po bureniyu razvedochnykh skvazhin*. T. 1. [Handbook of an engineer on drilling exploratory wells. Vol. 1]. Moscow, Nedra Publ., 1984. 512 p.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2024 The Authors. Published by Novosibirsk State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).