

Національна Академія наук України
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України

На правах рукопису

Супрун Михайло Вікторович

УДК 622.24.051

ПІДВИЩЕННЯ РОБОТОЗДАТНОСТІ АЛМАЗНИХ
БУРОВИХ КОРОНОК В ТВЕРДИХ ПОРОДАХ

05.15.10 – Буріння свердловин

Дисертація
на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Науковий керівник:
Закора Анатолій Петрович
кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник

Київ – 2016

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1	
СУЧАСНИЙ СТАН ТЕОРІЇ І ПРАКТИКИ БУРІННЯ ГЕОЛОГОРОЗВІДУ- ВАЛЬНИХ СВЕРДЛОВИН АЛМАЗНИМИ КОРОНКАМИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕНЬ	10
1.1 Механізм взаємодії алмазного породоруйнівного інструменту з вибоєм свердловини	11
1.2 Надтверді матеріали, що використовуються в комбінованих матрицях алмазних коронок при бурінні геологорозвідувальних свердловин у твердих породах	18
1.3 Аналіз наявних моделей розподілу контактного тиску на робочій поверхні бурового інструменту	30
1.4 Висновки до розділу та формулювання завдань досліджень	36
РОЗДІЛ 2	
МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ ВЗАЄМОДІЇ ПОРОДОРУЙНІВНОГО ІНСТРУМЕНТУ З ГІРСЬКОЮ ПОРОДОЮ ПІД ЧАС БУРІННЯ	38
2.1 Методика випробувань породоруйнівних елементів бурової коронки при руйнуванні твердої гірської породи	38
2.2 Методика проведення експериментальних досліджень роботоздатності бурових коронок з комбінованою матрицею при обертовому бурінні	43
2.3 Удосконалена методика вивчення мікропрофілю поверхні вибою, сформованого при обертовому алмазному бурінні	48
2.4. Висновки до розділу	53
РОЗДІЛ 3	
АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ АЛМАЗНОЇ КОРОНКИ З КОМБІНОВАНОЮ МАТРИЦЕЮ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ БУРІННЯ.....	54

3.1. Оцінювання розподілу контактного тиску на робочій поверхні бурової коронки з комбінованою матрицею у процесі обертового буріння.....	54
3.2 Моделювання еволюції робочого профілю алмазної коронки з комбінованою матрицею при обертовому бурінні.....	62
3.3 Визначення оптимальної кількості породоруйнівних вставок для оснащення робочого профілю бурової коронки з комбінованою матрицею.....	78
3.4 Висновки до розділу	79

РОЗДІЛ 4

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТОЗДАТНОСТІ АЛМАЗНИХ КОРОНОК З КОМБІНОВАНОЮ МАТРИЦЕЮ ПРИ ОБЕРТОВОМУ БУРІННІ	81
4.1 Дослідження роботоздатності породоруйнівних вставок у процесі руйнування твердої гірської породи	81
4.2 Оцінка характеру руйнування твердих гірських порід алмазними коронками з комбінованою матрицею при обертовому бурінні.....	92
4.3 Дослідження впливу схеми оснащення робочого торця алмазних коронок з комбінованою матрицею на показники процесу буріння твердих гірських порід.....	95
4.4 Розробка конструкції та виробничі випробування алмазних коронок з комбінованою матрицею при бурінні геологорозвідувальних свердловин.....	105
4.5 Висновки до розділу	110
ВИСНОВКИ.....	114
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	116
ДОДАТКИ.....	129

ВСТУП

Актуальність роботи. Розвиток власної мінерально-сировинної бази держави є однією з найважливіших науково-технічних проблем. Для успішного вирішення цієї проблеми Державним комітетом природних ресурсів України розроблена та впроваджується «Загальнодержавна програма розвитку мінерально-сировинної бази України», згідно з якою роботам з геологорозвідувального буріння на тверді корисні копалини надається першочергове значення.

Буріння геологорозвідувальних свердловин при розвідці родовищ корисних копалин, як область застосування алмазного породоруйнівного інструмента підвищеної роботоздатності, є однією з найбільш потрібних, але й найбільш складних щодо умов його роботи. При цьому частка витрат на інструмент у загальній вартості геологорозвідувальних робіт з буріння свердловин є тим вищою, чим більш важкоруйнівними та абразивними є гірські породи. Тому при розробці нових конструкцій бурового інструмента задля підвищення його роботоздатності необхідно враховувати фізико-механічні властивості гірських порід, що підлягають бурінню, та їх взаємодію з породоруйнівними елементами інструмента.

Великий обсяг бурових робіт при розвідці корисних копалин здійснюється у твердих породах. Тому розробка інструментів для цього класу порід є найбільш перспективним і економічно виправданим напрямком. Саме з такої точки зору в цьому дослідженні представлені найбільш сучасні та оригінальні шляхи підвищення техніко-економічних показників буріння свердловин інструментом, оснащеним полікристалічними надтвердими матеріалами.

Слід зазначити важливу обставину, що існуючий серійний алмазний буровий інструмент, який використовується під час буріння геологорозвідувальних свердловин у твердих породах не відповідає сучасним вимогам до показників механічної швидкості буріння та проходки.

Рішенням даної задачі може бути розробка нового інструмента з комбінованим (стирання та сколювання) характером руйнування порід на базі використання більш твердих і зносостійких вставок з алмазного композиційного матеріалу.

При цьому процес створення нових алмазних бурових коронок, оснащених різними видами надтвердих матеріалів, фізично не можливий без вивчення механізму руйнування гірської породи алмазною буровою короною, а особливо питанням розподілу осьового навантаження між цими матеріалами, розташованими на поверхні алмазовмісної матриці коронки.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана в Інституті надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України в межах таких тем: 0954 «Розробка методу прогнозування зносостійкості і ріжучих властивостей породоруйнівних вставок доліт на основі математичного моделювання контактної взаємодії інструменту з породою», № держреєстрації 0102U006094; 0966 «Розробка наукових та технологічних основ створення двошарових алмазовмісних елементів та крупних термостійких монокристалів алмазу для породоруйнівного та металообробного інструменту різцевого типу», № держреєстрації 0111U000630; 0130 «Дослідження та оптимізація технологічних параметрів формування ультратвердих матеріалів з гібридною алмазною основою та зносостійкого композитного наповнювача матриць робочих елементів геологорозвідувального інструменту», № держреєстрації 0110U001985; 0132 «Формування алмазовмісних матеріалів в системах алмаз-подвійні карбіди і створення нових гібридних алмазно-твердосплавних пластин підвищеної зносостійкості для використання в буровому інструменті», № держреєстрації 0112U008485.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення роботоздатності алмазних коронок при бурінні геологорозвідувальних свердловин, шляхом забезпечення комбінованого (стирання і сколювання) характеру руйнування твердих гірських порід, за рахунок оснащення алмазозносної матриці інструмента вставками з надтвердого матеріалу гібридайт.

Для досягнення поставленої мети в роботі були поставлені та вирішувались такі задачі:

1. Розробка нових та удосконалення наявних методик проведення досліджень процесу взаємодії породоруйнівного інструмента з гірською породою при обертovому бурінні.

2. Розробка математичної моделі взаємодії поверхні комбінованої матриці алмазної коронки з гірською породою в процесі буріння геологорозвідувальних свердловин.

3. Дослідження роботоздатності породоруйнівних вставок із надтвердих матеріалів, та їх вплив на характер руйнування твердих гірських порід при обертовому бурінні.

4. Дослідження впливу схеми оснащення робочого торця алмазних коронок з комбінованою матрицею вставками з гібридаїту на показники процесу буріння геологорозвідувальних свердловин.

5. Розробка та виробничі випробування нової конструкції алмазної коронки з комбінованою матрицею при бурінні геологорозвідувальних свердловин у твердих гірських породах.

Об'єкт дослідження. Процес руйнування твердих гірських порід алмазними коронками з комбінованою матрицею, шляхом їх стирання і сколювання при обертовому бурінні геологорозвідувальних свердловин.

Предмет дослідження. Вплив конструктивних параметрів алмазної коронки з комбінованою матрицею на ефективність руйнування твердої гірської породи під час обертового буріння геологорозвідувальних свердловин.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених задач проводились теоретичні й експериментальні дослідження, аналіз фактичного матеріалу, отриманого в результаті експериментальних випробувань, методи дослідження якого базуються на положеннях фізико-математичного моделювання та теорії статистичних вимірювань. Для моделювання розподілу тиску на поверхні робочого профілю бурової коронки використовувався метод скінчених елементів. Дослідження на роботоздатність породоруйнівних елементів проводились за розробленою автором методикою випробувань породоруйнівних елементів бурової коронки при руйнуванні твердої гірської породи. Оцінку параметрів шорсткості поверхні вибою проводили методом профілометрії.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Вперше встановлено, що використання гібридних надтвердих матеріалів для оснащення комбінованої матриці алмазної коронки дозволяє отримати характер руйнування гірської породи при обертовому бурінні, притаманний стиранню та сколюванню водночас.

2. Вперше розроблена і апробована математична модель еволюції робочого профілю алмазної бурової коронки з комбінованою матрицею, яка дозволяє визначити умови, за яких досягається рівномірний знос та загальне підвищення роботоздатності породоруйнівного інструмента при бурінні геологорозвідувальних свердловин у твердих гірських породах.

3. Вперше встановлено, що використання надтвердого матеріалу гібридайт при бурінні твердих порід призводить до ефекту «самозаточування» породоруйнівних вставок, що забезпечує підвищення ефективності руйнування твердих гірських порід буровими коронками з комбінованою матрицею.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблена методика випробувань породоруйнівних елементів бурової коронки при руйнуванні твердої гірської породи, яка дозволяє на стадії проектування породоруйнівного інструмента якісно визначитись з наповнювачем алмазовмісного шару комбінованої матриці бурової коронки.

Удосконалена методика вивчення шорсткості поверхні вибою, сформованого при алмазному обертовому бурінні, за допомогою аналого-цифрового перетворювача та спеціально розробленої програми розрахунку параметрів мікропрофілю поверхні – «WinSURF». За цією програмою можна вимірювати мікрогеометрію поверхні вибою дослідного зразка твердої гірської породи, розраховувати параметри її шорсткості, а отримані результати графічно (в режимі реального часу) відображати на екрані монітора комп'ютера і виводити на принтер у вигляді протоколу.

Експериментальним шляхом встановлено, що термообробка впливає на породоруйнівні вставки з матеріалу гібридайт позитивно – їх роботоздатність збільшується від 2,5 до 5,5 разів.

З використанням математичної моделі еволюції робочого профілю алмазної бурової коронки з комбінованою матрицею, була розроблена нова конструкція бурової коронки типу БТ-22 діаметром 76 мм, яка, завдяки використанню породоруйнівних вставок з матеріалу гібридайт в алмазовмісній матриці дозволяє підвищити середню проходку в 1,52 рази, а механічну швидкість буріння в 1,4 рази, в порівнянні із сучасними серійними коронками.

Достовірність результатів роботи. Сформульовані автором дисертації висновки та положення, що захищаються, підтверджуються фундаментальними теоретичними законами та експериментами, виконаними згідно із сучасними методиками, а також актом виробничих випробувань бурових коронок з алмазовмісною комбінованою матрицею типу БТ-22 діаметром 76 мм, об'ємний шар яких додатково оснащений породоруйнівними вставками з гібридайту.

Особистий внесок здобувача полягає в розробці методики та устаткування для випробування породоруйнівних елементів бурової коронки при руйнуванні твердої гірської породи та вдосконаленні лабораторної установки для вивчення шорсткості поверхонь вибою, сформованого при алмазному обертовому бурінні.

У співпраці з іншими науковцями вперше розроблено математичну модель розрахунку контактної тиску на поверхні бурової коронки, яка базується на числовому аналізі модельної контактної крайової задачі механіки деформованого твердого тіла, і змодельовано еволюцію робочого профілю комбінованої матриці бурової коронки при бурінні геологорозвідувальних свердловин у твердих гірських породах.

Уперше отримані вирази для визначення оптимальної кількості породоруйнівних вставок, необхідних для забезпечення підвищеної роботоздатності алмазної коронки з комбінованою матрицею при обертовому бурінні в конкретних умовах експлуатації.

Отримано експериментальні результати про доцільність використання нового алмазного полікристалічного матеріалу гібридайт як додаткового індентора в оснащені матриці бурової коронки, а також вплив схеми оснащення робочого то-

рця алмазних коронок з комбінованою матрицею вставками з гібридаїту на ефективність буріння геологорозвідувальних свердловин у твердих гірських породах.

Розроблена нова конструкція алмазовмісної бурової коронки типу БТ-22 з розрахованою оптимальною схемою породоруйнівних вставок з гібридаїту, яка показала високі експлуатаційні характеристики в процесі буріння геологорозвідувальних свердловин у твердих гірських породах X–XI категорії за буримістю.

Апробація результатів роботи. Основні результати і положення дисертаційної роботи доповідались на школі-семінарі молодих вчених та спеціалістів «Надтверді композиційні матеріали і покриття: отримання, властивості, використання» (с. Морське, 2010 р.); на V–VII конференціях молодих вчених та спеціалістів «Надтверді композиційні матеріали і покриття: отримання, властивості, використання» (с. Морське, 2011 р., 2013 р.; м. Київ 2012 р.); на XVI–XVIII міжнародних конференціях «Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология изготовления» (с. Морське, 2013 р.; м. Трускавець 2014р., 2015 р.).

У повному обсязі робота доповідалась на наукових семінарах кафедри буріння нафтових і газових свердловин ІФНТУНГ (м. Івано-Франківськ, 2015 р., 2016 р.) та на секції Вченої Ради «Надтверді матеріали та композити в породоруйнівному інструменті і парах тертя» ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України (м. Київ, 2016 р.)

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 12 наукових праць, серед яких 11 статей у фахових виданнях (у т. ч. 2 статті в журналах з індексом Scopus) і 1 патент України на винахід.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН ТЕОРІЇ І ПРАКТИКИ БУРІННЯ ГЕОЛОГОРОЗВІДУВАЛЬНИХ СВЕРДЛОВИН АЛМАЗНИМИ КОРОНКАМИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕНЬ

На сьогодні основним способом розвідки нових родовищ корисних копалин є буріння свердловин у гірських породах алмазним інструментом.

У світовій практиці геологорозвідувального буріння із застосуванням алмазного інструменту за останні роки відбулися істотні зміни в питаннях оснащення його алмазною сировиною. Так, більшість провідних фірм США, Англії, Швеції, Бельгії та інших країн перейшли на оснащення бурового інструменту синтетичними алмазами замість природних. За кордоном близько 80% алмазного породоруйнівного інструменту, який застосовується для буріння геологорозвідувальних свердловин у твердих гірських породах, становлять коронки, армовані синтетичними алмазами, у тому числі близько 5% – полікрисалами.

Однак в останні роки відбулося значне зниження обсягів буріння геологорозвідувальних свердловин, у тому числі алмазного буріння. Наявні невеликі обсяги бурових робіт здійснюються в умовах високої вартості обладнання, бурильного інструменту, матеріальних та енергетичних ресурсів. Ця обставина особливо гостро ставить проблему про бережливе ставлення до ресурсів, у тому числі алмазного породоруйнівного інструменту.

На сьогодні існує велике число типів алмазного породоруйнівного інструменту і постійно розробляються все нові конструкції бурових коронок, що сильно ускладнює їх систематизацію та визначення областей їх раціонального застосування. Багатьма дослідниками були виконані роботи з оцінками таких конструктивних параметрів, як твердість матриці, зернистість об'ємних алмазів і насиченість матриці алмазами на рівні емпіричної залежності, отриманих із застосуванням методів математичної статистики, що дозволяє використовувати отримані авторами висновки в обмежених областях геолого-технічних умов буріння.

Аналіз вітчизняної та зарубіжної літератури дозволяє виділити основні напрямки розробок щодо вдосконалення алмазних коронок. Велика частина авторських свідоцтв і патентів пов'язана з конструктивними параметрами алмазних бурових коронок, які умовно можуть бути розбиті на три групи: геометричні, структурні і фізичні.

Аналіз розподілу авторських свідоцтв і патентів із зазначених груп [1], показав, що розробки щодо вдосконалення геометричних конструктивних параметрів (профіль торця, форма і розміри секторів, промивна система) складають 39%, структурних (оптимізація процесу руйнування гірських порід) – 19% і фізичних (підвищення міцності коронки, захисту алмазів, знімні різці) – 42%.

Питанню вибору конструктивних характеристик в залежності від властивостей гірських порід присвячені багато наукових робіт, починаючи з підбору відповідних діаметрів коронок і закінчуючи оцінкою ефективності обраного типорозміру алмазного інструменту [2, 3].

Отже, можна зробити висновок, що основним резервом підвищення роботоздатності алмазного буріння є впровадження сучасної алмазозберігаючої технології на основі використання раціональних типів коронок.

Процес зношування алмазних коронок невіддільний від процесу руйнування гірської породи, який можна розглядати і як процес зносу. Тому більш повне уявлення може дати вивчення не окремого елемента пари тертя, а їх сполучення в цілому.

1.1 Механізм взаємодії алмазного породоруйнівного інструменту з вибоєм свердловини

Алмазне буріння – найбільш ефективний спосіб проходки розвідувальних свердловин у твердих породах завдяки його особливим фізико-механічним властивостям. Для армування алмазних коронок застосовують переважно синтетичні алмази невеликих розмірів і найрізноманітнішої форми полікристалічні матеріали – у вигляді конуса, півсфери, сфери і т. ін. Відповідно

до цього процес руйнування порід алмазними коронками є досить складним, залежним від великого числа факторів. Залежно від механічних властивостей гірських порід і геометричної форми алмазу процеси руйнування протікають по-різному.

Дослідженням механізму руйнування гірських порід при алмазному бурінні присвячені роботи Б.І. Воздвіженського [4 – 7], В.С. Владиславлева [8], Д.Н. Башкатова [9, 10], С.С. Сулакшина [11, 12], В.П. Оніщина [13, 14], Л.К. Горшкова [15, 16], Н.В. Соловйова [17 – 19], Р.К. Богданова [20 – 23], В.І. Власюка [24, 25], А.П. Закори [26 – 28] та інших авторів. Причому, результати виконаних ними досліджень показують, що взаємодія бурового інструменту з гірськими породами являє собою складний і багатофакторний процес, а це у свою чергу, ускладнює побудову моделі буріння гірських порід цим інструментом.

Г.А. Блінов [29], аналізуючи роботи з вивчення взаємодії пари "породоруйнівний інструмент – порода", виділяє два напрямки, які лежать в основі проведених досліджень. Перший напрямок – це роботи, висновки яких базуються на дослідженнях взаємодії одиничних інденторів зі зразками гірської породи, і роботи, в яких досліджується загальна взаємодія груп інденторів, об'єднаних у твердому тілі – коронки з гірською породою. Другий напрямок є більш об'єктивним за суттю і тому перспективним, але з урахуванням результатів, отриманих при дослідженнях роботи одиничних алмазів.

З урахуванням основних положень фізики процесу руйнування гірських порід і триботехніки, гіпотеза взаємодії пари "алмазна коронка – гірська порода" представляється таким чином. При передачі на алмазну коронку нормального (осьового) навантаження і крутного моменту внаслідок хвилястості і шорсткості кожного з елементів пари "коронка – порода" (у тому числі через нерівномірність випуску алмазів) зіткнення їх відбувається лише на окремих "плямах", зосереджених на вершинах виступів. При цьому більш жорсткі виступи (алмази) матриці коронки втискуються в гірську породу, утворюючи плями реального контакту. При обертанні коронки вони руйнуються і утворюються знову. Глибина втискування окремих алмазів залежить від їх розташування на різній висоті на торці ма-

триці, властивостей гірської породи, конструктивних особливостей коронки, параметрів режиму буріння.

Сам процес руйнування алмазним зерном можна представити в такому вигляді (рис. 1.1).

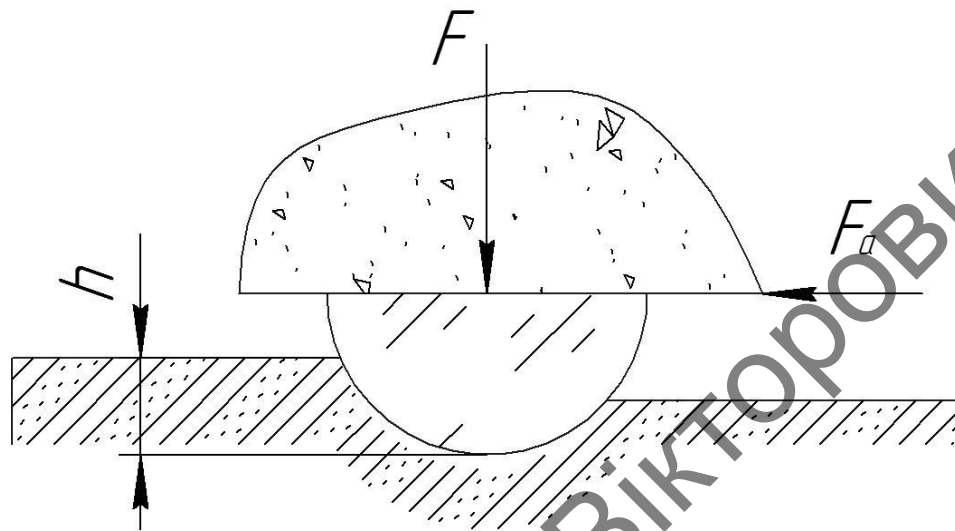


Рисунок 1.1 – Схема руйнування гірської породи окремих алмазних зернами

На алмазну коронку діє осьове навантаження F , яке забезпечує втискування алмазу в породу на глибину h , і тангенціальна складова F_a , що забезпечує переміщення алмазу на вибою. Ці навантаження розподіляються між алмазами, які руйнують породу.

Г.А. Блінов наводить приблизну методику визначення фактичного числа контактів пари "алмазна коронка – гірська порода", роблячи вельми важливе застереження стосовно того, що вона є справедливою при однакових характеристиках шорсткості коронки і породи. Дана методика заснована на вимірі шорсткості поверхні робочого торця алмазовмісної матриці, але не враховує шорсткість поверхні вибою гірської породи. Шорсткість поверхні вибою не може повторювати шорсткість поверхні торця алмазної коронки через динаміку роботи бурильної колони [30]. Крім того, цьому висновку суперечать роботи Г.В. Арцимовича [31, 32], І.А. Свешнікова [33] та інших авторів, в яких наголошується, що зона передруйнування за своєю глибиною при алмазному

бурінні набагато перевищує проходку за оберт. Це співвідношення особливо велике в породах, схильних до крихкого руйнування (граніт, кварцит).

Роль тріщини у деформуванні тіл досить істотна, оскільки при прикладанні зовнішнього навантаження в полікристалічному агрегаті, яким є гірська порода, напруги не поширюються рівномірно, а концентруються на межі ослаблених місць. Академік П.А. Ребіндер першим відзначив формування специфічного за своїми структурно-механічними характеристиками шару породи, що утворюється одночасно з відділенням від масиву продуктів руйнування при механічних способах буріння. Він назвав його зоною передруйнування [34]. Вперше можливість оцінити загальні геометричні параметри названої зони, залежно від умов навантаження, з'явилася після розробки І.А. Свешнікова методики застосування люмінесцентної дефектоскопії для аналізу недосконалої структур гірських порід і, зокрема, виявлення тріщини зони передруйнування [33].

Дослідники, що займалися питаннями характеру руйнування гірських порід при алмазному бурінні, по-різному трактують процеси, що відбуваються під час буріння:

ряд авторів [35 – 37] вважає, що характер руйнування породи відбувається в основному шляхом стирання, при цьому не виключається можливість різання окремих зернин, а також їх роздавлювання;

Є.Ф. Епштейн [38] та інші приходять до висновку про те, що при алмазному бурінні відбуваються процеси мікрорізання;

Л.А. Шрейнер [39] вважає, що визначальним фактором при руйнуванні породи алмазами є процес сколювання. Разом з тим він не заперечує можливості поєднання процесів сколювання з різанням і стиранням;

Ф.А. Шамшев [40], та інші стверджують, що руйнування гірської породи при алмазному бурінні відбувається за рахунок процесів стирання і роздавлювання. При бурінні порід середньої твердості можливі процеси різання.

На перший погляд здається, що думки про характер руйнування гірської породи при використанні алмазного інструменту є суперечливими. Разом з тим такі

відмінності в оцінці процесів руйнування породи свідчать про їх складність та багатогранність.

Так, при бурінні у твердих крихких гірських породах руйнування відбуватиметься насамперед за рахунок процесів стирання і роздавлювання, тобто утворення дрібних часток шламу. При бурінні в'язких, пластичних порід перевагу слід віддати процесам різання або сколювання, утворення крупних частинок шламу. А як відомо [34], максимальна швидкість буріння, при всіх інших рівних показниках, досягається тоді, коли в процесі руйнування гірської породи утворюються крупні частинки шламу.

Для оцінювання в лабораторних умовах характеру руйнування гірської породи буровим інструментом А.П. Закора [41] вперше запропонував методику вивчення шорсткості поверхонь вибою і торця алмазної коронки за допомогою інформаційно-обчислювальної системи "Поверхность".

Система розроблена на базі профілографа-профілометра моделі 201 "Калібр" та електронно-обчислювальної машині (ЕОМ) СОУ-1. Процесор СОУ-1 побудований за класичною архітектурою ЕОМ з напівпровідниковим оперативним записуючим пристроєм ємністю 32К 16-розрядних шарів.

Недоліком наведеної методики, є складність обробки інформації на застарілому обладнанні, мала інформативність процесу і громіздкість програмного забезпечення, яка призводила до великих витрат робочого часу на розрахунки. Крім того, застаріле програмне забезпечення призводило до частих збоїв системи і помилок при обрахунку параметрів мікропрофілю шорсткості поверхні вибою.

Багаторічний досвід алмазного буріння показує, що ефективність застосування бурових коронок значною мірою залежить від того, наскільки точно зносостійкість породоруйнівних елементів відповідає абразивним властивостям гірських порід.

З огляду літературних джерел, на жаль, можна констатувати, що роботи в даній області вкрай нечисленні і, в більшості своїй, не доведені до свого логічного завершення.

Так, наприклад, зносостійкість матеріалу матриці досі офіційно оцінюється твердістю. Така характеристика матеріалу матриці як твердість може бути застосована тільки для оцінювання якості виготовлення матриці коронок.

У свою чергу, дослідженнями [42, 43] доведено, що зносостійкість структурно неоднорідних матеріалів, якими є матеріали матриці, характеризувати твердістю не можна.

Згідно з результатами досліджень М.М. Хрущова [44], зносостійкість чистих металів пропорційна їх твердості. Для структурно неоднорідних матеріалів, якими є матричні матеріали, зв'язки між твердістю і зносом не спостерігаються. Відносна зносостійкість при абразивному зношуванні структурно неоднорідного матеріалу дорівнює сумі добутків з відносного обсягу, займаного кожним структурним елементом, на його відносну зносостійкість

$$\varepsilon = \sum a_i \varepsilon_i, \quad (1.1)$$

де a_i – частка номінального обсягу, зайнятого структурним елементом i ; ε_i – зносостійкість окремих структурних елементів, щодо еталонного матеріалу.

Н.В. Ципіним [45] зносостійкість матеріалу матриці трактується правильно, але її вивчення здійснювалося на абразивах, таких як карбід кремнію, електрокорунд і тому при цьому не враховувалося, що зношування об частки гірських порід буде в кілька разів меншим.

Р.К. Богданов [46] запропонував здійснювати оцінювання зносостійкості матеріалу матриці іншим чином, суть якого полягає в тому, що визначається вона за втратою маси матричного матеріалу при терті об частинки шламу кварцу при певному навантаженні і за певний шлях тертя.

Експериментальні дослідження зносостійкості алмазно-твердосплавних пластин (АТП) в ІНМ проводилися відповідно до стандарту підприємства [47]. Цей стандарт встановлює метод оцінювання зносостійкості АТП, що виготовляються за ТУ 88 України 90.1244-91 і вживаних у буровому інструменті.

Суть цього методу полягає у визначенні середньої висоти площини зносу алмазно-твердосплавних пластин при різанні гірських порід на поперечно-стругальному верстаті моделі 7В36. Цей метод добре зарекомендував себе для

відбору АТП, які використовуються у породоруйнівному інструменті, що працює без охолодження. Але для бурового інструменту, що працює з використанням охолодження (промивна рідина чи стиснене повітря), він є не зовсім коректним.

У монографії [48] розглянуті методи випробувань та застосування композиційних алмазовмісних матеріалів і проаналізовані різні технології їх спікання. Роботоздатність розроблених алмазовмісних матеріалів визначали відповідно до технічних умов ТУ 88 України ІНМ 583-84 при правці абразивного круга ПП 600×63×305 14А40 ПСМ26 К7. Випробування проводили на круглошліфувальному верстаті моделі ЗБ151. Зношування зразка інструмента визначали ваговим методом на аналітичних вагах з похибкою $\pm 0,0005$ г, зношування абразивного круга – лінійним методом за показаннями глибиноміра, встановленого на верстаті, з похибкою вимірювання 0,1 мм. Зношування абразивного круга розраховували за формулою

$$m = (\pi h \gamma / 4)(D_1^2 - D_2^2), \quad (1.2)$$

де m – маса зношеної частини абразивного круга, г; h – висота кола, см; γ – щільність абразивного матеріалу, яка дорівнює $2,5$ г/см³; D_1 – діаметр кола до випробувань, см; D_2 – діаметр кола після випробувань, см.

Наведені вище методики випробувань на зносостійкість не розкривають у повній мірі сутність механізму взаємодії породоруйнівного елемента (вставки) окремо (або в складі породоруйнівного інструменту) безпосередньо з монолітом гірської породи.

Найважливішим конструктивним геометричним параметром є профіль торця алмазної коронки, який впливає на розподіл навантажень під торцем коронки, ефективність видалення шламу, розміщення алмазів і технологічність виготовлення коронки. Основною метою винаходів і досліджень у цьому напрямку є обґрунтування та оптимізація форми профілю, що забезпечує рівномірне зношування коронки в процесі відпрацювання.

Причому форма торця матриці вибирається відповідно до мети застосування коронки. Найбільш поширеними формами матриці коронки є півсфера, усічена півсфера, плоска і гребінцева.

У ряді літературних джерел [49 – 54] авторами були зроблені спроби розрахувати оптимальну форму профілю торця алмазної коронки на основі вивчення фізики процесу алмазного буріння. При цьому в основу розрахунку було покладено забезпечення сталості контактних тисків роботи сил тертя або імпульсу сили.

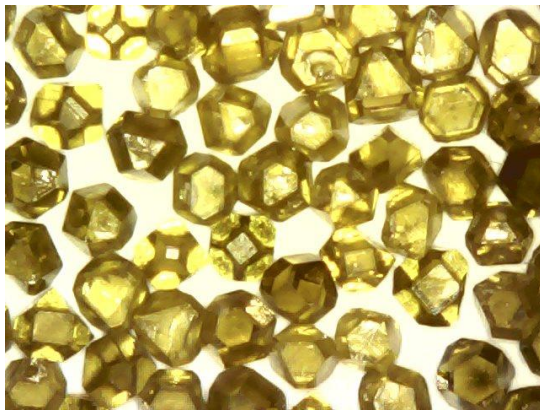
Але у всіх запропонованих профілях є, один вагомий недолік, а саме: описані профілі на зовнішньому або на внутрішньому діаметрах мають гостру вершину, яка в процесі буріння повинна активно зношуватись, будучи концентратором напруги. Це призведе до її округлення або ж до можливого катастрофічного зношування матриці коронки в цьому місці профілю. Тому забезпечувати зносостійкість цих ділянок доцільно шляхом застосування, як додаткових інденторів у місцях сильного зношування матриці, нові полікристалічні надтверді матеріали.

1.2 Надтверді матеріали, що використовуються в комбінованих матрицях алмазних коронок при бурінні геологорозвідувальних свердловин у твердих породах

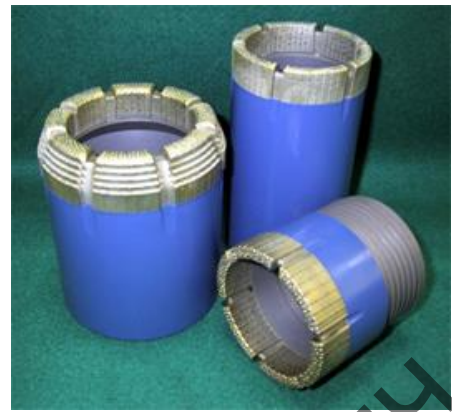
Зараз у світі в буровому геологорозвідувальному інструменті використовуються як природні, так і синтетичні монокристали алмазів, а також композиційні матеріали на основі синтетичних алмазів.

Монокристали синтетичних алмазів (СА) (рис 1.2, *а*) широко використовуються при розробці одношарових та імпрегнованих коронок (рис 1.2, *б*), для буріння свердловин у твердих породах IX–XI категорії за буримістю [55].

У синтетичних монокристалів алмазів відзначається різке зниження міцності після нагріву понад 800°C. Це пояснюється розтріскуванням зернин, що виникають через зростання внутрішніх напружень навколо включень металів-розчинників, що обумовлено розходженням коефіцієнтів температурного розширення і стискальністю алмазів і металу-розчинника, плавленням включень і графітизацією алмазу навколо них. Обсяг включень при цьому збільшується на 15...20%.



а



б

Рисунок 1.2 – Загальний вигляд синтетичних монокристалів алмазів (а) і бурових коронок на їх основі (б)

Для підвищення термостійкості алмазів в Інституті надтвердих матеріалів НАН України був розроблений спосіб синтезу алмазів, що дозволяє отримати кристали з масовою часткою включень в межах 0,2 ... 0,5%. Ці алмази позначаються індексом Т. У таблиці 1.1 наводиться область застосування алмазів марки АСТ.

Таблиця 1.1 – Рекомендовані області застосування інструменту з алмазів марки АСТ

Марка алмазів	Характеристика	Рекомендована область використання
АС 80Т	Монокристали кубооктаедричної форми з орієнтованими включеннями, коефіцієнт форми зернин не більше 1,2	Виготовлення породоруйнівного інструменту для буріння свердловин в абразивних породах VII – VIII категорій за буримістю
АС 100Т, АС 125Т, АС 160Т	Монокристали кубооктаедричної форми з орієнтованими включеннями, коефіцієнт форми зернин не більше 1,1	Виготовлення породоруйнівного інструменту для буріння свердловин в абразивних породах IX – XI категорій за буримістю

Одним з перспективних видів породоруйнівного інструменту є також інструмент, армований синтетичними полікристалічними алмазами, які дозволяють заповнити дефіцит природних алмазів, підвищити техніко-економічні показники буріння свердловин, зокрема середню проходку та механічну швидкість.

Полікристалічні надтверді матеріали за своїми фізико-механічними властивостями можуть бути близькими до монокристалів, а за деякими і перевершувати їх. Так, для більшості алмазних полікристалів характерна ізотропія властивостей, вони відрізняються високими зносостійкістю і термостійкістю, а також перевершують монокристали за тріщиностійкістю.

Полікристалічні надтверді матеріали на основі алмазу через свою полікристалічну структуру значно краще чинять опір ударним навантаженням, ніж монокристали алмазу, і, незважаючи на меншу твердість у порівнянні з природним алмазом, мають більш високі значення границь міцності на розтяг і на поперечний зсув.

На даний час існує два основних типи синтетичних полікристалічних алмазів:

- дрібні полікристалічні алмази малої термостійкості, що утворюють тонкий шар на твердосплавній основі;
- великі полікристали підвищеної термостійкості, що застосовуються у вигляді самостійних різців.

Фірма De Beers в середині 80-х років минулого століття розпочала виробництво нових синтетичних полікристалів типу Syndax-3 (рис 1.3).

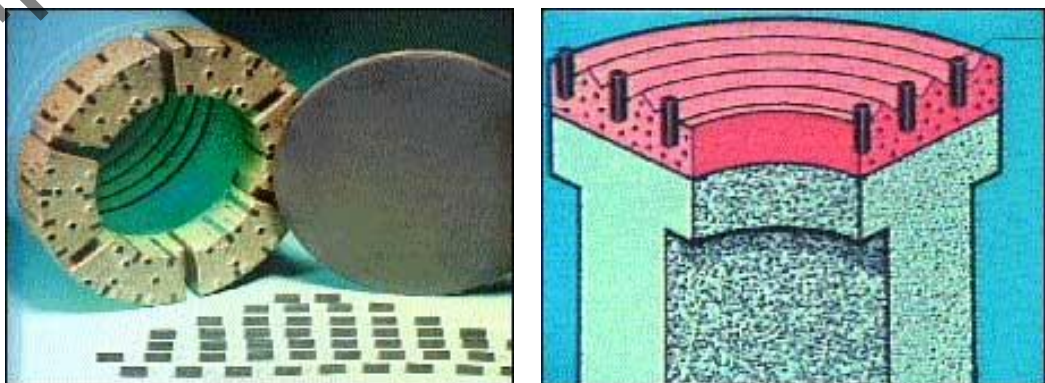


Рисунок 1.3 – Загальний вигляд вставок Syndax-3 і спосіб оснащення ними робочого торця бурової коронки

Полікристали типу Syndax-3 синтезуються у вигляді дисків діаметром 50 мм і товщиною 2,6–3,7 мм, які за допомогою лазерної або електродної технології ріжуться на різці трикутної, прямокутної, п'ятикутної, кубічної форми масою від 0,13 до 0,9 кар.

При використанні різців трикутної форми забезпечується значний випуск ріжучих кромок, однак у такій конструкції вимагається міцна матриця, що надійно утримує ріжучі елементи, Такі різці застосовуються для буріння в породах середньої твердості і різного ступеня абразивності.

Різці п'ятикутної форми встановлюються в матриці так само, як кубічні і призначені для буріння в м'яких породах типу пісковика і мармуру. Паралельні поверхні п'ятикутника дозволяють точно підтримувати заданий діаметр свердловини. Термостійкість цих полікристалів дорівнює 1200°C, що дозволяє їх закріплювати в матриці за технологією, прийнятою при виготовленні звичайних алмазних коронок.

У США фірмою NL Nusalog випускається новий гібридний породоруйнівний інструмент, робочий торець якого оснащений алмазно-твердосплавними пластинами (АТП) та синтетичними алмазами.

У табл. 1.2 наводяться середні порівняльні показники, що були отримані при бурінні сланців з прошарками абразивних пісковиків. Усього було пробурено десять свердловин середньою глибиною від 3200 до 5182 м.

Таблиця 1.2 – Порівняльні показники буріння породоруйнівним інструментом

Породоруйнівний інструмент	Проходка, м	Ресурс, год	Механічна швидкість буріння, м/год	Вартість 1 м буріння, дол. США
Шарошковий	81	26,4	3,08	200
Алмазний	177	107,1	1,65	312
Алмазно-твердосплавний	185	41,6	4,63	181
Гібридний	359	88,0	4,02	159

Як видно з наведених даних, проходка на гібридному породоруйнівному інструменті у порівнянні з алмазно-твердосплавним породоруйнівним інструментом збільшилася майже у два рази при незначному зниженні механічної швидкості буріння (на 15%). Вартість 1 м буріння гібридним породоруйнівним інструментом знизилася з 181 до 159 доларів (14 %).

За даними фірми-виробника, новий гібридний породоруйнівний інструмент доцільно використовувати в таких породах, де інструмент, оснащений алмазно-твердосплавними пластинами, при високій механічній швидкості має недостатню проходку, а інструмент, оснащений тільки алмазами, навпаки, при гарній проходці, забезпечує вельми низьку механічну швидкість.

Як відомо, основним недоліком алмазно-твердосплавних пластин типу Stratapax і Syndrill є низька температурна стійкість шару полікристалічних алмазів, що містять кобальтову зв'язку. В результаті породоруйнівний інструмент, армований звичайними АІП, має обмежену стійкість при бурінні абразивних порід у зв'язку з підвищенням температури на контакті ріжучої кромки різців з породою і мають підвищену чутливість до режиму і якості промивки.

Для буріння в абразивних породах доцільніше використовувати полікристалічні термостійкі алмази типу Syndax-3, однак слід мати на увазі, що, у зв'язку зі збільшеною крихкістю, такі алмази мають порівняно невеликі розміри і відповідно обмежений випуск з тіла матриці доліт. У зв'язку з цим при їх використанні в породах малої твердості забезпечується менша подача на один оберт порівняно з породоруйнівним інструментом, армованим АІП, що призводить до зниження механічної швидкості буріння.

Наприкінці 80-х в ІНМ НАН України було запропоновано оснастити місця підвищеного зносу робочого торця бурової коронки вставками з надтвердого композиційного алмазовмісного матеріалу типу твесал [56, 57] (рис. 1.4).

Структура матеріалу вставки аналогічна структурі матеріалу матриці коронки, а саме: матриця і вставки твесалу оснащені однаковими синтетичними монокристалічними алмазами, при цьому алмази у вставках завдяки технології спікання твесалу закріплені краще, ніж у матриці коронки.



Рисунок 1.4 – Загальний вигляд вставок твесал

У результаті проведених науково-дослідних робіт [58, 59]. був розроблений цілий ряд алмазних бурових коронок з комбінованою матрицею як для одинарного колонкового снаряда (коронки типу БС04, БС05, БС06 і БС18), так і для снарядів зі знімним керноприймачем (коронки типу БС09 і БС23 (рис. 1.5)).



Рисунок 1.5 – Загальний вигляд бурової коронки типу БС23 діаметром 59 мм

І якщо в коронках типу БС04, БС05 і БС06, що мають профіль торця у вигляді усіченої півсфери, шляхом застосування вставок твесалу були посилені відповідно внутрішній (БС04), зовнішній (БС05) або одночасно внутрішній і зовнішній (БС06) діаметри, то в подальших конструкціях коронок, що мають профіль у вигляді клину (БС18) і трапеції (БС09 і БС23) вставки твесалу розміщували у верхній частині профілю робочого торця.

Дані коронки, показали високий результат за зносостійкістю, але вельми малу механічну швидкість буріння порівняно із серійними коронками, оснащеними полікристалічними матеріалами [60].

Протягом останніх десяти років у ІНМ НАН України був створений алмазний композиційний термостійкий матеріал (АКТМ) [61] на основі алмазу та карбїду кремнію у вигляді циліндричних вставок діаметром 2–5 мм (рис. 1.6).



Рисунок 1.6 – Загальний вигляд вставок АКТМ

Найважливішим фактором є те, що для композиту характерне поєднання високої твердості і міцності. Фізико-механічні властивості матеріалу наведені в таблиці 1.3 [62].

Таблиця 1.3 – Фізико-механічні властивості матеріалу АКТМ

Показники	Значення
Густина, г/см ³	3,43–3,45
Твердість за Кнуп, ГПа	50–55
Трщиностійкість, МПа м ^{1/2}	10–12
Міцність на стиск, ГПа	2,2–3,1
Модуль Юнга, ГПа	970
Теплопровідність, Вт/м К	250–300
Зносостійкість при правці корундового кола, мг/кг	4,4
Термостабільність, К	1500

Проведені конструкторсько-технологічні дослідження зі створення коронок, оснащених елементами з АКТМ [63, 64], дозволили розробити високоефективну конструкцію бурової коронки різцевого типу діаметром 76 мм типу БТ19 (рис. 1.7) для порід середньої твердості з пружно-пластичним і високо пластичним характером руйнування, особливістю якої є закріплення породоруйнівних вставок з АКТМ в алмазному імпрегнованому шарі комбінованої матриці, оснащеної високоміцними СА. Результати порівняльних виробничих випробувань комбінованих коронок типу БТ 19, оснащених вставками АКТМ, і коронок БС20 оснащених тільки СА наведені в таблиці 1.4.



Рисунок 1.7 – Загальний вигляд бурової коронки типу БТ19 діаметром 76 мм

Таблиця 1.4 – Результати порівняльних виробничих випробувань комбінованих коронок типу БТ 19 і коронок БС20

Тип інструмента	Кількість, шт.	Режими буріння		Середня механічна швидкість буріння, м/год	Середня проходка на коронку, м
		Навантаження, кН	Частота обертання, об/хв		
БТ19	10	10 – 15	340 – 576	3,35	36,4
БС20	20			1,8	22,3

З таблиці видно, що коронки БТ 19, оснащені вставками АКТМ, перевищують за проходкою коронки БС20 в 1,6 раза і за механічною швидкістю буріння – в 1,9 раза.

Проведені в ІНМ НАН України дослідження методом люмінесцентної дефектоскопії показали, що ріжучі породоруйнівні вставки з АКТМ, які виступають над алмазозосним шаром комбінованої матриці бурової коронки згідно із запатентованою схемою оснащення (рис. 1.8), створюють в масиві гірської породи, що розбурюється, зону передруйнування. При цьому ширина цієї зони в 1,2 – 1,8 раза перевищує ширину і глибину втискання частини породоруйнівної вставки.

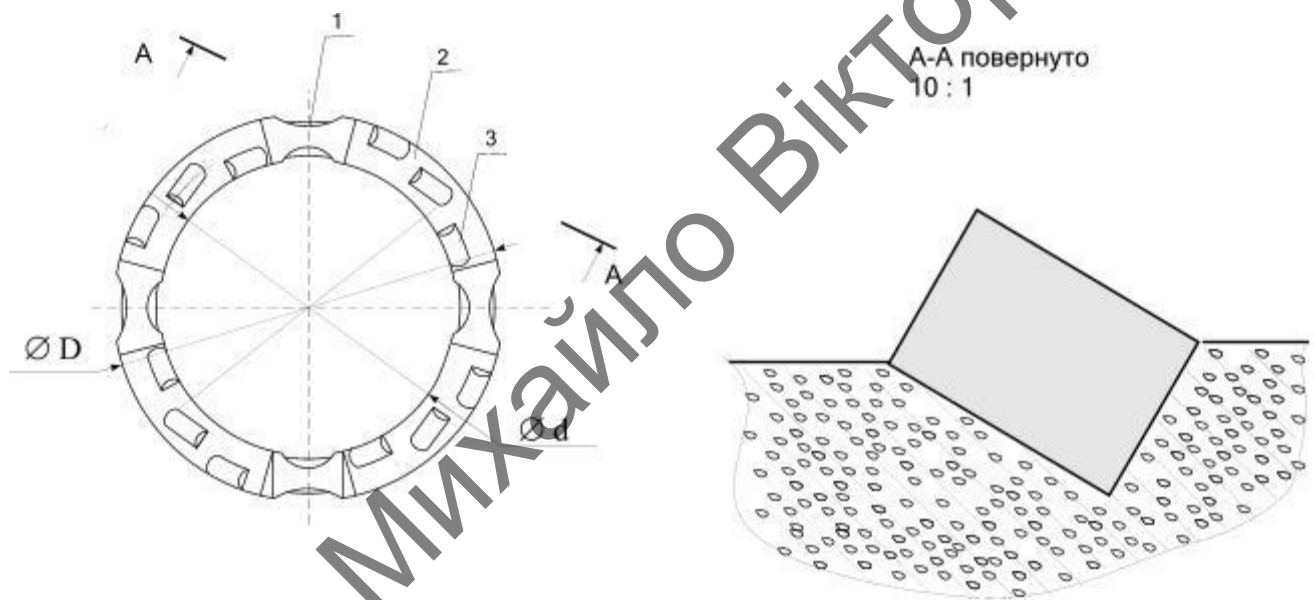


Рисунок 1.8 – Схема оснащення бурової коронки БТ19

Макро- і мікротріщини, що утворюються в цій зоні, значно послаблюють гірську породу, а кристали алмазу комбінованої матриці бурової коронки, працюючи в зоні передруйнування, значно легше довершують процес руйнування.

Як показує аналіз літературних джерел [65 – 68], у всіх випадках для руйнування породи породоруйнівний елемент має входити в породу на певну глибину. Для заглиблення ріжучого елемента в породу повинна дотримуватися залежність:

$$\sigma_{ст.е} > \sigma_{ст.п} , \quad (1.3)$$

де $\sigma_{ст.е}$ – міцність на стиск елемента, ГПа; $\sigma_{ст.п}$ – міцність на стиск породи, ГПа.

Аналізуючи показники міцності АКТМ (табл. 1.3) і породи (табл. 1.5) можна зробити висновок, що породоруйнівний інструмент, оснащений АКТМ, може бути рекомендований для буріння свердловин в породах не вище VII–IX категорії за буримістю.

Таким чином, для підвищення ефективності буріння геологорозвідувальних свердловин у міцних абразивних породах виникає необхідність розробки інструмента на базі більш міцних і зносостійких елементів з алмазних полікристалічних композиційних матеріалів.

Таблиця 1.5 – Характеристика деяких типів гірських порід

Найменування породи	Твердість за Шрейнер, ГПа	Категорія порід за буримістю
Мармур	1,39	VI
Вапняк	1,84	VII
Кварцовий порфір	2,88	VIII
Граніт	3,78	IX
Роговик безрудний	4,17	X
Роговик магнетитовий	6,19	XI
Роговик пегматито–магнетитовий	7,44	XII

Аналіз літературних джерел показує, що до найбільш наукомістких і багатообіцяючих для практики відносяться гібридні алмазні композиційні полікристалічні матеріали [69]. Одним з таких є розроблений ІНМ НАН України та Інститутом загальної фізики ім. Прохорова РАН матеріал – гібридайт [70]. Даний матеріал створений на основі армування алмазного композиту АКТМ полікристалічним алмазом, який вирощується методом осаджування з газової фази (CVD-алмазом). Таким чином, в основі виготовлення гібридайту лежить комбінація техніки високих тисків і CVD-методу.

Як відомо, композиційні надтверді матеріали на основі полікристалічних алмазів широко застосовують при виготовленні ріжучого і бурового інструменту

(доліт, коронок, різців) [71, 72]. CVD-алмаз, що наближається за властивостями до досконалих монокристалів алмазу [73], також все ширше застосовують як інструментальний матеріал, зокрема як покриття на вставках різального інструменту. Зазначені перешкоди в значній мірі були подолані при розробці нового способу спікання [74, 75] гібридного надтвердого полікристалічного композиційного матеріалу (гібридайт), армованого CVD-алмазом, периметр якого частково або повністю в умовах високого тиску і температури покритий оболонкою з АКТМ.

Зовнішній вигляд робочої поверхні гібридайту з армуючими вставками з CVD-алмазу і монокристалу синтетичного алмазу показані на рис. 1.9.



Рисунок 1.9 – Зовнішній вигляд дослідних зразків гібридайту з армуючими вставками з CVD-алмазу (а – вигляд зверху; б – вигляд збоку) і монокристалу синтетичного алмазу (в)

Колір зразків CVD-алмазу визначається ступенем їх чистоти і структурної досконалості, що залежать від технології синтезу. Так званий «чорний алмаз» (black diamond) є полікристалічним CVD-алмазом з високим вмістом структурних дефектів, таких як мікродвійники, дислокації, нанометрові аморфізовані домени. Ці дефекти викликають сильне оптичне поглинання в так званому «чорному» алмазі, у той час як включення графіту в них відсутні.

Зміна зовнішнього вигляду різних зразків CVD-алмазу після термічної обробки в струмі аргону при температурі $T = 1150^{\circ}\text{C}$ протягом 600 с показана на рис. 1.10.

Показники міцності при одноосьовому статичному стисненні зернин пластинчастої форми порошку CVD-алмазу зернистістю 630/500 при руйнівному навантаженні складають для «світлого» алмазу – 2,1 кН, а для «чорного» – 1,2 кН.



Рисунок 1.10 — Зміна зовнішнього вигляду різних зразків CVD-алмазу після термічної обробки в струмі аргону ($T = 1150^{\circ}$; $\tau = 600$ с)

Виходячи з вищенаведених даних можна припустити, що гібридайт за своїми фізико-механічними властивостями не тільки не поступається вище перерахованим матеріалам, а й перевершує їх за деякими параметрами. А його гібридна структура дає можливість припустити, що породоруйнівні вставки на його основі будуть працювати в матриці бурової коронки, як окремі різці, що у свою чергу призведе до підвищення роботоздатності бурового алмазного інструменту.

Але слід зазначити дуже важливу обставину, що процес створення нових алмазних бурових коронок, особливо оснащених комбінованими матрицями, фізично неможливий без вивчення питання розподілу контактного тиску на робочій

поверхні бурової коронки, що впливає на весь процес взаємодії контактуючої пари "коронка – порода".

1.3 Аналіз наявних моделей розподілу контактного тиску на робочій поверхні бурового інструменту

Проведений аналіз літературних джерел показав, що основним механічним чинником, який впливає на роботоздатність бурового інструменту, є тиск σ_n , спрямований за нормаллю до її робочої поверхні. Не випадково практично всі дослідники, що займалися вивченням конструкцій алмазної бурової коронки і питаннями їхнього зношування, приходили до необхідності визначення розподілу осьового навантаження, прикладеного до бурової коронки, на її робочій поверхні. При цьому, в залежності від специфіки інструмента, використовувались різні підходи до розв'язання цієї задачі.

У роботі [76] запропоновано співвідношення для розрахунку контактної тиску й обертаючого моменту під торцем алмазної бурової коронки. Система «бурова коронка – вибій» моделюється автором у вигляді рухливого з'єднання типу «п'ята – підп'ятник». Проводячи аналогію з процесами, тертя автор пропонує розглядати процес зношування коронки у вигляді [77]:

$$\frac{dU}{dl} = kq^m(\alpha), \quad (1.4)$$

де k – коефіцієнт зношування; q – контактний тиск і m – показник ступеня.

З (1.4) випливає, що в приробленому стані процес тертя практично інваріантний до швидкості взаємного переміщення деталей з'єднання. У результаті інтегрування і відповідних математичних перетворень отримані формули виду:

$$q_{\max}(\alpha) = \frac{P}{\pi r_0 \Psi(\alpha) \sqrt{\rho_0^2 - r_0^2} [\alpha_2 - \alpha_1 - 0.5(\sin 2\alpha_2 - \sin 2\alpha_1)]}, \quad (1.5)$$

$$M = 2f\rho_0 P \frac{\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2 + \frac{r_0}{4\rho_0} (\cos 2\alpha_2 - \cos 2\alpha_1)}{\alpha_2 - \alpha_1 - 0.5(\sin 2\alpha_2 - \sin 2\alpha_1)},$$

де F – сумарна осьова сила, що діє на інструмент; r_0, ρ_0 – радіальні координати; M – момент контактних тисків.

Ці співвідношення враховують специфіку конструкції бурової коронки. Однак при цьому не враховано швидкість обертання інструмента (що закладено в самому підході) і дискретний характер процесу різання породи (наявність різців, на які власне приходиться навантаження), тобто фактори, що безпосередньо впливають на характер розподілу навантаження.

У роботі [78] загальна тенденція розподілу контактного навантаження для долота плоскої форми представлена у вигляді:

$$p_j \sim \frac{1}{R} P_{oc} \cdot \quad (1.6)$$

У [79] наведені формули для визначення навантаження на одиничну вставку з матеріалу славутич і одиничне алмазне зерно на торці вставки.

$$F_{вст} = \frac{F_{oc} d_{вст}^2 \cos \varphi}{8kRr_i} \cdot F_s = \frac{6250F_{oc}}{d_c K_{кон} K_{осч} NRr_i} \cdot \quad (1.7)$$

Використовуючи залежність, аналогічну (1.6), автор пропонує визначати частку осьового навантаження, що приходить на робочі елементи. Однак при виведенні співвідношення для розподілу осьового навантаження припускається, що навантаження, яке припадає на лінію різання, не залежить від радіуса лінії різання на робочій поверхні долота, що суперечить початковому твердженню (1.6).

У роботі [80] наведено дані експерименту з визначення розподілу осьового навантаження на робочій поверхні лопатевого бура. Буріння виконувалося в пісковіку з твердістю 80 МПа, при постійній швидкості обертання 43 об/хв. На кожному різці встановлювався тензOMETричний датчик для реєстрації ортогональних складових навантаження. Конструкція різця [81] дозволила мінімізувати методичну похибку вимірювання. За допомогою статистичної обробки результатів із застосуванням повного факторного експерименту з отриманого сигналу виділяють складові, що відповідають осьовому, радіальному і тангенціальному зусиллям. Отримані в [80] дані свідчать, що розподіл осьової складової навантаження якісно наближається до залежності (1.6). У ході

експерименту виконувалося буріння з утворенням вибою, який відповідає формі робочого торця бура. Специфіка конструкції бура, а також мала глибина проходки не дозволяють у повній мірі використовувати отримані результати стосовно реального бурового інструмента.

У випадку роботи алмазної бурової коронки осьове навантаження розподіляється не на всій площі поверхні алмазосовмісної матриці, а перерозподіляється між тими алмазами, які виступають з поверхні матриці на однакову висоту.

У роботі [82] була встановлена залежність розподілу нормальної складової осьового зусилля на робочій поверхні алмазовмісної матриці бурової коронки, що враховує вплив форми і конструктивних параметрів профілю інструмента, та запропонований такий вираз для розрахунку нормальної складової питомого осьового навантаження на одиничне алмазне зерно:

$$F_{удNi} = \frac{P_{oc}}{2(R_e - R_i)r[\pi - n_v(ar + b)]z\beta P(t_i)(1 + \gamma_x^2)^{1/2}}, \quad (1.8)$$

де P_{oc} – осьове навантаження, що припадає при бурінні на алмази робочого торця коронки; R_e , R_i – відповідно, зовнішній і внутрішній радіуси алмазовмісної матриці коронки; r – поточний радіус коронки; n_v – кількість промивних каналів; a , b – постійні величини для певної конструкції коронки; z – щільність алмазних зерен на робочому торці матриці; $\beta P(t_i)$ – коефіцієнт використання алмазів.

Як бачимо, в даному виразі присутні як характеристики процесу руйнування гірської породи, так і характеристики самої породи. Однак тут не враховано використання комбінованої матриці коронки з додатковим породоруйнівними різцями.

У роботі [83] зазначено, що характер руйнування різців при бурінні в значній мірі залежить від їхнього взаємного розташування. Автор розглядає задачу розподілу навантажень в долоті, при цьому запропонована математична модель включає породу як деякий пружний півпростір і жорсткі різці, що піддаються зношуванню при заглибленні в породу. Розв'язок задачі отримано для випадку статичного навантаження з урахуванням взаємного впливу різців (початковий момент роботи долота). На відміну від бура, профіль лопаті – плаский. Отримане

співвідношення для визначення контактної навантаження на i -й штамп (тобто i -ю лінію різання) описується формулою:

$$P_i^*(\xi) = \frac{\pi E}{2(1-\nu^2)} \frac{h_i}{\lg(a/b)} - \frac{1}{2} \sum_{j=1}^N \frac{P_j(1-\delta_{ij})}{\sqrt{(x_{ij}-\xi)^2 + y_{ij}^2}} \frac{1}{\lg(a/b)}. \quad (1.9)$$

На підставі формули (1.9) зроблено висновок що заглиблення, а відповідно і навантаження на i -ий різець залежить від розподілу осьового навантаження між всіма різцями, що узгоджується з даними [84, 85]. Для моделювання обертання долота розглядається процес зношування різців у часі. На підставі побудованої математичної моделі автор теж робить висновок, що характер розподілу навантаження наближається до описуваного формулою (1.6).

Виходячи з умови однакового заглиблення всіх частин долота,

$$\frac{\lambda_i}{\cos \varphi_i} = \text{const}, \quad (1.10)$$

зіставляючи зношування та заглиблення долота за один оберт,

$$\Delta \lambda_i = k P_i^\alpha V_i^\beta, \quad (1.11)$$

у роботі [86] одержано залежність з розподілу навантаження виду:

$$P_i = F_{oc} \sqrt[\alpha]{\frac{\cos \alpha_i}{x_i^\beta m_i} \left[\sum_{i=1}^n \frac{(\cos \alpha_i)^{\alpha+1} m_i^{\alpha-1}}{x_i^\beta} \right]}, \quad (1.12)$$

де α, β – показники ступеня, α_i – кут між віссю вставки й Ox , m_i – кількість вставок у лінії різання, x_i – координата вставки (радіус лінії різання). З (1.12) для долота з пласким профілем при поверхневому режимі руйнування одержуємо

$$P_i = \frac{F_{oc}}{m_i n}, \quad (1.13)$$

що не узгоджується з практичними даними.

У [87, 88] вивчалось руйнування породи в кутовій зоні вибою свердловини. Запропоновано спрощений аналітичний вираз для оцінювання напруженого стану породи в зазначеній зоні, яка корелює з даними [89], що дає підстави стверджувати наявність зростання навантажень у кутовій зоні вибою свердловини. В роботі

[90] запропонована формула залежності опору руйнуванню за мірою віддалення від центру вибою:

$$\sigma_i = \sigma_0 e^{\beta x_i} . \quad (1.14)$$

Емпіричні значення σ_i залежать від зразка, а константи, що входять до рівняння (1.14) фізичного пояснення не мають. Там же було отримано вираз для розподілу навантаження:

$$P_i = B(\beta, x_i, a, b, \alpha_i) e^{\beta x_i} \left(\frac{\cos \alpha_i}{x_i^b m_i} \right)^{\frac{1}{a}} . \quad (1.15)$$

Константи, що входять до рівняння (1.15) і мають врахувати особливості руйнування гірської породи, залишаються невизначеними, що обмежує можливість його використання.

У роботі [91] як параметр оснащення алмазних доліт запропоновано використовувати коефіцієнт оснащеності робочої поверхні.

$$K_{осчj} = \frac{\sum \Delta S_{ij}}{\Delta S_j} , \quad (1.16)$$

де $\Delta S_{ij}, \Delta S_j$ – площі породоруйнівного оснащення лінії різання і самої лінії різання. При цьому висунуто припущення, що для забезпечення рівної зносостійкості бурового долота необхідно забезпечити сталість $K_{осч}$ уздовж контуру долота. Ґрунтуючись на тому, що руйнування вибою відбувається у вертикальному напрямку, у роботі розглядається коефіцієнт оснащеності торцевої поверхні, тобто «проекції оснащення» на площину торця. На підставі проведених досліджень сформульовано твердження щодо впливу на процес розподілу навантаження взаємного розташування й умов роботи всіх різців, що знаходяться в зоні контакту.

У роботі [86] наведено формулу для розрахунку навантаження, що припадає на i -у вставку, розташовану на відстані R від осі долота:

$$P_{i,j} = \frac{F_{oc}}{2\pi R_i \Delta R K_{осчj} \frac{K_{pj}}{E_j} \sum_{j=1}^n \frac{E_j}{K_{pj}} \cdot \cos \varphi_j} , \quad (1.17)$$

де K_p – коефіцієнт різання, визначений як відношення сили різання до осьового навантаження, E_j – енергоємність різання (відношення роботи різання до обсягу зруйнованої породи). Зокрема, для циліндричного долота ($\varphi=0$) при постійних значеннях коефіцієнта різання і енергоємності з (1.17) слід очікувати

$$P_{i,j} = \frac{F_{oc}}{2\pi R_i \Delta R K_{ocj}}, \quad (1.18)$$

в цьому випадку навантаження залежить тільки від геометричних параметрів. При постійному коефіцієнті оснащення навантаження на вставку, а отже, і контактний тиск обернено пропорційні радіальній координаті, $p(R) \sim 1/R$. До аналогічного висновку приводить і аналіз інших відомих в літературі робіт. З іншого боку, лінійна швидкість вставки прямо пропорційна відстані від осі обертання. Отже, питома потужність різання W , пропорційна її щільність теплових джерел на контактній поверхні і температура є постійними на всій робочій поверхні долота. Аналогічним чином, швидкість (інтенсивність) зношування в припущенні (1.17) також виявляється постійною, тому початково плоска поверхня мала би залишатись плоскою в процесі роботи.

У той же час, з практики добре відомо про наявність значного зношування бурового інструмента саме на периферійних ділянках. Проблема тут, очевидно, полягає в тому, що формулу (1.17) та аналогічні їй виведено з суто кінематичних співвідношень, які не враховують природи контактної взаємодії бурового інструмента з гірською породою.

У загальному випадку, теоретичне визначення нормального тиску на поверхні контакту «інструмент – порода» потребує розв'язання відповідної крайової задачі механіки контактної взаємодії. Такі задачі належать до найбільш складних в математичній фізиці: навіть у наближенні лінійно-пружного тіла вони є суттєво нелінійними, а їх розв'язання пов'язане зі значними математичними труднощами. Аналітичні розв'язки контактних задач відомі лише для найпростішої геометрії і умов контакту. Аналіз більш реалістичних моделей, що враховують геометрію контакту, тертя, геометричну і фізичну нелінійність, є можливим лише із застосуванням чисельних методів.

1.4 Висновки до розділу та формулювання завдань досліджень

Аналіз робіт наведених у цій главі дозволяє зробити такі основні висновки:

1. Найбільш ефективним інструментом для буріння твердих гірських порід на даний час є інструмент з комбінованою матрицею, оснащеною як синтетичними монокристалом алмазу так і полікристалічними матеріалами водночас. Однак даний інструмент на базі існуючих надтвердих матеріалів не забезпечує необхідної роботоzдатності при руйнуванні твердих гірських порід в процесі буріння геологорозвідувальних свердловин.

2. На показники працездатності бурового інструменту в першу чергу впливають як конструктивні особливості інструменту в цілому, так і зносостійкість його породоруйнівних елементів. Прогнозувати роботоzдатність бурового інструмента при руйнуванні твердих гірських порід у лабораторних умовах можна за величиною шорсткості вибою і зносостійкості його породоруйнівних елементів. Однак методики проведення таких досліджень, представлені в літературі, потребують доопрацювання.

3. Огляд надтвердих матеріалів, які використовуються при оснащенні алмазних коронок з комбінованою матрицею, показав, що найбільш перспективним полікристалічним надтвердим матеріалом, для підвищення роботоzдатності алмазних коронок при бурінні геологорозвідувальних свердловин у твердих породах є гібридайт.

4. Практично всі дослідники, що займалися вивченням конструкції алмазної бурової коронки і питаннями її зношування, приходили до необхідності визначення розподілу осьового навантаження, прикладеного до її робочої поверхні. Однак до теперішнього часу аналітичних досліджень з вивчення розподілу осьового навантаження та розробки моделі процесу зношування для бурових коронок з комбінованою матрицею не існує.

На основі сказаного вище сформульовано мету та завдання досліджень.

Мета дисертаційної роботи полягає у підвищенні роботоzдатності алмазних коронок при бурінні геологорозвідувальних свердловин шляхом створення комбі-

нованого (стирання і сколювання) характеру руйнування твердих гірських порід, за рахунок оснащення алмазозного торця інструмента елементами з надтвердого матеріалу гібридаїту.

Основними задачами досліджень є:

- Розробка нових та удосконалення наявних методик проведення досліджень процесу взаємодії породоруйнівного інструменту з гірською породою при обертовому бурінні.
- Розробка математичної моделі взаємодії поверхні комбінованої матриці алмазної коронки з гірською породою в процесі буріння геологорозвідувальних свердловин.
- Дослідження роботоздатності породоруйнівних вставок із надтвердих матеріалів та їх вплив на характер руйнування твердих гірських порід при обертовому бурінні.
- Дослідження впливу схеми оснащення робочого торця алмазних коронок з комбінованою матрицею вставками з гібридаїту на показники процесу буріння геологорозвідувальних свердловин.
- Розробка та виробничі випробування нової конструкції алмазної коронки з комбінованою матрицею при бурінні геологорозвідувальних свердловин у твердих гірських породах.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ ВЗАЄМОДІЇ ПОРОДОРУЙНІВНОГО ІНСТРУМЕНТУ З ГІРСЬКОЮ ПОРОДОЮ ПІД ЧАС БУРІННЯ

2.1 Методика випробувань породоруйнівних елементів бурової коронки при руйнуванні твердої гірської породи

Розроблена методика випробувань породоруйнівних елементів бурової коронки при руйнуванні твердої гірської породи дозволяє з високою точністю оцінити ефективність і роботоздатність породоруйнівних вставок при руйнуванні твердих гірських порід. На першому етапі досліджувалась роботоздатність зразків породоруйнівних вставок у вихідному стані після синтезу. На другому – після термічної обробки, для моделювання умов виготовлення бурового інструменту, а саме спікання алмазовмісної комбінованої матриці бурової коронки у захисному середовищі (середовище водню або інертного газу).

Термообробку проводили за розробленою в ІНМ і модифіковану для даних умов методикою [92].

Графітовий човник та тиглі для термообробки породоруйнівних вставок відпалювали при температурі $(800 \pm 20)^\circ\text{C}$ протягом (60 ± 1) хв. з подальшим охолодженням в печі (рис. 2.1) до кімнатної температури. Човник і тиглі після відпалу зберігаються в ексікаторі згідно з ГОСТ 25336-82.

Дослідні вставки викладали в окремий підготовлений тигель, який відповідно розміщувався у графітовий човник, і відправлялися на термообробку в піч.

Спочатку піч нагрівали до необхідної температури ($t_{\text{обр}} \pm 20^\circ\text{C}$). Потім включали подачу аргону в піч. Човник з дослідними вставками поміщали у кварцову трубку печі так, щоб він торкався термоелектричного термометра. Термообробку породоруйнівних вставок здійснювали при температурі $t = 1150^\circ\text{C}$ протягом 600 с. Охолоджували зразки разом з піччю в струмі аргону до температури 200°C .

Зазначений режим термообробки повністю відповідав умовам виготовлення інструменту.



Рисунок 2.1 – Піч лабораторна трубчаста марки СУОЛ 025 25/14

Випробування на роботоздатність проводились під час різання твердої гірської породи на спеціальному стенді, створеному на базі токарно-гвинторізного верстата моделі ДП-200 (рис. 2.2).

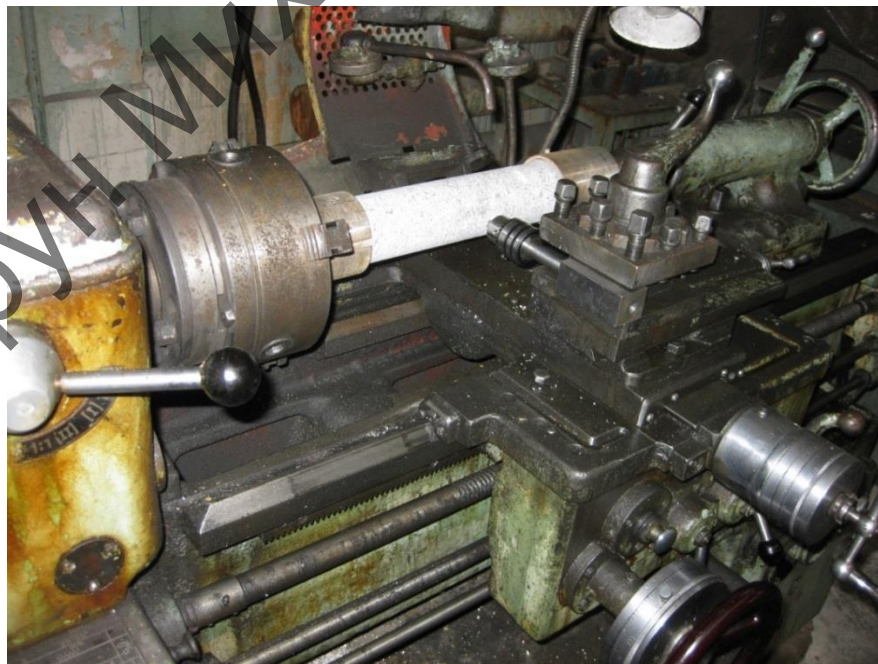


Рисунок 2.2 – Випробування на інтенсивність зношування на спеціальному стенді

При випробуваннях використовувалось спеціальне пристосування для закріплення керну гірської породи у вигляді розрізного циліндра та стакана (рис. 2.3), а також спеціальне пристосування для закріплення зразка породоруйнівної вставки, що досліджується, в різцетримачі верстата на основі свердлильного патрона (рис. 2.4).



Рисунок 2.3 – Спеціальне пристосування для закріплення керну



Рисунок 2.4 – Спеціальне пристосування для закріплення циліндричних породоруйнівних вставок

Зразок породоруйнівної вставки, що досліджувався, закріплювався в патроні спеціального пристосування та підводився до поверхні керна гірської породи, де й здійснювалося його поздовжнє різання із заданою величиною заглиблення. Система промивки виконана «відкрито» з використанням технічної води як охолоджувальної рідини.

Роботоздатність породоруйнівних вставок оцінювали за інтенсивністю зношування за масою.

У свою чергу, інтенсивність зношування за масою породоруйнівних вставок вимірювали на електронних вагах типу Sartorius, з точністю до 0,0001 г (рис 2.5).

Параметри режиму різання були такими: частота обертання – 355об/хв, глибина втискування – 1,0 мм. Швидкість різання (м/с) і шлях різання (м) розраховувались залежно від довжини керну гірської породи та часу різання (с).

Контрольованими параметрами служили глибина втискування (з точністю до 0,05 мм) і час різання (з точністю до 1 с).



Рисунок 2.5 – Електронні ваги типу Sartorius

Інтенсивність зношування за масою I (мг/км) визначалась як співвідношення втрати маси породоруйнівної вставки $\Delta m = m_{\text{п}} - m_{\text{к}}$ до величини проходки на елемент L , де $m_{\text{п}}$ та $m_{\text{к}}$ (мг) – маса зразка, відповідно до і після тестування

$$I = \frac{\Delta m}{L}, \quad (2.1)$$

де $L = \frac{\pi D n}{60} t$; (D – діаметр керну, м; n – частота обертання шпинделя станка, об/хв; t – тривалість різання, хв).

Оцінити вплив породоруйнівних вставок з матеріалу гібридайт і АКТМ на характер руйнування твердих гірських порід і їх ефективність шляхом вивчення розміру зернин шламу, що утворилися при руйнуванні породи цими вставками, можна за розробленою методикою [93].

Збір шламу проводився при дослідженні роботоздатності породоруйнівних вставок при різанні гірської породи за методикою, що наведена вище. Одержуваний шлам збирався разом з промивною рідиною в ємність, де надалі проходив процес осадження.

Перед розсівом матеріал промивали 10% розчином лугу (NaOH), а потім відмивали гарячою дистильованою водою і висушували у повітряному середовищі (рис 2.6).



Рисунок 2.6 – Зібраний і промитий шлам

Крупність матеріалу оцінювали ситовим методом (рис. 2.7), на наборі сит діаметром 120 мм з піддоном і кришкою, з сітками згідно ГОСТ 6613-86. Розмір вічка сит був підібраний від 200 до 40 мкм, що дозволяє отримання фракцій матеріалу від +200 до -40.

Набір сит з матеріалом для розсіву поміщався у вібраційну установку, закріплювався, і здійснювалося розсівання матеріалу протягом 10 ± 1 хв.

При розсвіві тонкого матеріалу шламу для усунення злипання вічок сит в кожне сито поміщали додатково 2 – 3 твердосплавні кульки розміром не більше 8 – 10 мм.

Матеріал шламу, що залишився після розсівання на ситах і в піддоні, починаючи з верхнього сита, послідовно виймали з сит і зважували.



Рисунок 2.7 – Сита для розсіву шлему

Масову частку кожної фракції оцінювали за формулою:

$$\gamma_{\phi} = \frac{M_{\phi}}{M} 100\%, \quad (2.2)$$

де γ_{ϕ} – зміст матеріалу окремої фракції (залишився на ситі), %; M_{ϕ} – маса матеріалу окремої фракції (залишився на ситі), г; M – маса всього матеріалу, що піддавався розсіву, м.

2.2 Методика проведення експериментальних досліджень роботоздатності бурових коронок з комбінованою матрицею при обертовому бурінні

Лабораторні дослідження проводилися на спеціальному стенді, що представляє собою модернізований радіально-свердлильний верстат моделі 2Н58 (рис. 2.8) з потужністю двигуна основного приводу 13 кВт, що додатково оснащений гідравлічною системою подачі і системою промивки свердловини.

Можливі види подачі бурового снаряда – ручна, механічна і гідравлічна. Гідравлічна система стенду призначена для плавного регулювання величини осьового навантаження на коронку і складається з пульта управління регулюванням

тиску в гідросистемі, шлангів високого тиску і виконавчого гідроциліндра, встановленого на свердильній голівці верстата.



Рисунок 2.8 – Радіально-свердильний верстат моделі 2H58

Пульт управління, оснащений одинарним лопатевим насосом типу Г-12-21А і регулятором тиску РД-4, який забезпечує плавне регулювання тиску в системі. Зміна тиску в системі дозволяє регулювати осьове навантаження на породоруйнівний інструмент в межах 0 – 40 кН.

Радіально-свердильний верстат 2H58 оснащений багатошвидкісним редуктором, який дозволяє ступінчасто регулювати частоту обертання від 35 до 1250 об/хв. Крім цього, верстат обладнаний редуктором, який забезпечує примусову механічну подачу шпинделя в діапазоні від 0,063 до 3,15 мм (дивись таблицю 2.1), що дозволяє проводити дослідження роботоздатності інструменту на пос-

тійних механічних швидкостях буріння при різних поєднаннях частоти обертання і осьової подачі, що забезпечує різну інтенсивність руйнування гірської породи.

Таблиця 2.1 – Механічна швидкість буріння (м/год), що досягається при різному сполученні частоти обертання інструменту і механічної подачі шпинделя верстата 2Н58

Заглиблення за оберт, мм	Частота обертання інструменту, об/хв							
	250	315	400	500	630	800	1000	1250
0,063	0,945	1,19	1,512	1,890	2,380	3,024	3,780	4,725
0,08	1,200	1,512	1,920	2,400	3,024	3,840	4,800	6,000
0,100	1,500	1,89	2,400	3,000	3,78	4,800	6,000	7,500
0,125	1,875	2,362	3,000	3,750	4,725	6,000	7,500	9,375
0,160	2,400	3,024	3,840	4,800	6,048	7,680	9,600	12,00

Для вимірювання та реєстрації з необхідною точністю параметрів, що характеризують процес буріння, установка оснащена такою вимірювальною та реєструючою апаратурою: ватметром Н-395, двокомпонентним динамометром, тензопідсилювачем УТ4-1, шлейфовим осцилографом Н-117.

Для виключення впливу коливання в електричній мережі в ланцюг живлення приладів був включений стабілізатор напруги.

Самописний ватметр дозволяє візуально спостерігати і проводити запис на паперову стрічку діаграму величини витрат потужності, що витрачається верстатом при бурінні гірських порід породоруйнівним інструментом впродовж всього часу проведення експерименту.

Двокомпонентний динамометр призначений для визначення осьового навантаження і крутного моменту, переданих породоруйнівним інструментом на гірську породу, при використанні фіксованої механічної подачі інструменту на вибір свердловини. При невеликих габаритах динамометр має достатню стійкість

і жорсткість, що дозволяє заміряти крутний момент і осьове зусилля в широких межах та з великою точністю.

Принцип роботи двокомпонентного динамометра заснований на перетворенні пружної деформації робочих елементів на електричний сигнал за допомогою зміни електричного опору тензодатчиків. Тензодатчики БКП-10 опором 100 Ом наклеєні на робочий елемент динамометра за симетрично-мостовою схемою.

Електрична схема динамометра забезпечує стабільну точність вимірювання величин осьового зусилля й крутного моменту і має високу чутливість. Схема врівноваження в електричній схемі являє собою тензометричний міст, де порівнюються опір працюючих (деформованих) і компенсаційних тензодатчиків, які включаються на суміжні плечі вимірювального моста.

Отримана при навантаженнях на робочий елемент різниця струму у вимірювальній діагоналі при розбалансуванні моста подається на тензометричний підсилювач УТ4-1. Після посилення отриманої величини електричного сигналу проводиться реєстрація його за допомогою шлейфового осцилографа Н-117 на фотопапір УФ-67 зі швидкістю протяжки від 5 до 20 м/с.

Система промивки виконана «відкритою» з використанням технічної води як промивної рідини. Промивання з магістрального водопроводу подається на вибій через спеціальну сальникову муфту на буровому снаряді, що забезпечує безперебійне надходження рідини на вибій свердловини на всіх режимах роботи установки. Плавне регулювання витрат промивної рідини здійснюється в межах від 1 до 50 л/хв.

Фіксуються параметри:

- осьове навантаження з точністю 0,05 кН;
- потужність споживаної енергії з точністю до 0,1 кВт;
- заглиблення при бурінні з точністю до 1 мм;
- час буріння з точністю до 0,1 с.

Еталонною гірською породою для випробувань роботоздатності інструменту з комбінованою матрицею обраний коростишівський граніт Х категорії за бу-

римістю, що характеризується стабільними властивостями, високою твердістю і відносно високою абразивністю.

Граніт біотитовий порфіроподібний. Вкраплення польового шпату мають ізометричну або подовжену призматичну форму. Основна маса породи середньозерниста, мікроструктура її гіпідіоморфіозерниста.

Основні фізико-механічні властивості граніту:

- твердість за штампом $P_{ш} = 4500$ МПа;
- абразивність – 45 мг;
- об'єднаний показник за буримістю $\rho_m = 34,2 - 51,2$.

Мінералогічний склад: польовий шпат – до 55%; кварц – 25%; біотит – 20%. Вкраплення польового шпату представлені у вигляді майже ізометричних або витягнутого зерна розміром від 0,5 до 2–3 мм за довгою віссю або в поперечнику. Основна маса зернин польового шпату від 1,5 до 3 мм. Зерна з гіпідіоморфними обрисами. Польовий шпат становить 60 – 65% площі шліфу. Кварц представлений у вигляді зернин з ксероморфними обрисами і становить 20 – 25% площі петрографічного шліфу. Біотит представлений у вигляді гіпідіоморфних пластинчастих зернин розміром від 0,5 до 2 – 3 мм за довгою віссю.

Поряд з коростишівським гранітом еталонними гірськими породами можуть бути використані габро або пісковики, залежно від того, якими надтвердими матеріалами оснащена матриця інструмента.

Буріння в блоці гірської породи може здійснюватися на глибину до 0,5 м за одиничний прохід (рейс). Для кожного експериментального зразка бурової коронки загальна проходка складалася з чотирьох рейсів і в цілому складала 2 м, що забезпечило отримання достовірних даних про величину вагового зношування матриці коронки в цілому.

Абсолютне значення вагового зношування визначали за різницею показань маси коронки з точністю до 0,01 г до і після одиничного дослідження на вагах типу ОптиМакс ЛЕВ-600 (рис. 2.9).



Рисунок 2.9 – Електронні ваги типу ОптіМакс ЛЕВ-600

Інтенсивність зношування ω (г/м) визначали як відношення вагового зношування Δm (г) до проходки на інструмент L (м):

$$\omega = \frac{\Delta m}{L}. \quad (2.3)$$

Критерієм роботоздатності є досягнення максимально можливої продуктивності (механічної швидкості буріння) на кожному поєднанні параметрів режиму буріння при мінімальних для цього поєднаннях величин інтенсивності зношування інструменту (тобто максимально можливої проходки).

2.3 Удосконалена методика вивчення мікропрофілю поверхні вибою, сформованого при обертovому алмазному бурінні

Дана методика є модифікацією раніше розробленої в Інституті надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України (ІНМ) [41] і складена задля вивчення

впливу конструктивних параметрів алмазовмісної комбінованої матриці бурової коронки на ефективність руйнування твердих гірських порід.

Раніше розроблена методика вивчення мікропрофілю поверхні вибою, сформованого під час алмазного буріння, як показала практика її використання, мала декілька недоліків. По-перше, обладнання для графічного оцінювання результатів вимірювання параметрів шорсткості профілю були дуже громіздкими та застарілими. По-друге, програмне забезпечення, яке використовувалося для обчислення параметрів шорсткості, було недосконале та морально застаріле, що досить часто призводило до збоїв та помилок і, як наслідок, збільшувало час роботи всієї системи.

Удосконалена методика в загальному вигляді є такою. З підготовлених плит коростишівського граніту X категорії за буримістю товщиною 50 – 60 мм за допомогою спеціального приладу і вказаного вище бурового стану на базі радіально-свердлильного верстата 2Н58, вибурюють керни зі сформованим вибоєм в заданих режимах роботи породоруйнівного інструмента.

Спеціальний прилад дозволяє вибурювати зразки породи з мінімальним відхиленням від співвісності циліндричних поверхонь керну (допускається відхилення – 0,01 мм). Це гарантує концентричність ліній різання на вибої гірської породи, що забезпечує необхідну надалі високу точність одержуваних результатів математичного розрахунку профілю поверхні вибою. Під час експериментального буріння для отримання достовірної інформації про параметри мікропрофілю поверхні вибою проводиться миттєва зупинка обертання бурової колони з одночасним зняттям осьового навантаження, яке прикладається до інструменту. Біля оголених і виступаючих з матриці алмазів для формування профілю вибою проходка становила 10 – 20 мм. Далі отримані зразки кернів зі сформованим вибоєм, попередньо очищені від шламу, направляються для дослідження до системи вимірювання шорсткості мікропрофілю поверхні (рис. 2.10).

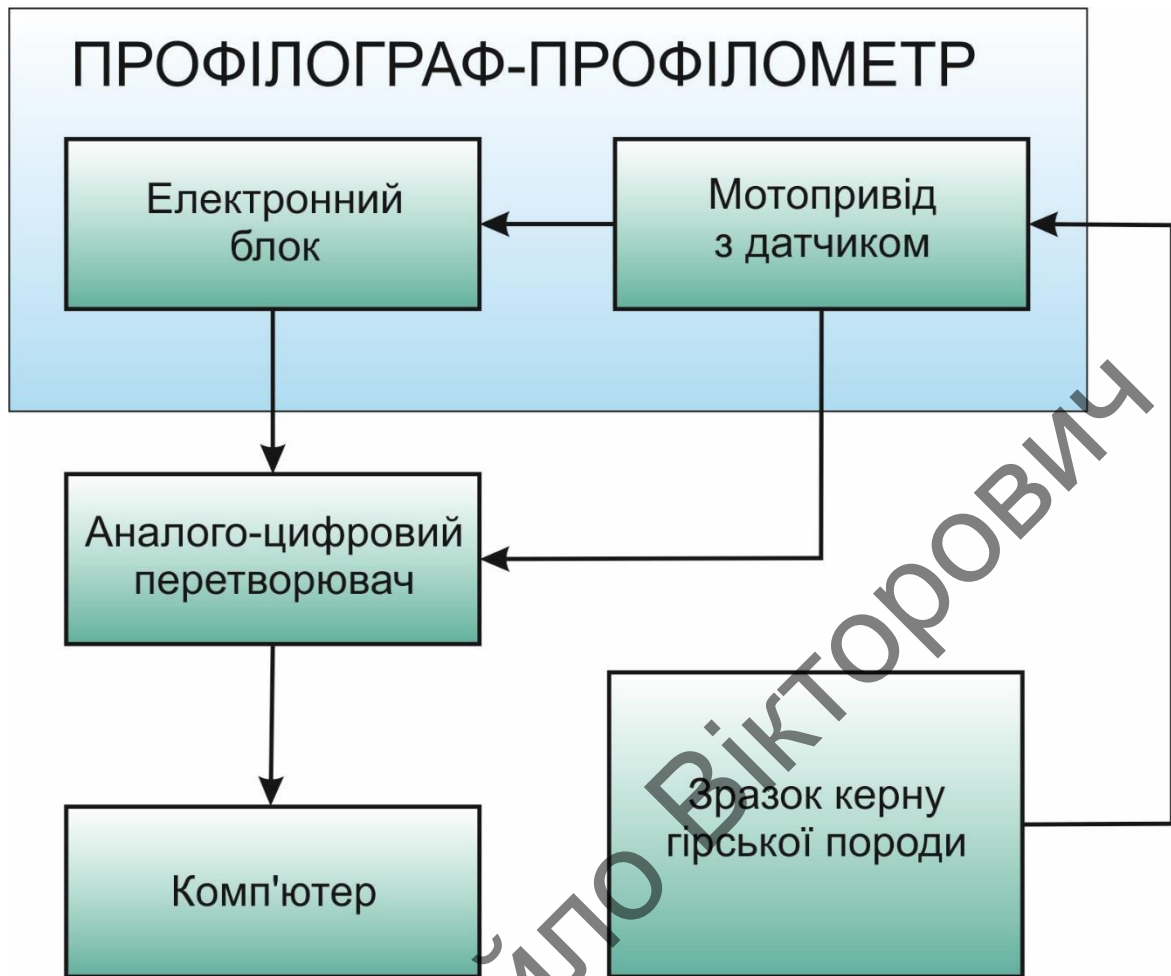


Рисунок 2.10 – Структурна схема вимірювання шорсткості мікропрофілю поверхні вибою гірської породи

Система вимірювання шорсткості мікропрофілю поверхні розроблена на базі профілографа-профілометра моделі 201 "Калібр", комп'ютера і аналого-цифрового перетворювача (АЦП). Для досліджень в системі використовується мотопривід, розроблений на базі механічного приводу реле часу типу ВС 10-34 з датчиком (спеціальний щуп з алмазною голкою) (рис. 2.11).



Рисунок 2.11 – Загальний вигляд процесу вимірювання параметрів шорсткості мікропрофілю поверхні вибою

Середній результат вимірів визначається за трьома трасами сканування (рис. 2.12).

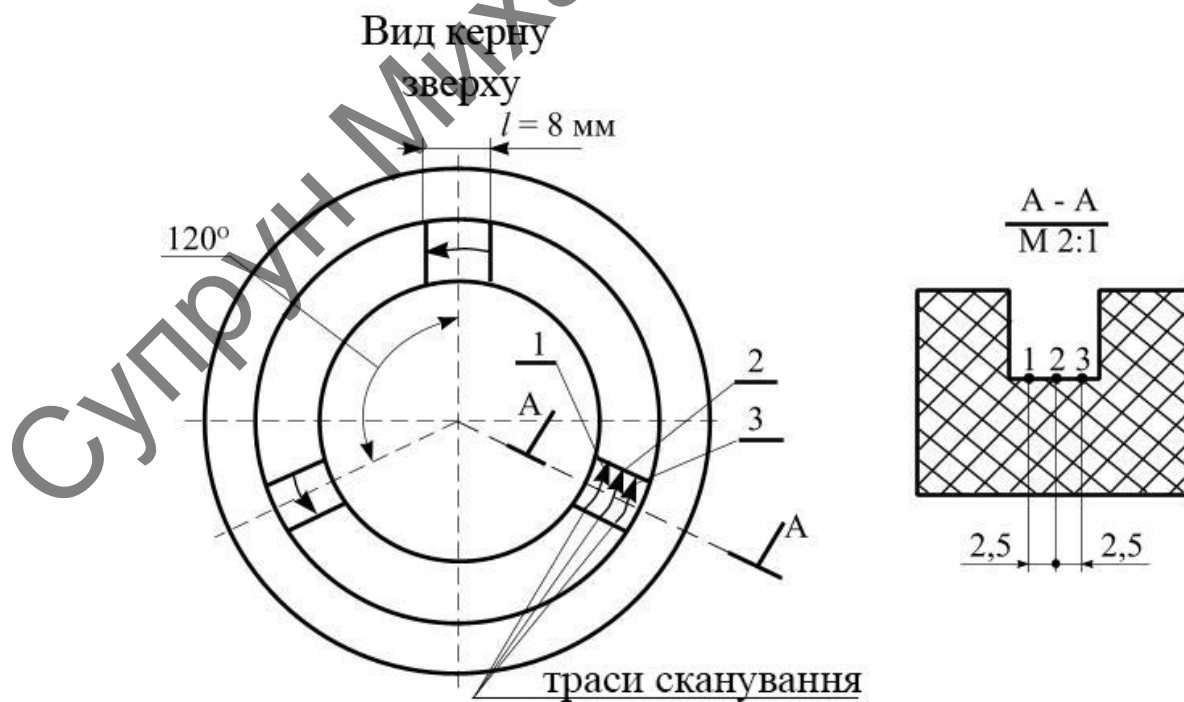


Рисунок 2.12 – Схема трас сканування вибою у керні гірської породи

Принцип роботи системи вимірювання шорсткості мікропрофілю поверхні полягає в такому. Диференціальний сигнал про профіль поверхні знімається з виходу самописця профілометра і через кабель подається на диференційний вхід АЦП, де обробляється на комп'ютері за допомогою спеціально розробленої програми розрахунку параметрів мікропрофілю поверхні – «WinSURF». За цією програмою можна вимірювати мікрогеометрію поверхні вибою дослідного зразка твердої гірської породи, розраховувати параметри її шорсткості, а отримані результати графічно (в режимі реального часу) відобразити на екрані монітора комп'ютера і виводити на принтер у вигляді протоколу (рис. 2.13).

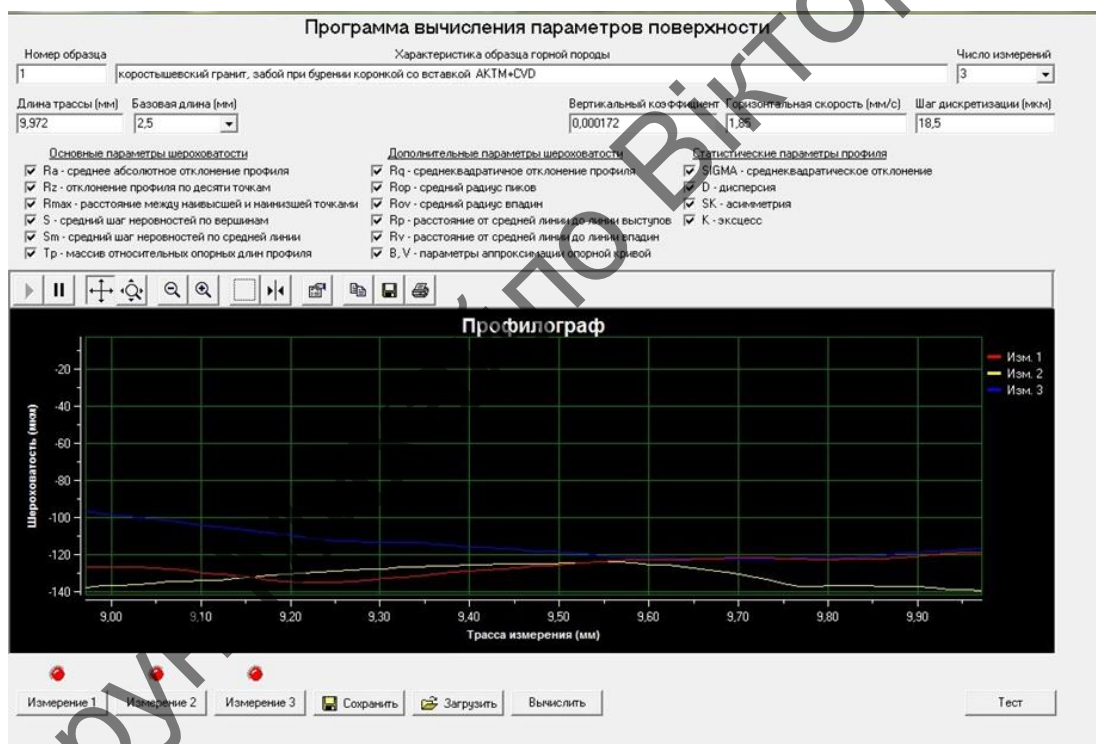


Рисунок 2.13 – Зовнішній вигляд меню програми обчислення параметрів шорсткості мікропрофілю поверхні вибою

Усі основні і додаткові висотні параметри шорсткості мікропрофілю поверхні вибою, а також статистичні параметри профілю розраховували згідно з ДСТУ 2413–94. Для оцінювання руйнуючої здатності дослідного бурового інструмента робилася вибірка результатів вимірювань таких параметрів мікропрофілю поверхні вибою (рис. 2.14):

- R_a – середнє абсолютне відхилення профілю, мкм;
- R_z – відхилення профілю за десятьма точками, мкм;
- R_{max} – відстань між вищою і нижчою точками профілограми, мкм;
- S_{mi} – середній крок нерівності за середньою лінією, мкм.

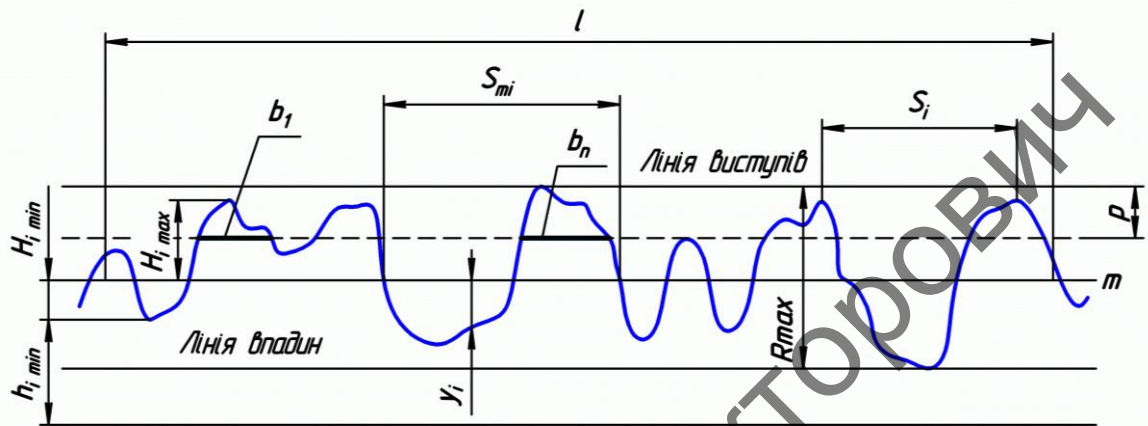


Рисунок 2.14 – Схема шорсткості мікропрофілю поверхні

2.4. Висновки до розділу

1. Наведені в цій главі методики експериментальних досліджень дозволяють з високою точністю оцінити ефективність породоруйнівних вставок та алмазного інструменту на їх основі при руйнуванні твердих гірських порід і якісно оцінити вплив конструктивних параметрів комбінованої матриці алмазної коронки на її роботоздатність у процесі обертового буріння.

2. Розроблена нова методика випробувань породоруйнівних елементів бурової коронки при руйнуванні твердої гірської породи, що дозволяє на стадії проектування породоруйнівного інструменту якісно визначитись з оснащенням алмазовмісного шару комбінованої матриці бурової коронки.

3. Удосконалена методика вивчення мікропрофілю поверхні вибою, сформованого в процесі обертового буріння, дозволяє з високою оперативністю і точністю оцінювати параметри зони та характер руйнування гірської породи, і видавати відповідні рекомендації щодо коригування конструктивних параметрів породоруйнівної частини бурової коронки.

РОЗДІЛ 3

АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ АЛМАЗНОЇ КОРОНКИ З КОМБІНОВАНОЮ МАТРИЦЕЮ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ БУРІННЯ

3.1. Оцінювання розподілу контактного тиску на робочій поверхні бурової коронки з комбінованою матрицею у процесі обертального буріння

Об'єктом комп'ютерного моделювання є бурова коронка (рис. 3.1, а).

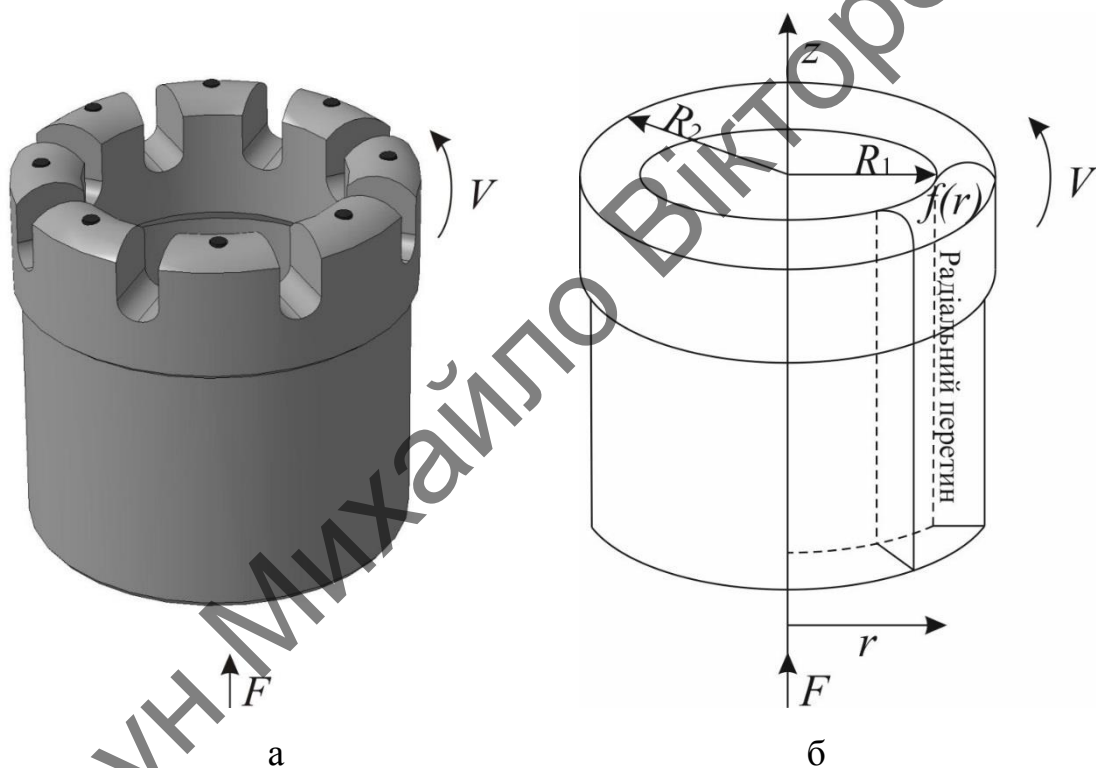


Рисунок 3.1 – Об'єкт (бурова коронка) і його вісесиметрична геометрична модель

Її геометрія є достатньо складною для теоретичного аналізу. Втім, беручи до уваги циклічну симетрію конструкції коронки за кутовою координатою та обертальний характер її роботи, слід очікувати, що залежність як розподілу тисків, так і зношування від кутової координати не буде значною. Це дозволяє як геометричну модель реальної коронки використати її вісесиметричний аналог (рис. 3.1, б), розміри якого взяті таким чином, щоб забезпечити "еквівалентність" моделі реальному об'єкту. Усереднена за кутовою координатою вісесиметрична модель реально

є двовимірною, що дає можливість обмежитись аналізом лише її радіального перетину площиною Orz . Вхідними параметрами моделі (величини, які відомі до початку аналізу і в ньому використовуються) є:

- початкова геометрія коронки, а саме внутрішній R_1 та зовнішній R_2 радіуси (на рис 3.1, б), а також форма профілю робочого шару коронки в початковий момент часу $t = 0$: $f(r, 0)$ для $R_1 \leq r \leq R_2$;
- сумарна осьова сила F_z , що прикладена до коронки, та коефіцієнт тертя K_f , який характеризує взаємодію коронки з породою і породжує окружну силу (опір обертанню), яка власне і виконує роботу руйнування;
- кутова швидкість обертання коронки ω , за якою обчислюється лінійна швидкість переміщення матеріальних точок робочої поверхні коронки $V=2\pi r\omega$.

Вважається відомим також диференціальний закон зношування робочої поверхні під дією нормального тиску σ_n : $\dot{w} = K\sigma_n V$, де K – коефіцієнт зношування, що дорівнює $K=K_1$ для композиційного алмазовмісного матеріалу (КАМ), $K=K_2$ для вставки гібридаїту. Показники коефіцієнтів K_1 , K_2 визначаються лише експериментальним шляхом для конкретної гірської породи.

Вихідними параметрами моделі є ефективний коефіцієнт зношування $K=K_{eff}(r)$ робочого шару коронки залежно від способу його армування породоруйнівними вставками з гібридаїту або з алмазного композиційного термостійкого матеріалу, а також профіль робочої поверхні коронки у кожний момент часу: $f(r, t)$, $t > 0$. *De facto*, треба підібрати модельний матеріал з $K=K_{eff}(r)$, який би мав таку ж швидкість зношування і результуючий профіль в кожен момент часу t , що і реальна коронка.

Математична постановка задачі визначення розподілу контактного тиску на робочій поверхні бурової коронки включає геометричну модель і її скінчено-елементний аналог (рис. 3.2), при цьому профіль коронки не накладає жодних обмежень на вирішення завдання. Для простоти завдання розглядається у вісесиметричній постановці; перехід до тривимірної моделі не вносить принципових змін в алгоритм і пов'язаний лише зі збільшенням обсягу обчислень.

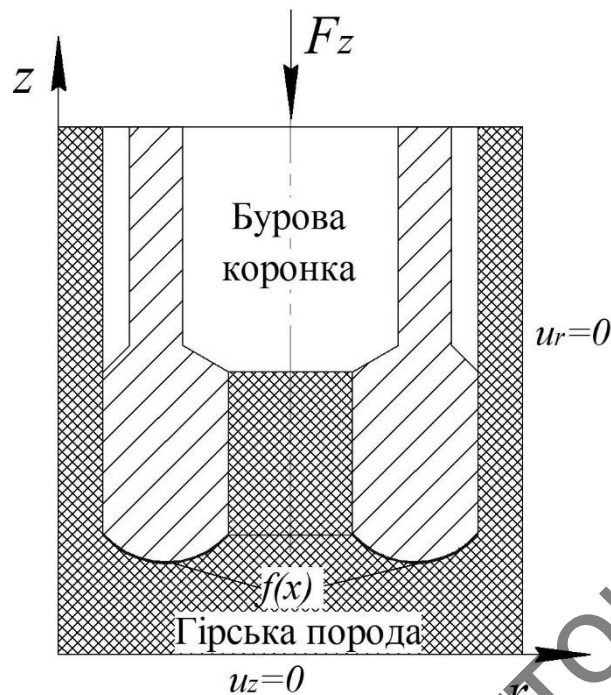


Рисунок 3.2 – Геометрична та скінчено-елементна модель

Скінчено-елементна модель бурової коронки включає:

- а) вісесиметричну (усереднену за кутовою координатою) геометричну модель, наведену на рис. 3.1;
- б) рівняння лінійно-пружної рівноваги, як для коронки, так і для масиву породи, з відповідними пружними модулями:

$$\nabla \cdot \boldsymbol{\sigma} = 0, \quad \boldsymbol{\sigma} = \mathbf{C} \cdot \boldsymbol{\varepsilon}, \quad \boldsymbol{\varepsilon} = \frac{1}{2}(\nabla \mathbf{u} + \nabla \mathbf{u}^T), \quad (3.1)$$

де $\boldsymbol{\sigma}$ – тензор напруження; $\boldsymbol{\varepsilon}$ – тензор деформації; \mathbf{u} – тензор переміщення;

- в) умови навантаження і закріплення, що відповідають реальному процесу та визначаються вхідними параметрами моделі

$$\mathbf{u} \rightarrow 0, \quad \int_{S_{bi}} \sigma_{zz} ds = F_z. \quad (3.2)$$

Тут F_z – осьова сила (навантаження), що діє на інструмент;

- г) контактні умови на межі «інструмент – порода».

У загальному випадку, ці умови залежать від ряду факторів (мікрогеометрії та оснащеності робочої поверхні коронки, твердості та абразивності породи, наявності та інтенсивності промивки тощо) і можуть корегуватися з їх

урахуванням. У даній роботі, контактні умови прийнято, відповідно до загальної практики, у вигляді закону Кулона-Мора:

$$\begin{aligned} [\mathbf{u}_n]_{S_{cont}} &= [(\mathbf{u} \cdot \mathbf{n})]_{S_{cont}} = 0; \\ \mathbf{u}_T &= \mathbf{u} - (\mathbf{u} \cdot \mathbf{n})\mathbf{n} = 0, \quad \sigma_T < K_f \sigma_n, \\ \|\mathbf{u}_T\| &> 0, \quad \sigma_T = K_f \sigma_n; \end{aligned} \quad (3.3)$$

де K_f – коефіцієнт тертя.

Загальний підхід до числової реалізації скінчено-елементного алгоритму викладено в [94]. Тут наведено лише мінімальну необхідну інформацію для застосування до задач розглянутого класу. Так, для дискретизації просторової області використовуються ізопараметричні скінченні елементи. Як базисні використовуються функції $N_k(\vec{r})$, лінійні на кожній координаті. Обчислення об'ємних і поверхневих інтегралів виконується згідно з квадратурними формулами Гауса із трьома вузлами інтегрування на кожній змінній. Розв'язання отриманих систем лінійних алгебраїчних рівнянь здійснюється методом Краута (якщо матриця системи симетрична й позитивно визначена) або методом Гауса з вибором головного елемента у випадку несиметричної матриці.

Як уже зазначалося, істотне ускладнення розглянутих у даній роботі задач зумовлено наявністю контактних граничних умов, які вносять істотну нелінійність й визначають необхідність застосування ітераційних процедур. Для виконання умов контакту ми використовуємо підхід, аналогічний викладеному в [95]. При цьому припускається, поряд з малістю деформацій, малість взаємного переміщення контактуючих поверхонь, що відповідає специфіці даного класу задач і при цьому значно спрощує числові алгоритми і зменшує обсяг обчислень. З огляду на те, що в розглянутій проблемі взаємодії бурового інструмента й породи деформація останньої багаторазово перевищує деформацію інструмента, цілком можливо обмежитися розглядом випадку жорсткого контакту, вважаючи робочу поверхню інструмента такою, що не деформується. Це дозволяє звести контактні граничні умови для нормальних переміщень до кінематичних (умов

першого роду), тоді як для дотичних напружень необхідно виконати умови кулонівського контактного тертя.

Для побудови алгоритму виконання контактних умов використовується варіаційний принцип. Для цього в кожній точці поверхні породи, що може ввійти в контакт із поверхнею інструмента, визначимо міру перекриття h й міру відносного зсуву S_i . Ці кінематичні параметри, разом з методом множників Лагранжа, використовуються для запису умов контакту й тертя. Так, перекриття h в напрямку нормалі до поверхні контакту \mathbf{n} точки \mathbf{x}_{N+1} і поверхні $\mathbf{P}(\xi)$, визначається вектором $(\mathbf{p} - \mathbf{x}_{N+1})$, заданим умовами

$$h \mathbf{n} = (\mathbf{p}(\xi) - \mathbf{x}_{N+1}), \quad \mathbf{v} \cdot (\mathbf{p}(\xi) - \mathbf{x}_{N+1}) = 0. \quad (3.4)$$

Якщо для даної точки $h < 0$, це означає відсутність контакту між поверхнями. Якщо $h \geq 0$, поверхні в контакті й необхідно задовольнити умову $h = 0$. З цією метою вводиться множник Лагранжа \tilde{p} , що має фізичний зміст контактної тиску в цій точці. Для виконання умов контакту, необхідно знайти δh . Аналогічно, для виконання умов тертя контактуючих поверхонь, необхідні також δs_i і $d\delta s_i$.

Оскільки при зроблених вище припущеннях еволюція контактної поверхні повністю визначається кінематикою інструмента, можемо записати такі співвідношення між координатами точок поверхні \mathbf{X}_0 до деформації й координатами деякої "опорної" точки твердого тіла \mathbf{X}_{rs} як $\mathbf{X}_0 = \mathbf{X}_{rs} + \mathbf{R}$. Припускаючи, що рух точки \mathbf{X}_{rs} заданий векторами переміщень \mathbf{u}_{rs} і обертання $\phi_{rs} \mathbf{e}_z$, поточні координати точки поверхні дорівнюють

$$\mathbf{x}_0 = \mathbf{X}_{rs} + \mathbf{u}_{rs} + \mathbf{C}(\phi_{rs} \mathbf{e}_z) \cdot \mathbf{R} = \mathbf{x}_{rs} + \mathbf{r}. \quad (3.5)$$

Тут \mathbf{C} – ортогональна матриця повороту, яка використовується також для визначення векторів, нормального й дотичного до поверхні:

$$\mathbf{t} = \mathbf{C}(\phi_{rs} \mathbf{e}_z) \mathbf{t}_0, \quad \mathbf{n} = \mathbf{C}(\phi_{rs} \mathbf{e}_z) \mathbf{n}_0, \quad (3.6)$$

де \mathbf{t}_0 й \mathbf{n}_0 – їхні початкові значення в точці \mathbf{X}_0 . Відповідна вузловій точці поверхні породи n_{N+1} точка на поверхні інструмента є $\mathbf{p}(\xi) = \mathbf{x}_0 + \xi \mathbf{t}$. Лінеаризація рівнянь (3.5) та (3.6) дає такі значення перших диференціалів координат і дотичного до поверхні вектору

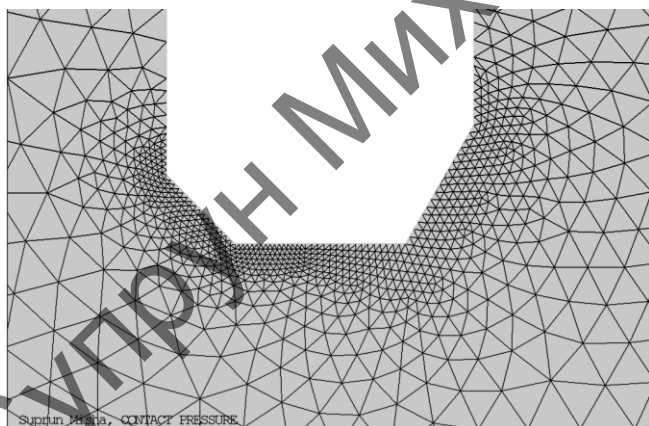
$$\delta \mathbf{x}_0 = \delta \mathbf{u}_{rs} + (r_x \mathbf{e}_y - r_y \mathbf{e}_x) \delta \phi_{rs}, \quad \delta \mathbf{t} = (t_x \mathbf{e}_y - t_y \mathbf{e}_x) \delta \phi_{rs}. \quad (3.7)$$

З урахуванням $\mathbf{t} \cdot \delta \mathbf{t} = 0$ одержуємо такі вирази для δh і δs :

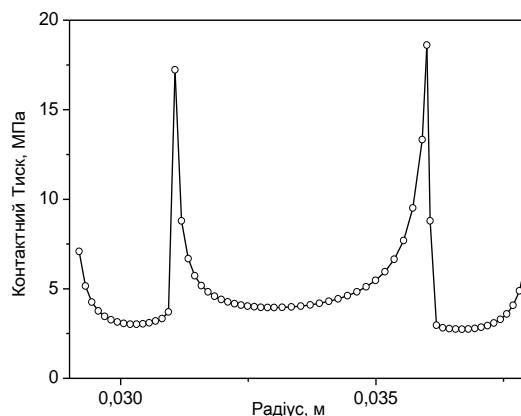
$$\begin{aligned} \delta h &= -\mathbf{n} \cdot [\delta \mathbf{u}_{N+1} - \delta \mathbf{u}_{rs} + ((r_y + \xi t_y) \mathbf{e}_x - (r_x + \xi t_x) \mathbf{e}_y) \delta \phi_{rs}], \\ \delta s &\stackrel{def}{=} \delta \xi = \mathbf{t} \cdot [\delta \mathbf{u}_{N+1} - \delta \mathbf{u}_{rs} - (r_x \mathbf{e}_y - r_y \mathbf{e}_x) \delta \phi_{rs}]. \end{aligned} \quad (3.8)$$

Інша частина алгоритму, а саме одержання слабкої форми рівнянь рівноваги, їхнього скінчено-елементного аналогу й вибір матриці жорсткості для прискорення збіжності ітераційної процедури розв'язку цілком аналогічна викладеному в [95].

Наведемо деякі типові результати розрахунку, згідно з FORTRAN-програмою (Додаток А), радіального розподілу контактної тиску на робочій поверхні бурових коронок з різним радіальним профілем [96]. Для конкретності і забезпечення порівнянності результатів, тут і у подальших розрахунках використовуються одні і ті ж значення параметрів, а саме $R_2 = 38$ мм і $R_1 = 29$ мм, що відповідають стандартному типорозміру коронки діаметром 76 мм, осьове навантаження $F_z = 10$ кН. Так, на рис. 3.3, *а* наведено геометрію і скінчено-елементну сітку розрахункової моделі бурової коронки з кусково-лінійним профілем.



а



б

Рисунок 3.3 – Кусково-лінійний профіль бурової коронки (*а*) і розподіл нормального тиску (*б*)

На рис 3.3, *б* показано розподіл за радіусом нормального тиску: ці і подальші розрахункові дані відповідають сумарному осьовому навантаженню $F_z = 10$ кН.

Такий розподіл є очікуваним з точки зору контактної механіки: "кутові" точки перелому профілю є значними концентраторами напружень, а отже і зонами інтенсивного зношування.

Профіль коронки з усіченою півсферою (рис. 3.4, *a*) забезпечує значно рівномірніший розподіл нормального тиску (рис 3.4, *б*), за винятком зовнішньої і, особливо, внутрішньої поверхні коронки, де профіль також має кутову точку.

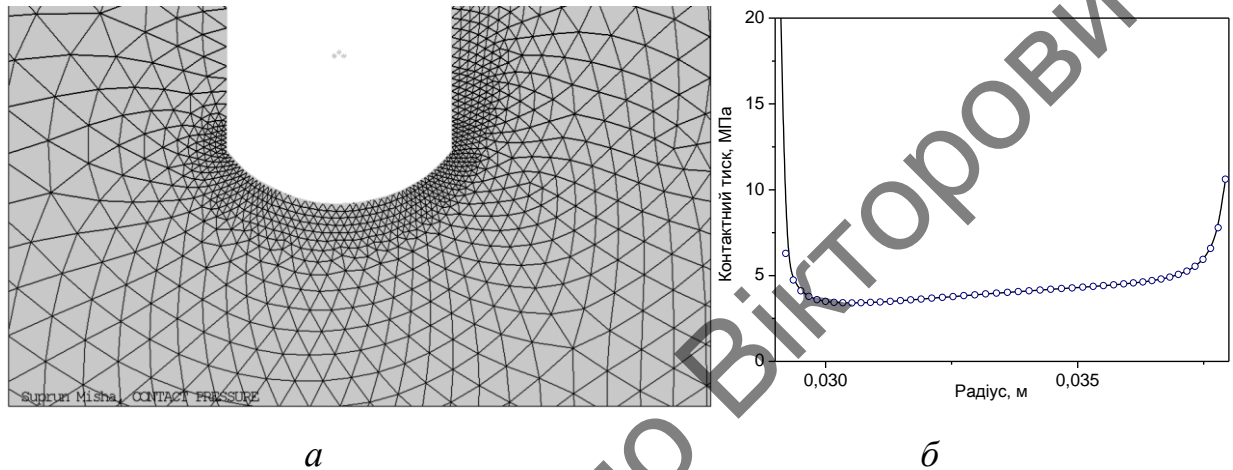


Рисунок 3.4 – Профіль бурової коронки з усіченою півсферою (*a*) і розподіл нормального тиску (*б*)

Навпаки, у випадку, коли у коронки півсферичний профіль, максимальні напруження досягаються у середній частині профілю, де і варто сподіватись його переважного зношування (рис. 3.5).

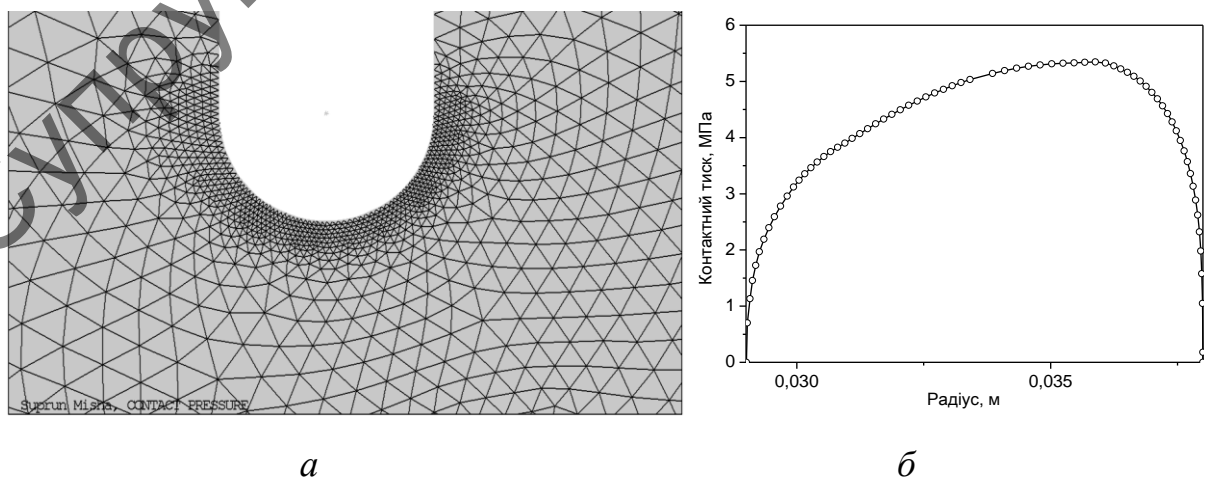


Рисунок 3.5 – Півсферичний профіль бурової коронки (*a*) і розподіл нормального тиску (*б*)

На рис. 3.6 подано розподіл тиску для випадку плаского профілю коронки із закругленими кутами (радіусом 1 і 2 мм). Розрахунок показує наявність концентрації напружень в околі кутових точок, у повній відповідності з теоретичними уявленнями та дослідними даними [86 – 91] щодо особливостей руйнування породи в кутових зонах вибою свердловини. Збільшення радіусу закруглення (яке може бути інтерпретоване як "затуплення" внаслідок зношування) призводить до поступового вирівнювання тиску на радіусі коронки.

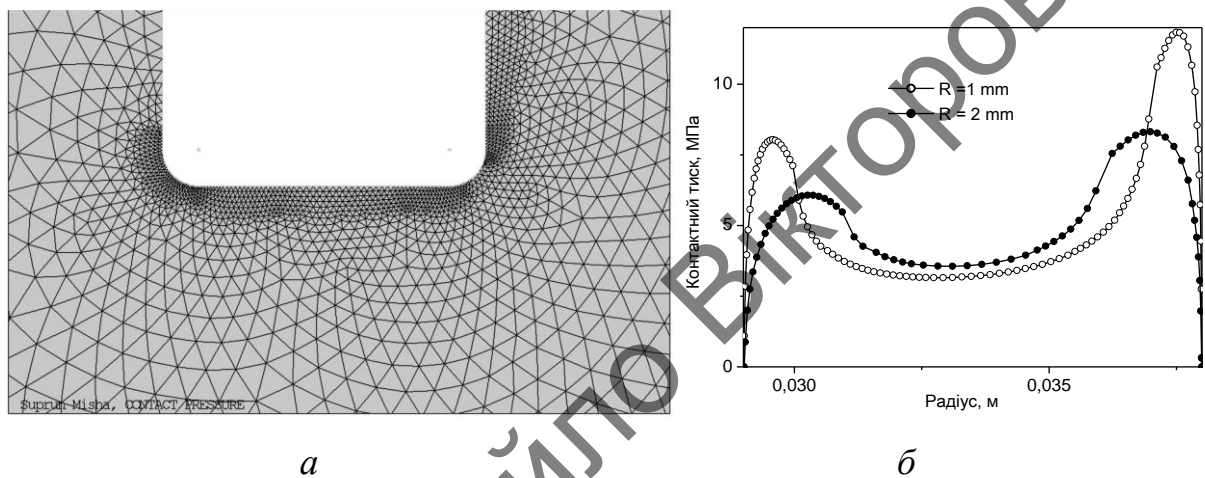


Рисунок 3.6 – Плаский профіль бурової коронки з закругленими кутами (а) і розподіл нормального тиску (б)

Згідно отриманих результатів розрахунку радіального розподілу контактної тиску на робочій поверхні бурових коронок з різним радіальним профілем встановлено, що найбільш рівномірний розподіл нормального тиску забезпечує профіль коронки з усіченою півсферою. Тому при моделюванні еволюції робочого профілю алмазної коронки з комбінованою матрицею при обертovому бурінні і подальшої розробки конструкції інструмента доцільно використовувати профіль алмазної комбінованої матриці у вигляді усіченої півсфери.

Попри специфіку кожної з розглянутих геометрій профілю коронки, загальний висновок з даного дослідження є цілком очевидним і обґрунтованим, а саме: запропонована модель прогнозує максимальну концентрацію нормального напруження (тиску) саме в тій зоні профілю робочого торця коронки, де, на підставі наявного досвіду, слід очікувати найбільш інтенсивного зношування робочого

шару, що підтверджується проведеними лабораторними дослідженнями [97]. Це доводить, як мінімум, правдоподібність моделі і можливість її застосування при прогнозуванні характеру і інтенсивності зношування бурових коронок.

3.2 Моделювання еволюції робочого профілю алмазної коронки з комбінованою матрицею при обертовому бурінні

Як відомо, найважливішим конструктивним геометричним параметром алмазної бурової коронки є профіль робочої поверхні.

Наразі вельми важко зберегти задану форму профілю робочого торця до повного відпрацювання бурової коронки без додаткового оснащення матриці армуючими породоруйнівними вставками. Тому головною метою на сьогоднішній день є більш точно змоделювати зношування і зміну форми робочої поверхні бурової коронки для того, щоб можна було визначити найбільш вразливі місця на робочому торці матриці.

В останні десятиліття запропоновано значну кількість рівнянь зношення, що базуються на концепціях механіки руйнування. Ці рівняння включають характеристики втомної міцності матеріалів [42], граничні напруження крихкого руйнування [98], критичні значення енергії абсорбції [99] і т.д. Ці теорії значно розширюють кількість параметрів, які впливають на зношування, включаючи параметри, що характеризують властивості матеріалів. У таблиці 3.1 наведено рівняння зношування, отримані при вивченні різних механізмів зношування [100].

Таблиця 3.1 – Рівняння зношування, отримані при вивченні різних механізмів зношування

Автор	Рівняння	Фізичний механізм
Хольм (1946) [101] Арчард (1953) [102]	$\frac{\partial w_*}{\partial t} = K \frac{pV}{H}$	Адгезійний
Крагельський (1968) [42]	$\frac{\partial w_*}{\partial t} = K p^\alpha V (\alpha > 1)$	Втомний
Рабинович (1965) [103]	$\frac{\partial w_*}{\partial t} = K \frac{pV}{H}$	Абразивний, фреттинг

У цій таблиці 3.1 H означає твердість матеріалу, а коефіцієнт K має певне значення для кожного конкретного механізму зношування і моделі, використаної для його вивчення. Як випливає з наведених рівнянь, основними зовнішніми характеристиками, що впливають на швидкість зношування, є контактний тиск p і відносна швидкість ковзання V .

Аналіз великої кількості рівнянь зношування, отриманих як теоретично, так і на підставі обробки результатів трибологічних випробувань на зношування, показує, що у багатьох випадках залежність швидкості зношування від тиску і швидкості ковзання може бути представлено у вигляді $\frac{\partial w_*}{\partial t} = K_w p^{\alpha} V^{\beta}$, де параметри K_w , α , β є функціями не лише матеріалу, що зношується, а усього процесу контактної взаємодії. Щодо теоретичних постановок контактних задач для зношення, див. напр. [100].

Надалі ми обмежимося законом зношування у формі $w = K \sigma_n V$. Вектор нормального навантаження $\mathbf{T}_n = \sigma_n \mathbf{n} + \tau_{n\varphi} \mathbf{e}_{\varphi} + \tau_{nk} \mathbf{k}$, де \mathbf{n} і \mathbf{k} – нормальний і дотичний, відповідно, одиничні вектори в площині Orz , див рис. 3.7.

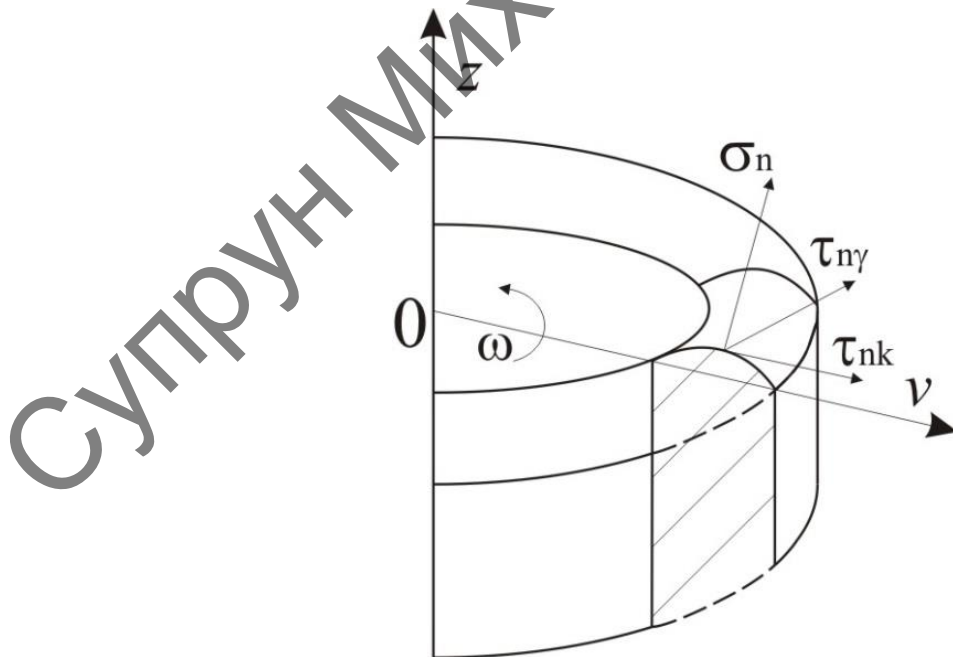


Рисунок 3.7 – Вектор нормального навантаження на робочій поверхні коронки

Робота руйнування виконується силою $\tau_{n\varphi}$, яка пов'язана з нормальним тиском σ_n законом типу Кулона: $\tau_{n\varphi} = K_p \sigma_n$, $K_p = 0.2 \div 0.5$ згідно [91]. Нормальна компонента вектора \mathbf{T}_n , $\sigma_n = \sigma_n(r, f(r))$ в загальному випадку має бути визначена шляхом розв'язання контактної задачі "коронка – вибій гірської породи".

Швидкість нормального зношування $\dot{w} = \partial w / \partial t$: для близьких моментів часу t_1 і t_2 , $\dot{w} = \Delta w / \Delta t = (w(t_2) - w(t_1)) / (t_2 - t_1)$. Вважаючи величину $\dot{w}(t_1)$ відомою, тоді приріст зношування буде $\Delta w \approx \dot{w}(t_1) / \Delta t$. Тоді закон еволюції поверхні (рис. 3.8) від t_1 до t_2 (і алгоритм розрахунку) є таким:

$$f(r, t + \Delta t) - f(r, t) = \Delta w / \cos \varphi = K_{eff}(r) \sigma_n(r, t) \omega r \sqrt{1 + [f'(r, t)]^2} \Delta t, \quad (3.9)$$

або

$$\frac{\partial f(r, t)}{\partial t} = \Delta w / \cos \varphi = K_{eff}(r) \sigma_n(r, t) \omega r \sqrt{1 + \left[\frac{\partial f(r, t)}{\partial r} \right]^2}. \quad (3.10)$$

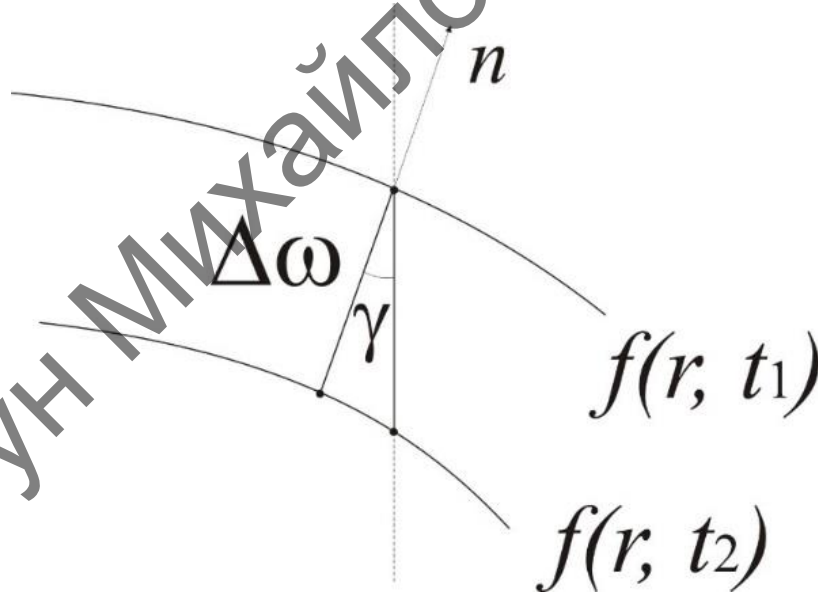


Рисунок 3.8 – Еволюція поверхні, що зношується

З урахуванням сказаного, еволюція профілю модельної коронки описується диференціальним рівнянням:

$$\frac{\partial f(r, t)}{\partial t} = K_{eff}(r) \sigma_{neff}(r, t) \omega r \sqrt{1 + \left[\frac{\partial f(r, t)}{\partial r} \right]^2}. \quad (3.11)$$

Єдиним параметром у рівнянні (3.11), який потребує визначення, є ефективний нормальний тиск $\sigma_{n\text{eff}}(r,t)$. Традиційно вживана оцінка $\sigma_n = \frac{F}{S} \cos \varphi$ не є адекватною, оскільки не враховує контактний характер взаємодії коронки з породою. Так, для початкового профілю $f(r,0) = \text{const}$, $\sigma_n = \frac{F}{S} = \text{const}$ і $\frac{\partial f(r,t)}{\partial r} = 0$. Припускаючи $K_{\text{eff}}(r) = \text{const}$, маємо $\frac{\partial f}{\partial r} = Cr$, звідки $f(r,t) = Crt + C_0$, тобто зношування мало б давати плаский похилий профіль, наведений на рис. 3.9, а, що не відповідає дійсності.

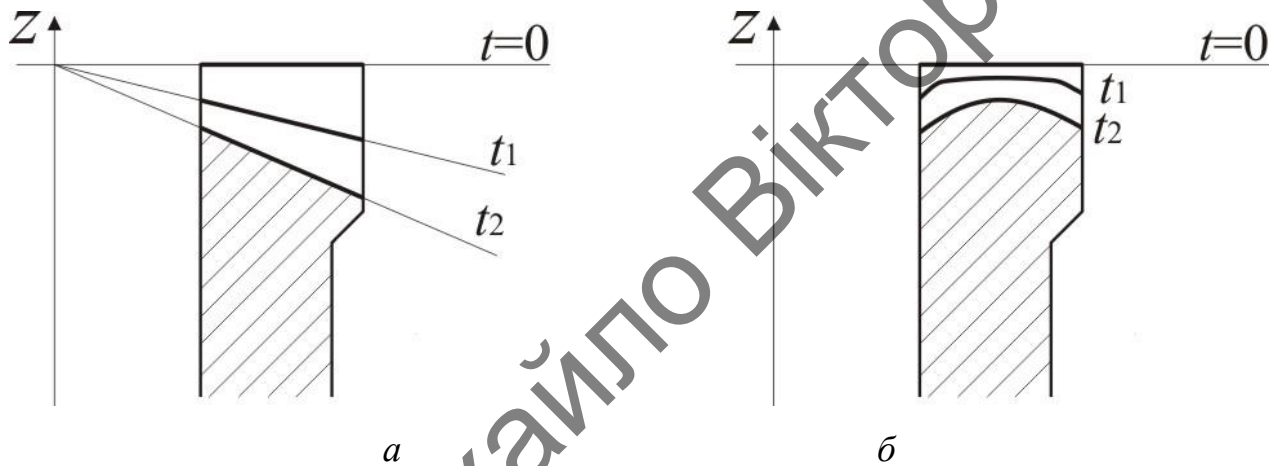


Рисунок 3.9 – Еволюція профілю бурової коронки: а – без урахування взаємодії коронки з породою; б – з урахуванням взаємодії коронки з породою

Більш реалістичним уявляється профіль, показаний на рис. 3.9, б, для якого характерне підвищення зношування периферійних ділянок $r \rightarrow R_1$ і $r \rightarrow R_2$. У межах прийнятої моделі зношування його чинником може бути лише підвищений тиск на цих ділянках, що цілком узгоджується (принаймні якісно) з характером розподілу тиску при контактній взаємодії штампу з породою. В [94] показано, що числовий метод механіки контактної взаємодії дає задовільний прогноз характеру зношування бурових доліт, тому є підстави вважати, що і для бурових коронки вказаний підхід має бути продуктивним. Надалі використовується числовий метод, який забезпечує аналіз модельної крайової задачі у реалістичній постановці як стосовно геометрії, так і щодо властивостей матеріалів. Як показано у попере-

дньому підрозділі, метод скінчених елементів (МСЕ) забезпечує визначення $\sigma_n(r, t)$ для довільного профілю бурової коронки.

Числовий алгоритм прогнозування еволюції форми поверхні використовує скінчено-елементну дискретизацію за $R_1 \leq r_n \leq R_2$ та скінчено-різницеву дискретизацію за часом $0 \leq t \leq t_1$ з кроком dt (для простоти – постійним). Тоді, для кожного дискретного моменту часу $t_m = mdt$ маємо співвідношення

$$\begin{aligned} \frac{\partial f(r_n, t_m)}{\partial r} &\approx \frac{f(r_{n+1}, t_m) - f(r_{n-1}, t_m)}{2\Delta r}, \quad 1 \leq n \leq N-1, \\ \frac{\partial f(r_0, t_m)}{\partial r} &\approx \frac{f(r_1, t_m) - f(r_0, t_m)}{\Delta r}, \quad \frac{\partial f(r_N, t_m)}{\partial r} \approx \frac{f(r_N, t_m) - f(r_{N-1}, t_m)}{\Delta r}. \end{aligned} \quad (3.12)$$

З іншого боку, для кожної фіксованої точки поверхні $r_n = R_1 + n dr$, явну скінчено-різницеву схему Ейлера за часом записано як

$$\frac{\partial f(r_n, t_m)}{\partial t} \approx \frac{f(r_n, t_{m+1}) - f(r_n, t_m)}{\Delta t}. \quad (3.13)$$

Таким чином, числовий алгоритм прогнозування еволюції зношування профілю бурової коронки є таким [104]:

I. Ефективний коефіцієнт зношування $K_{eff}(r)$ розраховується один раз і надалі вважається заданим, як і початковий профіль $f(r, 0)$.

II. На кожному кроці $t_m = m\Delta t$ за часом, викладеним вище методом скінчених елементів розв'язується контактна крайова задача і визначається $\sigma_{neff}(r_n, t_m)$ як масив значень ($1 \leq n \leq N-1$) (крайні точки опускаються і визначаються окремо).

III. Профіль бурової коронки в наступний момент часу $t_{m+1} = (m+1)\Delta t$ визначається з рівняння (3.13), записаного для вузлових точок просторової та часової сіток:

$$\frac{\partial f(r_n, t_m)}{\partial t} = K_{eff}(r_n) \sigma_{neff}(r_n, t_m) \omega r_n \sqrt{1 + \left[\frac{\partial f(r_n, t_m)}{\partial r} \right]^2}, \quad (3.14)$$

або

$$f(r_n, t_{m+1}) = f(r_n, t_m) + K_{eff}(r_n) \sigma_{neff}(r_n, t_m) \omega r_n \sqrt{1 + \left[\frac{\partial f(r_n, t_m)}{\partial r} \right]^2} \Delta t, \quad (3.15)$$

де просторові похідні $\frac{\partial f(r_n, t_m)}{\partial r}$ обчислюються за формулою (3.12).

Для перевірки роботоздатності запропонованого алгоритму, розглянемо задачу для втискування з обертанням кільцевого, прямокутного в плані штампа, аналітичний розв'язок якої відомий [100]. Одержаний там вираз для асимптотичної (при $t \rightarrow \infty$) форми профілю основи штампа має вигляд в наших позначеннях

$$f_\infty(r) - f_\infty(R_1) = \frac{2F_z(1-\nu^*)}{\pi^2 E^*(R_2^2 - R_1^2)} \left[\int_{R_1/r}^1 \mathbf{K}(x) dx - \int_{R_1/R_2}^{r/R_2} \frac{\mathbf{K}(x)}{x} dx \right], \quad (3.16)$$

де $\mathbf{K}(x)$ – повний еліптичний інтеграл першого роду, а E^* и ν^* – наведені пружні модулі [88, 106]. Вигляд профілю (3.16) подано на рис. 3.10.

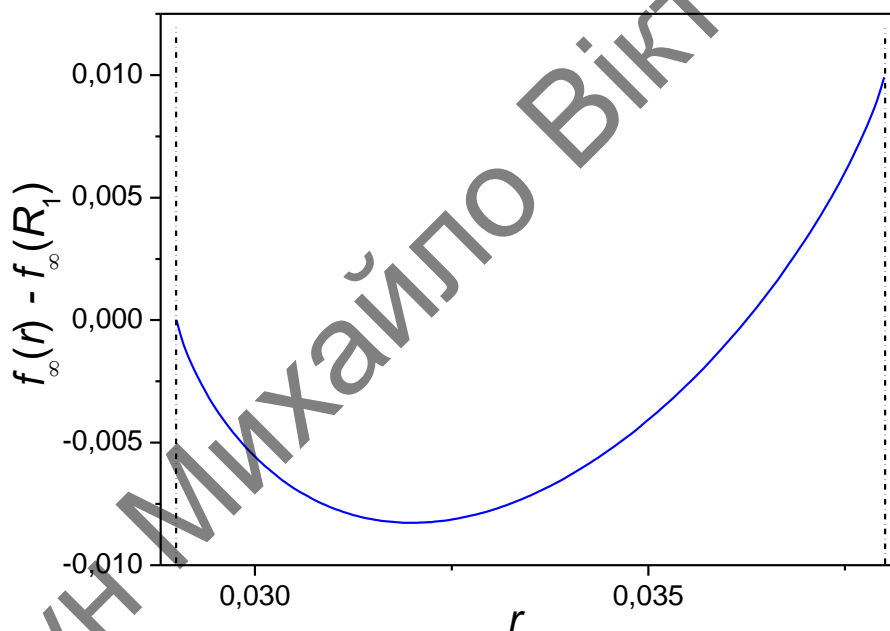


Рисунок 3.10 – Розрахунковий усталений профіль кільцевого штампу при $t^* = \infty$

Відповідний даному профілю розподіл тиску має вигляд $p_\infty = \frac{F_z}{2\pi(R_2 - R_1)r}$ (обернено пропорційний радіусу), що дійсно забезпечує однакову швидкість зношування в усіх точках профілю:

$$\frac{\partial w_*}{\partial t} = K_w p V = \frac{F_z}{2\pi(R_2 - R_1)r} 2\pi r \varpi = \frac{F_z \varpi}{(R_2 - R_1)}. \quad (3.17)$$

На рис. 3.11 та 3.12 наведено дані, одержані з використанням запропонованого розрахункового алгоритму. Так, на рис. 3.11 показано радіальний розподіл тиску для значень безрозмірного часу t_* рівних 0,5, 1,5 і 2,5. Штрих-пунктирна лінія показує наведене вище значення p_∞ . Як видно з рисунка, на початковому етапі має місце висока концентрація напружень в околі куткових точок, що відповідає відомим теоретичним розв'язкам [88, 105], і, відповідно, більш висока інтенсивність зношування матеріалу штампу. З часом, зі зміною форми штампу, ці пікові напруження знижуються і розподіл тиску вирівнюється, наближуючись до асимптотичного значення p_∞ , передбачуваного теорією.

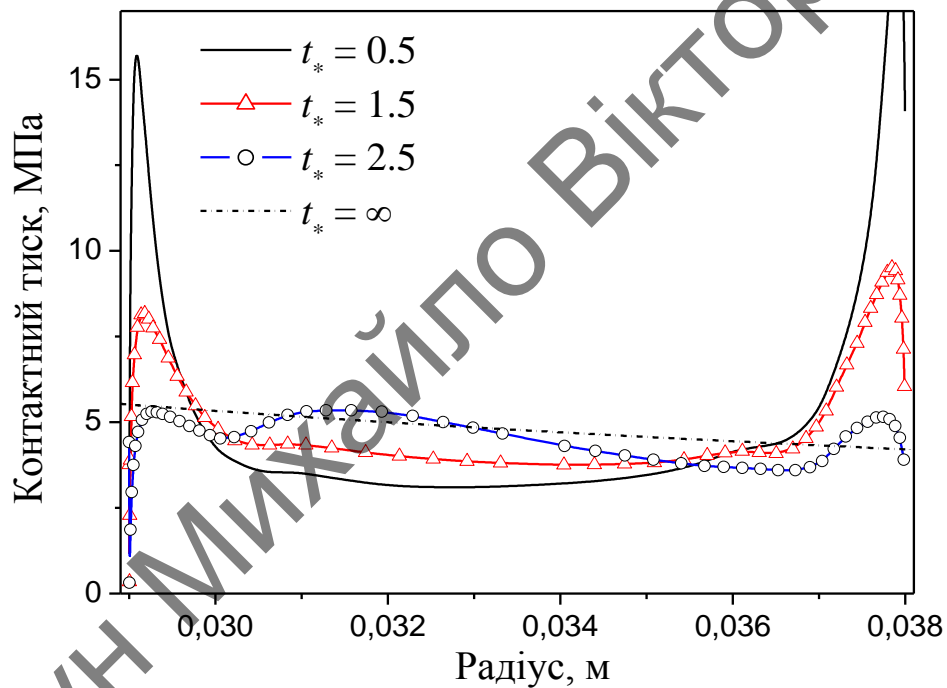


Рисунок 3.11 – Еволюція розподілу тиску під штампом

На рис. 3.12 показано розрахункові форми штампу в різні моменти безрозмірного часу t_* . Як видно з рисунків, остання форма є практично такою ж, що і зображена на рис. 3.10. Також отримані результати розрахунків підтверджуються практичними результатами [106], що доводить достовірність одержаних результатів

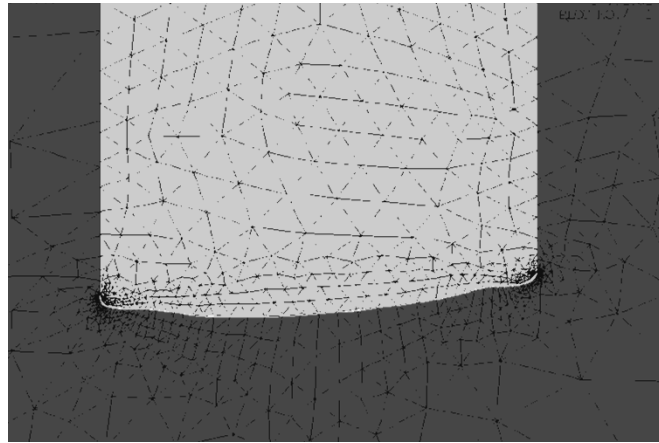
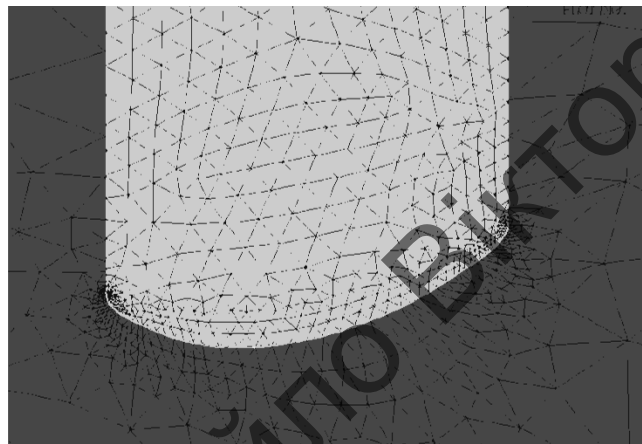
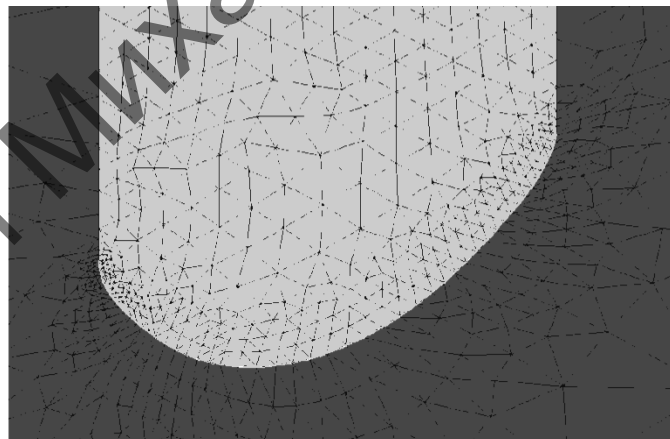
*a**б**в*

Рисунок 3.12 – Еволюція радіального профілю штампуг:

a – $t^*=1,5$; *б* – $t^*=1,5$; *в* – $t^*=2,5$

Втім, на відміну від аналітичного результату (3.16), справедливого лише для випадку постійного коефіцієнту зношування K_w , даний алгоритм забезпечує прогнозування еволюції профілю і у випадку змінного за радіусом $K_w = K_w(r)$. Ця си-

туація має місце, зокрема, при використанні коронок з армуючими вставками. У цьому випадку, для проведення розрахунків нам потрібно додатково оцінити, яким чином вставки впливають на зносостійкість, тобто знайти ефективний коефіцієнт зношування.

Як зазначено в постановці модельної задачі, одним із параметрів моделі є ефективний коефіцієнт зношування $K = K_{eff}(r)$ робочого шару коронки залежно від способу його армування вставками з АКГМ та гібридаїту. Для прогнозування профілю армованої робочої поверхні коронки $f(r, t)$, $t > 0$ в межах розвинутого підходу, нам треба підібрати "еквівалентний" матеріал з $K = K_{eff}(r)$ для моделі зображеної на рис. 3.1, б, який би мав таку ж швидкість зношування і результуючий профіль в кожен момент часу t , що і реальна коронка (рис. 3.1, а). По суті, процедура вибору еквівалентного матеріалу є аналогічною визначенню «ефективних» властивостей в механіці структурно-неоднорідних середовищ, що дозволяє скористатися розвинутими там підходами.

Схематично ідею процедури "гомогенізації" сектору алмазної бурової коронки з комбінованою матрицею проілюстровано на рис. 3.13.

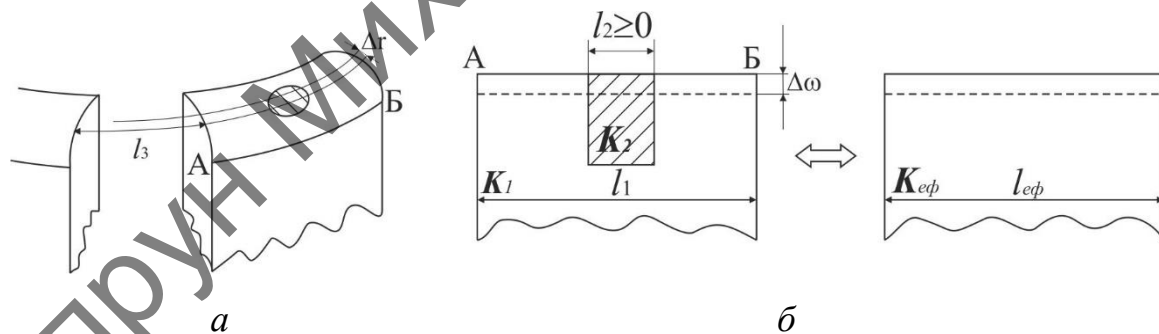


Рисунок 3.13 – Схема процедури "гомогенізації" сектору алмазної бурової коронки: а – зовнішній вигляд сектору; б – вигляд сектору збоку в розрізі.

Припускається, що деякі з робочих елементів (секторів) бурової коронки з коефіцієнтом зношування K_1 оснащені циліндричними породоруйнівними вставками, що мають коефіцієнт зношування K_2 , при чому $K_2 < K_1$. Геометрія робочої поверхні коронки визначається поточними (на радіусі r):

- довжиною сектору коронки $l_1 = l_1(r)$;
- довжиною хорди вставки $l_2 = l_2(r) \geq 0$;
- довжиною промивного каналу коронки $l_3 = l_3(r)$.

Виділимо смужку $[r, r + \Delta r]$ на секторі коронки (рис. 3.13; а), її вигляд збоку подано на рис. 3.13, б. В усталеному режимі зношування профіль АБ має відтворюватись, тому швидкість зношування основного матеріалу сектору матриці коронки (КАМ) і породоруйнівної вставки з необхідністю одна і та ж:

$$\dot{w}_1 = K_1 \sigma_{n1} V = \dot{w}_2 = K_2 \sigma_{n2} V = K_{eff} \sigma_{neff} V. \quad (3.18)$$

Оскільки лінійна швидкість однакова, то звідси, по-перше, маємо тиск на вставці:

$$\sigma_{n2} = \frac{K_1}{K_2} \sigma_{n1}, \quad (3.19)$$

для $K_2 < K_1$, $\sigma_{n2} > \sigma_{n1}$.

З іншого боку, сумарна сила що діє на смужку $F = [\sigma_{n2} l_2 + \sigma_{n1} (l_1 - l_2)] \Delta r$ має бути такою ж, як і для модельної коронки, де $l_{eff} = l_1 + l_3 = 2\pi r / N$ і N – число секторів, а саме $F = \sigma_{neff} l_{eff} \Delta r$. Звідси,

$$\sigma_{n2} l_2 + \sigma_{n1} (l_1 - l_2) = \sigma_{n1} \left[\frac{K_1}{K_2} l_2 + (l_1 - l_2) \right] = \sigma_{neff} l_{eff}. \quad (3.20)$$

Враховуючи також уже вказану вище рівність $K_1 \sigma_{n1} = K_{eff} \sigma_{neff}$, одержуємо вираз для нормованого ефективного коефіцієнту зношування

$$\frac{K_{eff}}{K_1} = \frac{\sigma_{n1} l_{eff}}{\sigma_{n1} \left[\frac{K_1}{K_2} l_2 + (l_1 - l_2) \right]} = \frac{K_2 l_{eff}}{\left[K_1 l_2 + K_2 (l_1 - l_2) \right]}. \quad (3.21)$$

У випадку $l_2 = 0$ (рис. 3.14), як і слід було очікувати, $\frac{K_{eff}}{K_1} = 1 + \frac{l_3}{l_1}$: другий доданок виникає за рахунок того, що перерозподіляється тиск на всю поверхню матриці коронки з промивними каналами включно. Тому для модельної коронки тиск в $1 + l_3 / l_1$ рази менший, ніж для реального інструмента. Зазначимо, що оскі-

льки $l_i = l_i(r)$ ($i = 1, 2, 3$), то ефективний коефіцієнт зношування є функцією радіальної координати: $K_{eff} = K_{eff}(r)$.

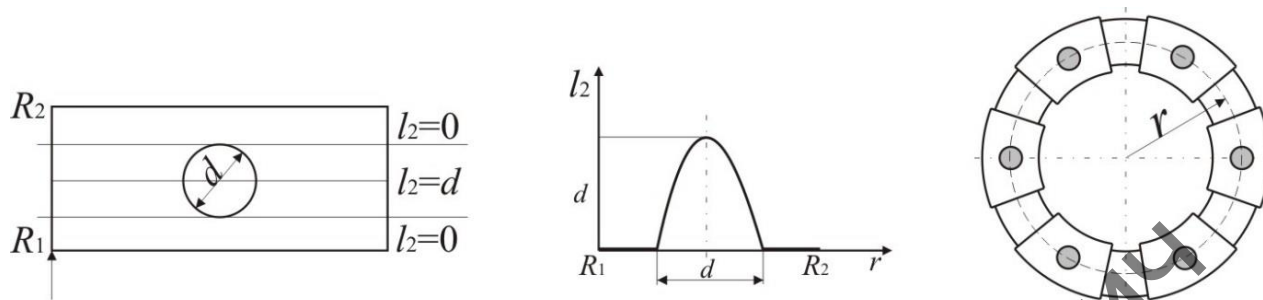


Рисунок 3.14 – Оцінка оснащеності матриці коронки породоруйнівними вставками

Формула (3.21) має місце і у випадку, коли замість одного сектору розглядається вся матриця коронки, з тією лише різницею, що тепер $l_{eff}(r) = 2\pi r$, сумарна довжина секторів і каналів матриці коронки дорівнює $l_1(r)$ і $l_3(r)$ відповідно, а $l_2(r)$ – сумарна довжина хорди, яка перетинає породоруйнівні вставки і може розглядатись як характеристика оснащеності матриці коронки породоруйнівними вставками.

Приклади розрахунку. Для обчислення K_{eff} для різної геометрії використовується написана мовою FORTRAN програма розрахунку зносостійкості змцненої породоруйнівними вставками матриці бурової коронки (Додаток Б). Вхідними параметрами програми є геометричні розміри матриці коронки та вставок, їх кількість, спосіб розташування та коефіцієнт зношування. Результатом роботи програми є безрозмірні значення K_{eff}/K_1 , тиску та профілю, записані у відповідні текстові файли.

Наведемо два приклади розрахунку ефективного коефіцієнту зношування залежно від способу розташування і зносостійкості вставок [107]. Для конкретності і забезпечення порівнюваності результатів, наводиться бурова коронка діаметром 76 мм, зовнішній радіус якої складає $R_2 = 38$ мм а внутрішній радіус – відповідно $R_1 = 29$ мм, довжина промивного каналу коронки дорівнює 40% довжини

сектора, радіус вставки $R_v = 1,5$ мм, їх кількість – 6 штук, осьове навантаження на коронку $F_z = 10$ кН.

У першому варіанті 3 вставки розміщені біля внутрішньої торцевої поверхні матриці коронки, з центрам на радіусі $r = R_1 + R_v = 30,5$ мм, а інші три – біля зовнішньої торцевої поверхні $r = R_1 - R_v = 36,5$ мм. За відсутності породоруйнівних вставок (або коли $K_2 = K_1$), $\frac{K_{eff}}{K_1} = 1 + \frac{l_3}{l_1} = 1.4$. На рис. 3.15 йому відповідає горизонтальна лінія 1.

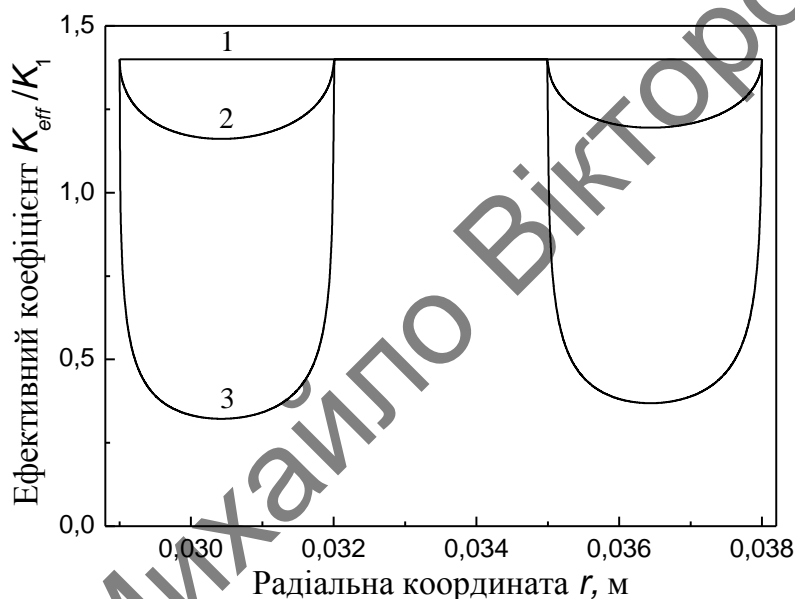


Рисунок 3.15 – Ефективний коефіцієнт зношування, розстановка №1:

1–КАМ; 2–АКТМ; 3–гібридайт

Розрахований згідно з формулою (3.18) контактний тиск, який би забезпечив рівномірне зношування матриці бурової коронки з таким розташуванням породоруйнівних вставок, а саме:

$$\sigma_{neff} = \frac{C}{2\pi\omega r K_{eff}(r)}, \quad (3.21)$$

де C – нормуюча константа, показано на рис. 3.16. Як видно з рисунка, наявність армування робить цей розподіл вельми неоднорідним, з концентрацією напружень на периферійних ділянках робочої поверхні. У даному разі, ефективний коефіцієнт зношування також є суттєво неоднорідним, тому цей випадок є цікавим з точ-

ки зору можливості перевірки роботоздатності викладеного у попередньому підрозділі алгоритму розрахунку еволюції профілю матриці коронки.

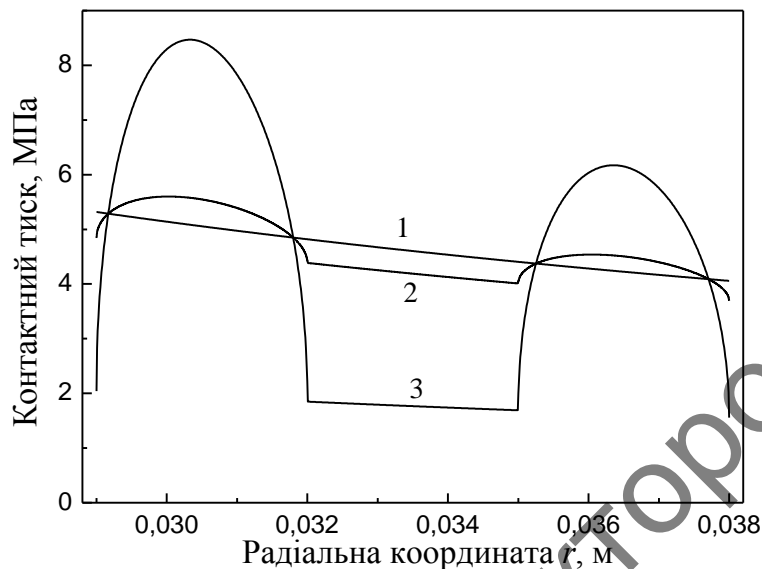


Рисунок 3.16 – Розподіл контактного тиску, розстановка №1:

1–КАМ; 2–АКТМ; 3–гібридайт

На рис. 3.17 наведено результати розрахунків за алгоритмом (3.14, 3.15) для випадку вставок з гібридайту (крива 1), а також прогнозний асимптотичний розподіл (крива 2) з попереднього рис. 3.16. Як видно з рис. 3.17, порівняння, узгодження цих даних є цілком задовільним.

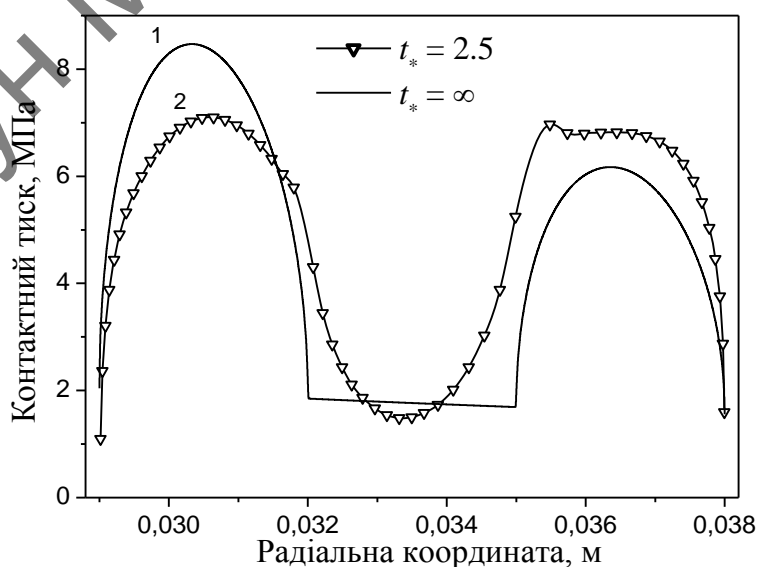


Рисунок 3.17 – Розподіл контактного тиску уздовж радіусу коронки, армованої гібридайтом (розстановка №1)

Більш простий (втім, наближений) спосіб оцінювання форми профілю матриці коронки може бути одержаний з використанням теоретичних результатів, наведених в [100, 108]. Користуючись встановленою у вказаних роботах аналогією між контактними і зносоконттактними задачами, можемо записати вираз для усталеної форми зношування кільцевого штампу у випадку неоднорідного за радіусом коефіцієнту зношування (зокрема, представлених на рис. 3.15). З точністю до масштабуючої константи

$$\frac{f_{\infty}(r) - f_{\infty}(R_1)}{\tilde{C}} = \int_{R_1}^{R_2} \int_0^{2\pi} \frac{[K_{eff}(r)]^{-1} dr' d\varphi}{\sqrt{r^2 + r'^2 - 2rr' \cos \varphi}}. \quad (3.23)$$

Числове інтегрування в (3.23) не викликає ускладнень і реалізоване в FORTRAN-програмі (Додаток Б). Відповідні даним рис. 3.15 та 3.16 форми профілю матриці коронки наведені на рис. 3.18.

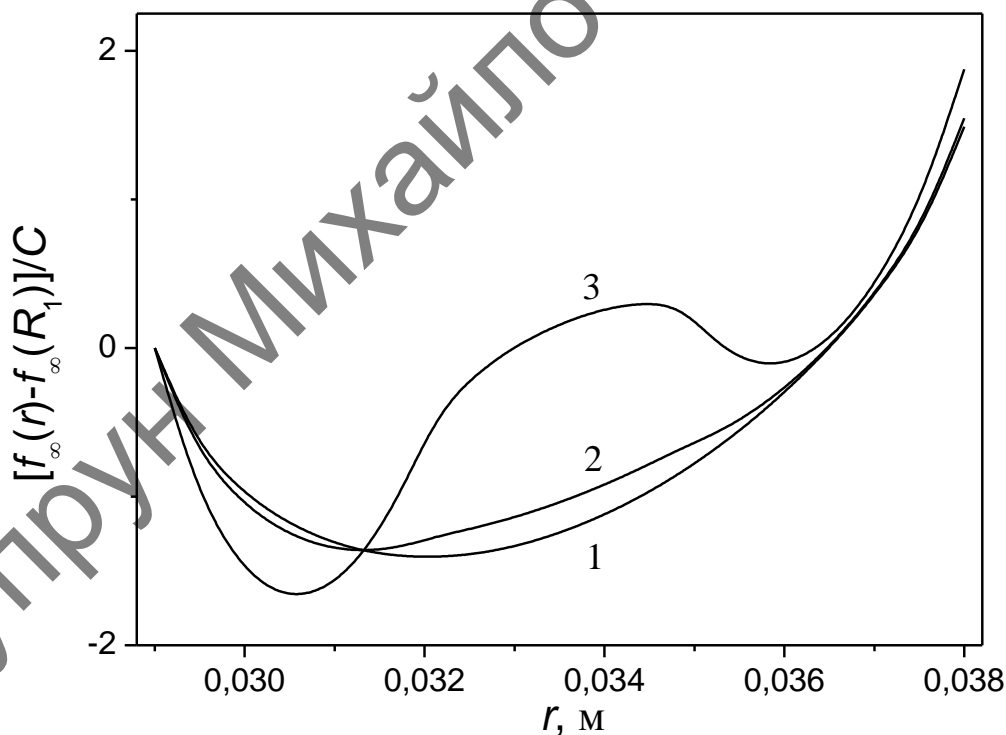


Рисунок 3.18 – Розрахований згідно з (3.23) профіль коронки, розстановка №1:

1–КАМ; 2–АКТМ; 3–гібридайт

Як і варто було очікувати, дані для КАМ (крива 1) збігаються з існуючими практичними результатами [53], крива 2 (АКТМ) демонструє незначне відхилення (більше зношування) у центральній частині. Щодо кривої 3, то вона принаймні якісно узгоджується з наведеною на рис. 3.19 формою профілю, одержаною числовим моделюванням.

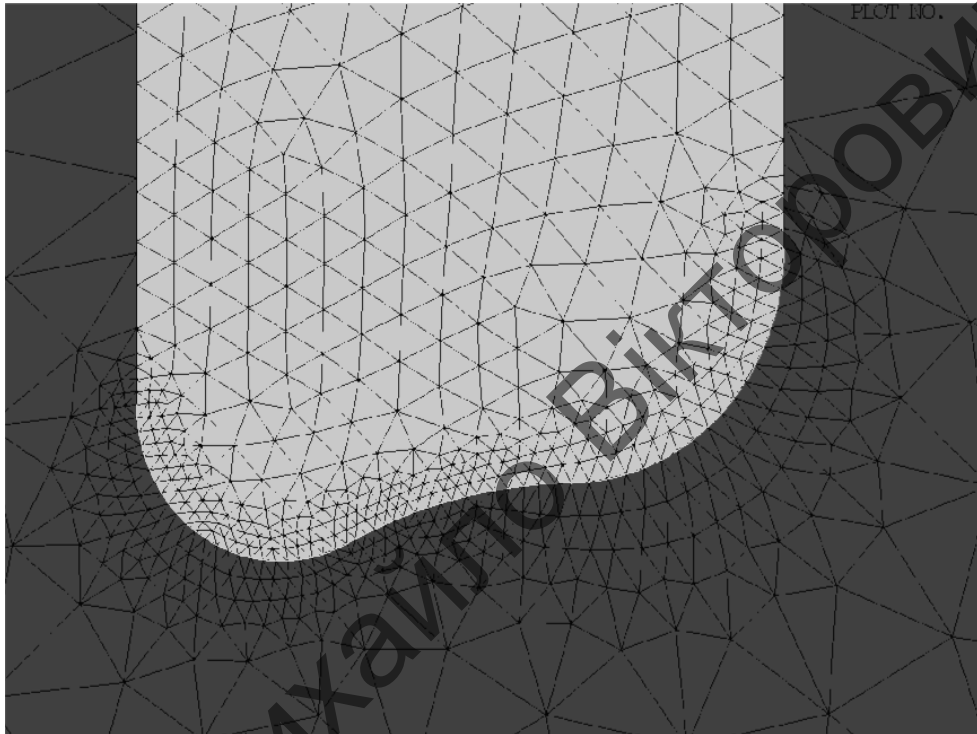


Рисунок 3.19 – Розрахунковий профіль зношеної коронки, армованої гібридайтм (розстановка №1)

Інший розглянутий варіант розстановки (№2) відповідає рівномірному розташуванню породоруйнівних вставок уздовж радіального профілю матриці коронки, на відстані від центру відповідно 1 – 30,5 мм, 2 – 31,7 мм, 3 – 32,9 мм, 4 – 34,1 мм, 5 – 35,3 мм і 6 – 36,5 мм. Розрахований для такого варіанту оснащення ефективний коефіцієнт зношування (рис. 3.20) є рівномірним. Згідно з наведеними на рис. 3.20 даним, при застосуванні АКТМ K_{eff} (а отже і швидкість зношування) зменшується на 10 – 15%, а у випадку гібридайтм – практично втричі.

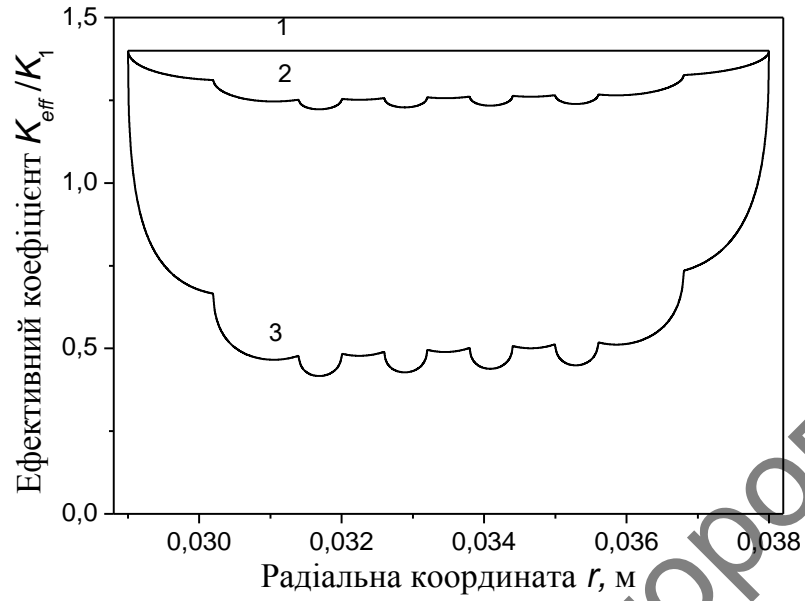


Рисунок 3.20 – Ефективний коефіцієнт зношування, розстановка №2:
1–КАМ; 2–АКТМ; 3–гібридайт

Відповідний розстановці №2 профіль зношування, розрахований згідно з (3.23), показано на рис. 3.21.

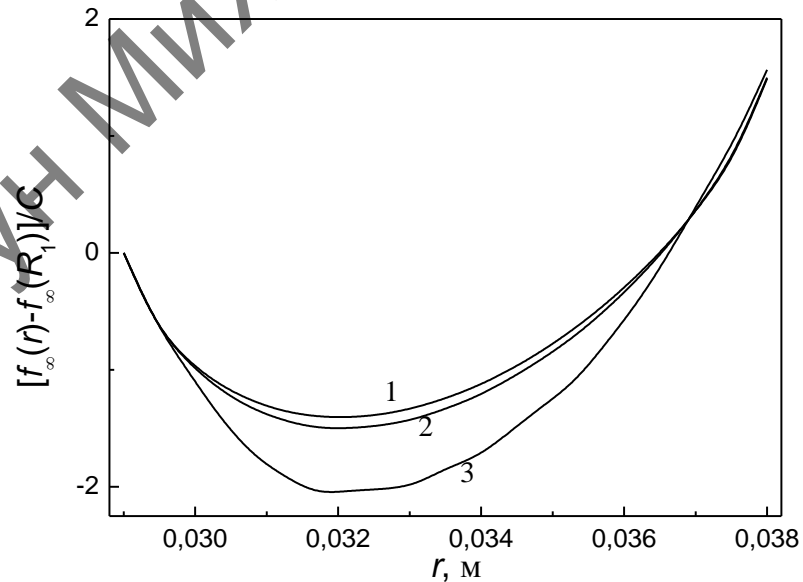


Рисунок 3.21 – Розрахований згідно з (5) профіль матриці коронки (розстановка №2): 1–КАМ; 2–АКТМ; 3–гібридайт

Тут ситуація протилежна попередній: більш "захищеною" породоруйнівними вставками є центральна частина робочої зони, тому і ступінь її зношування очікувано менший у порівнянні з периферійними ділянками матриці бурової коронки.

Аналогічні розрахунки можуть бути виконані для довільного способу розташування породоруйнівних вставок. Втім, остаточний вибір на користь того чи іншого варіанту розстановки має враховувати, крім зносостійкості, інші важливі для практики чинники, і в першу чергу – ефективність роботи бурової коронки, що має підтверджуватися експериментальним шляхом.

3.3 Визначення оптимальної кількості породоруйнівних вставок для оснащення робочого профілю бурової коронки з комбінованою матрицею

З точки зору породоруйнування, вставки можуть суттєво підвищити продуктивність інструменту за умови, коли механізм руйнування ними породи буде наближатись до типового для інденторів чи різців. Це, у свою чергу, веде до збільшення глибини зони передруйнування та середнього розміру часток шламу, а отже, зменшення енергоємності процесу буріння. Необхідно, щоб тиск на вставках був достатнім для реалізації цього процесу: в уявному крайньому випадку, коли вся поверхня заповнена вставками, навряд чи варто очікувати їх позитивного впливу на швидкість буріння.

Остаточну відповідь про оптимальну кількість вставок може дати лише експеримент (і ця відповідь, звісно, буде залежати від конкретних умов застосування інструменту), але наближена попередня оцінка може бути одержана з таких простих міркувань [109]. При значеннях параметрів, де внутрішній радіус $R_1 = 29$ мм, зовнішній радіус R_2 дорівнює 38 мм, а осьова сила F_z прикладена до коронки дорівнює 12,5 кН, тоді середній тиск на робочу поверхню σ_{n1} коронки складає близько 10 МПа.

Згідно (3.18) нормальний тиск на породоруйнівну вставку σ_{n2} буде дорівнювати $\sigma_{n2} = \frac{K_1}{K_2} \sigma_{n1}$, де K_1, K_2 – коефіцієнт зношування відповідно до матриці бурової коронки та породоруйнівних вставок.

Коефіцієнти K_1, K_2 визначають виключно експериментально для конкретної гірської породи (у випадку, що розглядається, для граніту X категорії за буримістю: $K_1 = 3,63; K_2 = 0,07$).

У стаціонарному режимі зношування середній тиск на вставку гібридаїту $\sigma_{n2} \approx 520$ МПа. Це значення перевищує міцність на стиск більшості гірських порід, за винятком кварцу [110]. Якщо врахувати, що наявність мікропошкоджень (зони передруйнування) значно знижує міцність гірської породи, зазначеного тиску цілком достатньо для її руйнування вставкою.

Втім, така оцінка не враховує перерозподілу тисків між вставками та рештою робочої поверхні алмазовмісною матрицею бурової коронки. За такого тиску зусилля, що припадає на одну породоруйнівну вставку радіусом $R_v = 1,5$ мм:

$$F_v = \pi R_v^2 \sigma_{n2}, \quad (3.24)$$

де $F_v \approx 3,7$ кН, що становить близько 20% сумарного осьового навантаження на коронку.

Таким чином, навіть коли коронка працює так, що основне навантаження припадає на породоруйнівні вставки, їх не повинно бути надто багато. У цьому разі консервативна верхня оцінка кількості вставок:

$$N_v = F_z / F_v \approx 4,5. \quad (3.25)$$

Зазначена оцінка стосується буріння твердих порід (міцністю ~ 500 МПа). Для порід середньої твердості кількість вставок може бути, за необхідності, збільшена з метою підвищення продуктивності коронки.

3.4 Висновки до розділу

1. Уперше запропоновано підхід до розрахунку контактного тиску на поверхні комбінованої бурової коронки, який базується на числовому аналізі модельної

контактної крайової задачі механіки деформованого твердого тіла і забезпечує, на відміну від відомих в літературі, врахування не лише кінематики процесу буріння, а й специфіки контактної взаємодії інструменту з породою.

2. , Уперше запропонована математична модель еволюції робочого торця комбінованої матриці бурової коронки на основі розрахунку розподілу контактного тиску на її робочій поверхні в процесі обертового буріння, розрахункові результати якої співпадають з практично отриманими результатами, що підтверджує адекватність розробленої моделі.

3. Одержані з використанням розробленої математичної моделі числові результати, а також запропоновані наближені формули розрахунку оптимальної кількості породоруйнівних вставок на робочій поверхні комбінованої матриці, можуть бути використані для оптимізації конструкції, включаючи вибір профілю, оснащення і застосування робочих елементів з різною зносостійкістю для забезпечення підвищеної роботоздатності алмазної коронки, в процесі обертового буріння геологорозвідувальних свердловин.

Супрун Михайло Вікторович

РОЗДІЛ 4

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТОЗДАТНОСТІ АЛМАЗНИХ КОРОНОК З КОМБІНОВАНОЮ МАТРИЦЕЮ ПРИ ОБЕРТОВОМУ БУРІННІ

4.1 Дослідження роботоздатності породоруйнівних вставок у процесі руйнування твердої гірської породи

Дослідження роботоздатності породоруйнівних вставок у процесі руйнування твердої гірської породи проводили за вказаною в розділі 2 методикою випробувань зразків породоруйнівних вставок на роботоздатність при різанні гірської породи коростишівського граніту X категорії за буримістю.

Для проведення порівняльних лабораторних випробувань на роботоздатність виготовлялись циліндричні породоруйнівні вставки діаметром 3,5 мм та висотою 4 мм з АКТМ, в яких розміщувались армуючі пластинки CVD-алмазу (4×1×0,3 мм) різних варіантів технології виготовлення (виробника), які відрізнялись за кольором, формою та способом їх розміщення (орієнтації) (рис. 4.1) в оболонці АКТМ, а також варіантом якісних характеристик алмазного наповнювача оболонки АКТМ.

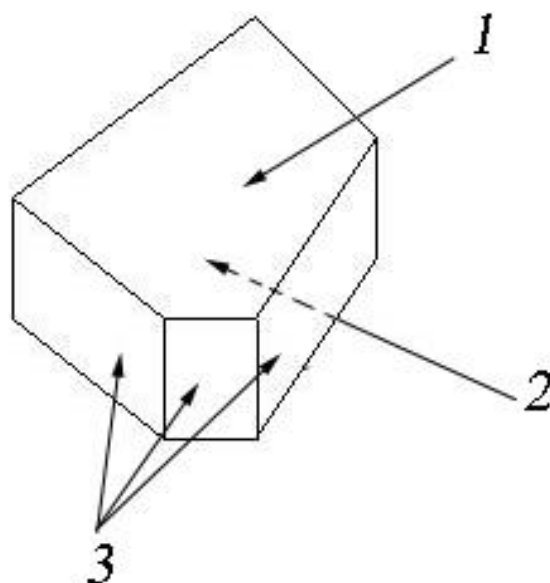


Рисунок 4.1 – Схематичне зображення зерна порошку CVD-алмазу:

1 – ростовий бік, 2 – зародковий бік, 3 – торець

Дослідження роботоздатності породоруйнівних вставок з гібридаїту залежно від кольору та варіанту орієнтації пластини CVD-алмазу проводили для оцінювання інтенсивності зношування залежно від варіанту орієнтації пластини CVD-алмазу (зародковий, ростовий бік та бічна частина) рис 4.1 [111].

Результати порівняльних випробувань цих породоруйнівних вставок під час різання коростишівського граніту X категорії за буримістю представлені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Порівняльні випробування породоруйнівних вставок, оснащених вставками CVD світлого та чорного, задля оцінювання інтенсивності зношування

Склад породоруйнівних вставок	Маса вставки, мг		Інтенсивність зношування за масою, мг/км
	початкова	кінцева	
КАМ	348,3	311,9	30,4
АКТМ	121,4	107,0	8,4
Гібридайт с монокристалом синтетичного алмазу	134,2	128,0	3,6
АКТМ+CVD-алмаз чорний (зародковий бік)	122,7	120,0	1,6
АКТМ+CVD-алмаз чорний (ростовий бік)	120,0	117,2	1,6
АКТМ+CVD-алмаз чорний (бічна частина)	117,2	115,8	0,8
АКТМ+CVD-алмаз світлий (зародковий бік)	127,2	126,1	0,6
АКТМ+CVD-алмаз світлий (ростовий бік)	126,1	124,7	0,8
АКТМ+CVD-алмаз світлий (бічна частина)	124,7	123,3	0,8

Як бачимо, інтенсивність зношування зародкового і ростового боків у варіанті виготовлення "АКТМ+CVD-алмаз чорний" є більшою ніж зародкового та ростового боків у варіанті виготовлення "АКТМ+CVD-алмаз світлий" у $2,00 \div 2,67$ раза, при однаковій інтенсивності зношування бічної частини вставки CVD-алмазу цих варіантів оснащення. Інтенсивність зношування у варіанті виготовлення "АКТМ+CVD-алмаз чорний" на зародковому і ростовому боках CVD-алмазу не відрізняється, а у варіанті виготовлення "АКТМ+CVD-алмаз світлий" інтенсивність зношування при роботі зародковим боком CVD-алмазу є нижчою в 1,33 раза, ніж при роботі його ростовим боком.

При роботі бічною частиною CVD-алмазу, у варіанті "АКТМ+CVD-алмаз чорний" інтенсивність зношування в 2 рази нижче, ніж при роботі його зародковим та ростовим боками. У разі варіанту "АКТМ+CVD-алмаз світлий" інтенсивність зношування бічної частини CVD-алмазу дорівнює інтенсивності зношування його ростового боку і вище в 1,33 рази, ніж при роботі зародковим боком.

Також в таблиці 4.1 наведені результати порівняльних випробувань зносостійкості вставок гібридаїту (АКТМ+CVD-алмаз) з чистим АКТМ та зразком з композиційного алмазовмісного матеріалу (КАМ), ідентичного матеріалу матриці бурової коронки, оснащеного алмазами АС160Т зернистістю 355/300. Як бачимо, інтенсивність зношування за масою у вставок КАМ значно більша (у 50 разів), ніж у вставок АКТМ, які у свою чергу мають у 14 разів більшу інтенсивність зношування ніж АКТМ, в яких були запечені вставки CVD-алмазу.

На цьому етапі також проводились порівняльні лабораторні випробування породоруйнівних вставок, оснащених тільки CVD-алмазом чорного кольору різних розмірів і варіантів розміщення в оболонці АКТМ, а саме: АКТМ+CVD-алмаз чорний (1 мм×0,3 мм×4 мм), АКТМ+CVD-алмаз чорний дроблений (ріжучі вставки) та АКТМ+CVD-алмаз чорний дроблений (підрізні вставки). Слід зазначити, що в першому варіанті виготовлялися породоруйнівні вставки з армуючими вставками CVD-алмазу, які були розташовані вздовж осі циліндра АКТМ з випуском вершини вставки CVD-алмазу на поверхню циліндра. У другому і третьому варіантах виготовлення дроблені армуючі вставки CVD-

алмазу були розташовані на поверхні циліндра АКТМ "долілиць": вузькою (бічною) частиною (0,3 мм) – ріжучий варіант, або широкою частиною (1 мм) – підрізний варіант.

Результати порівняльних випробувань цих породоруйнівних вставок при різанні коростишівського граніту Х категорії за буримістю представлені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Порівняльні випробування породоруйнівних вставок, оснащених тільки CVD-алмазом чорного кольору різних розмірів і варіантів розміщення в оболонці АКТМ

Матеріал армуючої вставки	Маса вставки, мг		Інтенсивність зношування за масою, мг/км
	початкова	кінцева	
АКТМ+CVD-алмаз чорний (1 мм×0,3 мм×4 мм)	135,4	135,0	0,7
АКТМ+CVD-алмаз чорний дроблений (ріжучі вставки)	125,6	124,4	2,2
АКТМ+CVD-алмаз чорний дроблений (підрізні вставки)	106,2	105,2	1,8

Як видно з результатів порівняльних випробувань, найменшу інтенсивність зношування серед випробуваних зразків показала породоруйнівна вставка АКТМ+CVD-алмаз чорний (1 мм×0,3 мм×4 мм), що у 2,57 ÷ 3,14 раза менше, ніж у породоруйнівних вставок, оснащених дробленими армуючими вставками CVD-алмазу. Цей факт можна пояснити тим, що у першому варіанті вставка CVD-алмазу працювала своєю торцевою частиною.

Різниця у показниках інтенсивності зношування між другим та третім варіантом оснащення, яка склала 22 %, обумовлена тим, що у ріжучому варіанті вставка CVD-алмазу в процесі випробувань працювала своїм ростовим боком, а у підрізному – зародковим боком. Тому можна зробити висновок, що при розміщенні вставки CVD-алмазу з виходом зародкового боку на робочу поверхню поро-

руйнівна вставка буде працювати в підрізному чи калібруючому режимі, а у випадку розміщення вставки CVD-алмазу з виходом на робочу поверхню його торцевої частини – у режимі сколювання. Ці дані підтверджуються даними з таблиці 4.1.

Для проведення порівняльних лабораторних досліджень впливу термообробки та варіанту розміщення армуючих вставок CVD-алмазу у оболонці з АКТМ на зносостійкість породоруйнівних вставок алмазного гібридного полікристалічного матеріалу були виготовлені циліндричні породоруйнівні вставки діаметром 3,5 мм і висотою 3,7 мм з АКТМ, в якому розміщувалися армуючі вставки CVD-алмазу таких варіантів виготовлення та розміщення в оболонці АКТМ:

1) АКТМ + CVD-алмаз марки CDD фірми Element Six (5,0 мм × 0,8 мм × 0,8 мм), розташований уздовж осі циліндра з АКТМ з виступом вершини CVD-алмазу на його поверхню;

2) АКТМ + CVD-алмаз (чорний) (4,0 мм × 1,0 мм × 0,3 мм), розташований уздовж осі циліндра з АКТМ з виступом вершини CVD-алмазу на його поверхню;

3) АКТМ + вставки CVD-алмазу (чорний) дробленого розташовувалися на поверхні циліндра з АКТМ "долілиць" вузькою частиною (0,3 мм) – ріжучі вставки;

4) АКТМ + вставки CVD-алмазу (чорний) дробленого розташовувалися на поверхні циліндра з АКТМ "долілиць" широкою частиною (1 мм) – підрізні вставки).

Вибір орієнтації зернин в останніх двох випадках визначається такими міркуваннями.

Порошки CVD-алмазу отримували в результаті механічного дроблення полікристалічних заготовок. Після дроблення зерна порошку CVD-алмазу мають сплюснену форму з товщиною торця ~ 0,3 – 0,6 мм. Тому для роботоздатності інструменту має велике значення розташування зерна CVD-алмазу в породоруйнівній вставці.

Якщо вставка чи зерна CVD-алмазу розташовувались у породоруйнівній вставці з гібридного полікристалічного матеріалу таким чином, що їхня робоча (торцева) поверхня збігалась з торцем елемента, то така вставка виступала ріжучою при руйнуванні гірської породи.

Якщо вставка чи зерна CVD-алмазу розташовувались у породоруйнівній вставці з гібридного полікристалічного матеріалу таким чином, що їхній зародковий бік збігалась з робочим торцем елемента, то такі вставки виступали калібруючим елементом.

Результати порівняльних випробувань впливу термообробки та варіанту розміщення армуючих вставок CVD-алмазу у оболонці з АКГМ на зносостійкість породоруйнівних вставок алмазного гібридного полікристалічного матеріалу при різанні коростишівського граніту X категорії за буримістю представлені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Порівняльні випробування впливу термообробки на інтенсивність зношування

№ п/п	Матеріал армуючої вставки		Маса вставки, мг		Зношування		Інтенсивність зношування за масою, мг/км
			початко- ва	кінцева	за ма- сою, мг	%	
1	CVD- алмаз марки CDD	Вихідний	86,0	83,6	2,4	2,80	4,5
		Після тер- мообробки	79,2	78,2	1,0	1,30	1,8
2	CVD- алмаз чорний	Вихідний	135,4	135,0	0,4	0,30	0,7
		Після тер- мообробки	132,0	131,6	0,4	0,30	0,7

Продовження таблиці 4.3

3	CVD-алмаз ріжучі вставки	Вихідний	125,6	124,4	1,2	0,96	2,2
		Після термообробки	102,4	102,2	0,2	0,20	0,4
4	CVD-алмаз калібруючі вставки	Вихідний	106,2	105,2	1,0	0,94	1,8
		Після термообробки	103,8	103,4	0,4	0,39	0,7

Як видно з отриманих результатів, термообробка у муфельній печі впливає на породоруйнівні вставки в цілому позитивно – їх зносостійкість збільшилася від 2,5 раза (якщо це CVD-алмаз марки CDD) до 5,5 раза (яко це CVD-алмазної ріжучої вставки) [112]. Очевидно, що після термообробки спостерігається процес зняття напруженого стану армуючих вставок. Відмінність показників інтенсивності зношування вставки, армованої CVD-алмазами (чорними) і CVD-алмазом марки CDD, пояснюється тим, що остання має велику площу контакту з породою (0,64 мм² проти 0,3 мм² в разі CVD-алмазу).

У процесі роботи породоруйнівних вставок перших двох варіантів виготовлення також, як і раніше, спостерігався очевидний ефект "самозаточування", тобто поява конуса на їх робочому торці при вершині армуючої вставки з CVD-алмазу (рис. 4.2).

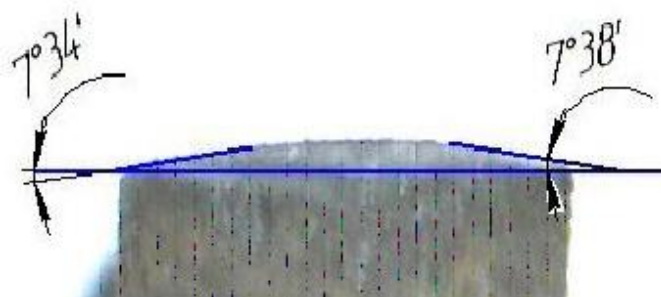


Рисунок 4.2 – Зовнішній вигляд робочого торця породоруйнівної вставки гібридаїту після точіння

Ці випробування також показали, що для армування гібридного полікристалічного матеріалу також можна використовувати порошки дробленого CVD-алмазу, на базі яких можна буде створювати породоруйнівні вставки ріжучого або калібруючого призначення.

Для проведення експериментальних досліджень на інтенсивність зношування породоруйнівних вставок з матеріалу гібридайт залежно від якісних характеристик алмазного наповнювача у оболонці з АКТМ були виготовлені циліндричні породоруйнівні вставки діаметром 3,5 мм і висотою 3,7 мм з АКТМ, які відрізнялись відсотковим вмістом і зернистістю алмазного наповнювача. У цих елементах з АКТМ були розміщені вставки CVD-алмазу таких варіантів виготовлення: CVD-алмаз чорний $0,23 \div 0,35 \times 1 \times 4$ мм виробництва інституту загальної фізики ім. А.М. Прохорова РАН, Carbon CVD-алмаз + АКТМ і CVD-алмаз + АКТМ виробництва Китаю, а також CVD-алмаз марки CDD фірми Element Six + АКТМ.

Результати порівняльних випробувань зносостійкості породоруйнівних вставок алмазного гібридного полікристалічного матеріалу залежно від якісних характеристик алмазного наповнювача у оболонці з АКТМ представлені у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Порівняльні випробування породоруйнівних вставок, оснащених різними варіантами алмазного наповнювача оболонки АКТМ та ріжучої вставки CVD-алмазу

Склад породоруйнівних вставок		Маса вставки, мг		Інтенсивність зношування за масою, мг/км
		початкова	кінцева	
АСМ зернистістю 40/28 хімічно очищений + CVD-алмаз чорний ($0,23 \div 0,35 \times 1 \times 4$ мм)	Вихідний	160,2	158,2	2,8
	Після термообробки	136,4	123,2	19,3

Продовження таблиці 4.4

АСМ зернистістю 40/28 хімічно очище- ний (60%) + природний алмаз зернистістю 28/20 (40%) + CVD- алмаз чорний (0,23÷0,35×1×4 мм)	Вихідний	172,6	169,2	4,7
	Після тер- мообробки	137,4	134,6	4,09
АСМ зернистістю 40/28 хімічно очище- ний (60%) + природний алмаз зернистістю 40/28 (40%) + CVD- алмаз чорний (0,23÷0,35×1×4 мм)	Вихідний	166,8	164,0	3,9
	Після тер- мообробки	132,8	131,4	2,1

Результати порівняльних випробувань армуючих вставок до і після термообробки при точінні коростишівського граніту X категорії за буримістю показали, що вплив термообробки на зносостійкість представлених на випробування породоруйнівних вставок відрізняється. У варіанті CVD-алмазу чорного (0,23÷0,35×1×4 мм) та варіанті алмазного наповнювача оболонки АСМ зернистістю 40/28 хімічно очищеного після термообробки спостерігалось падіння зносостійкості до 7 разів, а у тому ж варіанті CVD-алмаз чорний (0,23÷0,35×1×4 мм) та варіантах оболонки АСМ зернистістю 40/28 хімічно очищеного (60%) + природний алмаз зернистістю 40/28 (40%) та АСМ зернистістю 40/28 хімічно очищеного (60%) + природний алмаз зернистістю 28/20 (40%) спостерігалось підвищення зносостійкості породоруйнівних вставок від 1,15 до 1,9 раза відповідно. Очевидно, що після термообробки в цих випадках спостерігається процес зняття напруженого стану армуючих вставок.

Отриманий результат є позитивним фактором для подальшого використання таких варіантів виконання породоруйнівних вставок на базі АКТМ+CVD-алмаз при розробці нових конструкцій бурових геологорозвідувальних коронок з комбінованою алмазовмісною матрицею.

Оцінити вплив породоруйнівних вставок з гібридаїту і АКТМ на характер руйнування твердих гірських порід можна, вивчаючи розмір зернин шламу, що утворилися при руйнуванні породи цими вставками.

Для порівняльного оцінювання ефективності руйнування твердих гірських порід були виготовлені породоруйнівні вставки з гібридаїту та АКТМ діаметром 3,5 мм, і висотою 4 мм.

Збір шламу проводився при різанні коростишівського граніту Х категорії за буримістю, на токарно-гвинторізному верстаті моделі ДІП-200. При цьому використовувалося спеціальне оснащення для закріплення випробуваного зразка породоруйнівної вставки, який підводився до поверхні керна гірської породи, де і здійснювалося його поздовжнє різання із заданою глибиною втискування. Одержуваний під час точіння граніту шлам збирався разом з промивною рідиною в ємність, де надалі проходив процес осадження.

Результати розсіву шламу граніту за фракціями [113], отриманого при точінні вставками з гібридаїту, АКТМ і матричного матеріалу представлені в таблиці 4.5.

Результати розсіву шламу, що відділився при руйнуванні гірської породи вставками з різного матеріалу, показали, що при руйнуванні граніту вставками АКТМ основний розмір часток шламу складають зерна від 80/63 до – 40 мкм. На їх частку припадає 96,23 % від усього обсягу шламу.

У той час як при руйнуванні граніту вставками з гібридаїту обсяг частинок шламу розміром менший ніж 80/63 мкм становить 56,54 %, що свідчить про зміну характеру руйнування гірської породи.

Наявність у загальній масі великої кількості дрібних частинок розміром 40 мкм характерна для процесу шліфування (стирання).

У той же час при роботі породоруйнівних вставок з гібридайту спостерігається відділення від масиву породи частинок, неоднорідних за розміром. Так, при наявності дрібних фракцій присутні частинки більшого розміру від 100 до 200 мкм (при чому рівномірно за фракціями ~ 9%), що свідчить про характер руйнування породи, який притаманний сколюванню.

Таблиця 4.5 – Результати розсіву шламу граніту X категорії за буримістю

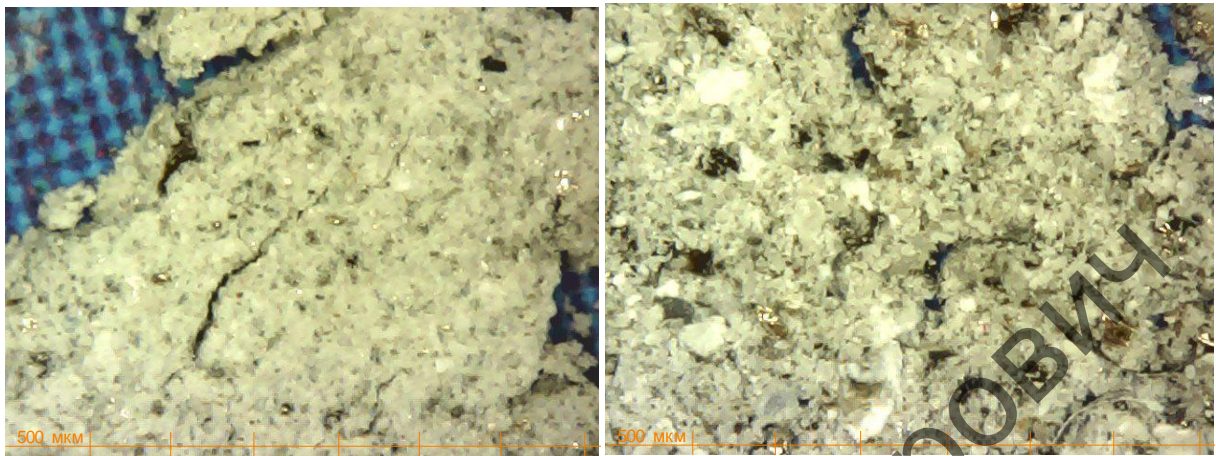
Фракції, мкм	АКТМ		Гібридайт	
	г	%	г	%
+200	0,1460	1,24	9,7930	8,67
200/160	0,0276	0,23	9,5745	8,47
160/125	0,0820	0,69	9,5439	8,45
125/100	0,0789	0,67	9,7139	8,60
100/80	0,1004	0,85	10,4779	9,27
80/63	0,1518	1,29	13,7881	12,20
63/50	1,5735	13,22	12,2741	10,86
50/40	1,4140	11,97	9,6538	8,54
-40	8,2380	69,75	28,1736	24,94
Всього	11,8122	100,00	112,9928	100,00

На рисунку 4.3 видно, що шлам, отриманий при руйнуванні породи вставками АКТМ досить однорідний (рис. 4.3, а).

При руйнуванні породи вставками з гібридайту спостерігається наявність частинок більшого розміру (рис. 4.3, б).

Раніше проведеними дослідженнями було встановлено [114], що для бурових коронок, що працюють в режимі стирання породи, характерна наявність в шламі дрібних частинок (50/40 мкм і менше), а для коронок, що працюють в режимі різання (сколювання) характерна присутність частинок розміром 50/40 мкм і більше. Беручи до уваги ці результати, і порівнюючи їх з даними представленими в таблиці 4.5 можна зробити висновок, що коронки, оснащені вставками АКТМ,

будуть працювати в режимі стирання, а вставками з гібридайту в режимі різання (сколювання).



a

б

Рисунок 4.3 – Шлам граніту X категорії буримості, отриманий при роботі породоруйнівних вставок: *a* – з АКТМ; *б* – з гібридайту

Даний результат є позитивним фактором для подальшого використання породоруйнівних вставок з гібридайту при розробці нових конструкцій бурових геологорозвідувальних коронок з комбінованою алмазовмісною матрицею.

4.2 Оцінка характеру руйнування твердих гірських порід алмазними коронками з комбінованою матрицею при обертовому бурінні

Згідно з проведеними дослідженнями, про які йшлося вище, на інтенсивність зношування породоруйнівних вставок гібридайту, встановлена можливість його використання у буровому інструменті, проте не оцінена ефективність руйнування твердих гірських порід буровими коронками з комбінованою алмазовмісною матрицею, оснащеною вставками з цього матеріалу. В даному випадку під ефективністю руйнування гірських порід мається на увазі поєднання високої механічної швидкості буріння з максимальними показниками шорсткості мікропрофілю вибою свердловини.

Ефективність руйнування гірської породи оцінювали за вказаною в розділі 2 вдосконаленою методикою вивчення мікропрофілю поверхні вибою, сформованого при алмазному бурінні.

Для оцінювання ефективності руйнування твердих гірських порід буровим інструментом були виготовлені три типи дослідних коронок діаметром 59 мм з плоским торцем і різним оснащенням об'ємного шару робочого торця алмазовмісної матриці [115]:

- коронка без оснащення вставками (№ 1);
- у центральній частині сектора (через сектор) встановлювали вставку АКТМ (№ 2);
- у центральній частині сектора (через сектор) встановлювали вставку з гібридаїту (№ 3).

Для оснащення об'ємного шару застосовували синтетичні алмази марки АС160Т зернистістю 355/300.

Схема оснащення робочого торця дослідної коронки породоруйнівними вставками показана на рис. 4.6.

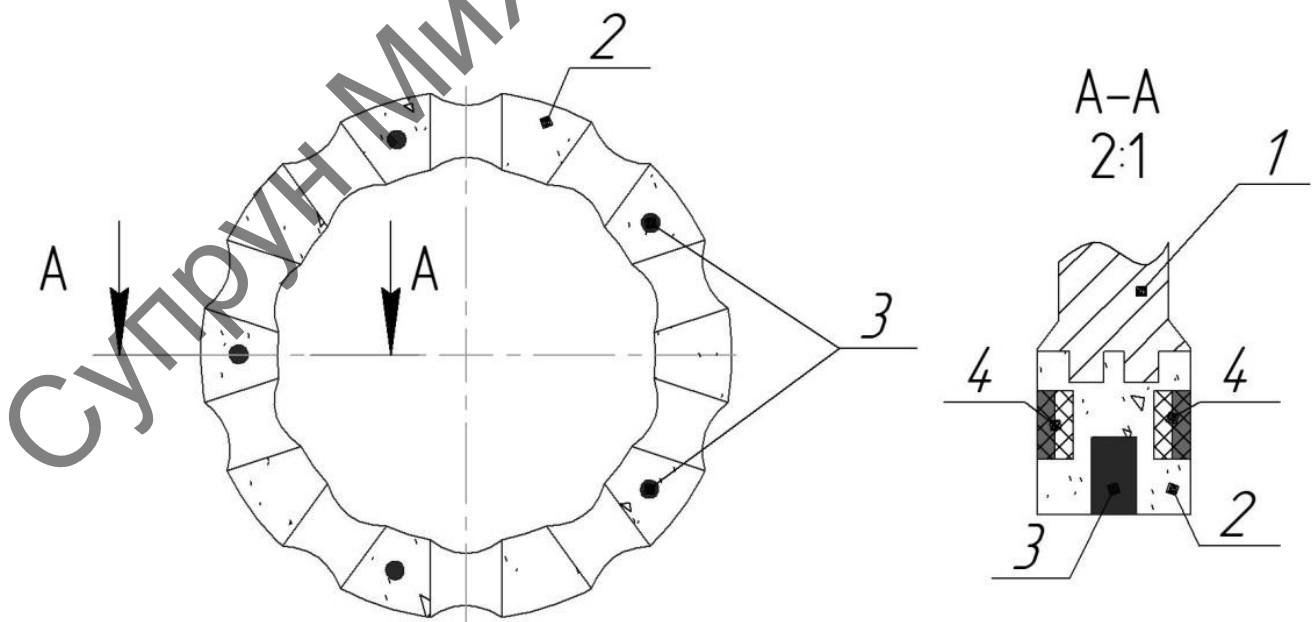


Рисунок 4.6 – Схема оснащення робочого торця дослідної коронки:

- 1 – корпус коронки; 2 – алмазовмісна матриця; 3 – вставки АКТМ або гібридаїту;
4 – підрізні вставки твесалу

Для оцінювання впливу параметрів шорсткості мікропрофілю поверхні вибою на механічну швидкість буріння $V_{\text{мех}}$ були проведені порівняльні стендові випробування зазначених дослідних бурових коронок. При цьому параметри режиму буріння були такими: частота обертання – 630 об/хв; осьова навантаження – 10 кН.

Результати дослідження шорсткості мікропрофілю поверхні і механічної швидкості буріння дослідними коронками наведені в таблиці 4.6.

Аналізуючи отримані дані, зазначимо, що використання породоруйнівних вставок з гібридаїту (№ 3) як додаткових інденторів в матриці бурової коронки підвищує шорсткість мікропрофілю поверхні вибою.

При роботі коронок зі вставками АКТМ (№ 2) також зберігається тенденція до підвищення шорсткості мікропрофілю поверхні вибою відносно отриманих результатів при бурінні коронкою без вставок (№ 1). Однак це збільшення значно менше, ніж при використанні вставок з гібридаїту.

Таблиця 4.6 – Результати вимірювання параметрів шорсткості мікропрофілю поверхні вибою і механічної швидкості буріння дослідними коронками

Номер коронки	Варіант оснащення робочого торця матриці	R_a , мкм	R_z , мкм	R_{max} , мкм	S_m , мкм	$V_{\text{мех}}$, м/год
1	Без вставок	1,143	4,438	6,656	350,94	1,9
2	Зі вставками АКТМ	1,977	6,599	11,277	503,64	2,4
3	Зі вставками з гібридаїту	3,834	11,566	21,246	996,54	2,9

Крім того, при випробуванні дослідних бурових коронок було встановлено, що механічна швидкість буріння коронками, оснащеними вставками з гібридаїту ($V_{\text{мех}} = 2,9$ м/год), значно перевищувала аналогічний показник у коронок без оснащення алмазовмісної матриці ($V_{\text{мех}} = 1,9$ м/год) і оснащених вставками

АКТМ № 2 ($V_{\text{мех}} = 2,4$ м/год), що свідчить про взаємозв'язок шорсткості вибою свердловини і механічної швидкості буріння.

4.3 Дослідження впливу схеми оснащення робочого торця алмазних коронок з комбінованою матрицею на показники процесу буріння твердих гірських порід

Експериментальні дослідження для підтвердження достовірності запропонованого в 3 розділі теоретичного способу оцінювання зносостійкості бурової коронки з армуючими вставками, їх кількості та впливу способу їх розстановки на робочому торці коронки, на показники процесу буріння твердих гірських порід проводились згідно з методикою, зазначеною у розділі 2.

Для проведення досліджень були виготовлені алмазні бурові коронки типу БС-06 діаметром 76 мм з різними варіантами оснащення робочого торця алмазовмісної матриці, що має пласку форму робочого профілю, породоруйнівними вставками з гібридаїту (рис. 4.7.) [97].

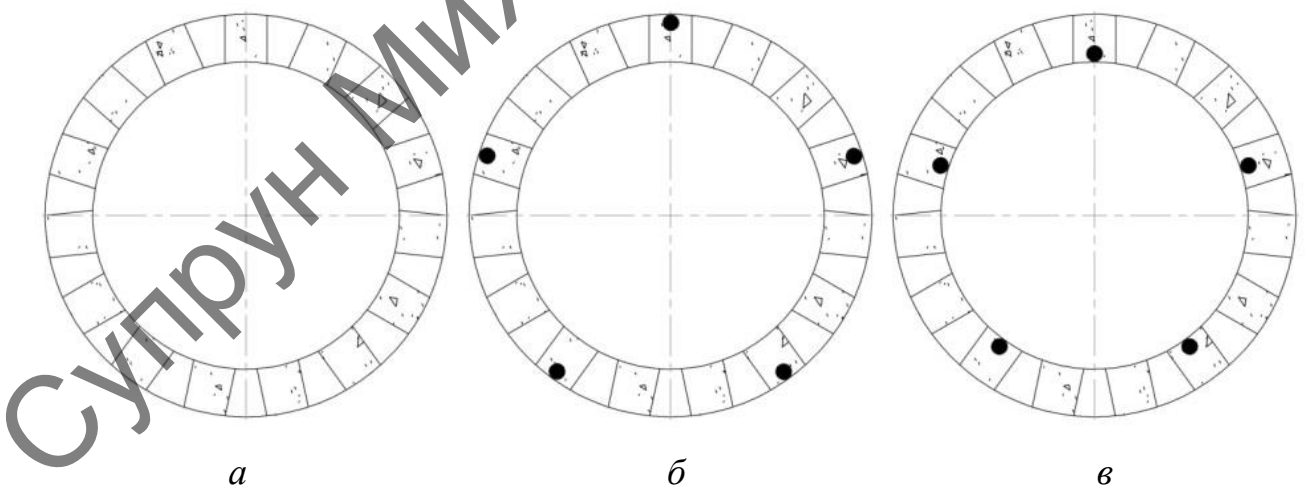


Рисунок 4.7 – Схеми оснащення вставок з гібридаїту на робочому торці алмазовмісних бурових коронок: *а* – без вставок (коронка №1); *б* – на зовнішньому радіусу (коронка №2); *в* – на внутрішньому радіусу (коронка №3)

Зовнішня і внутрішня поверхні матриці коронки були оснащені елементами твесалу, що забезпечують калібрування поверхні свердловини.

Гірською породою для випробування інструменту вибрали коростишівський граніт X категорії за буримістю.

Буріння здійснювали в блоці граніту на глибину до 0,5 м за одиничний прохід (рейс).

Для кожного експериментального зразка загальна проходка складалася з чотирьох рейсів, і в цілому склала 2 м, що забезпечило достовірні дані про величину вагового зношування матриці коронки в цілому.

Абсолютне значення вагового зношування визначали за різницю показань маси коронки з точністю до 0,01 г до і після одиничного досліду. Інтенсивність зношування ω визначали за формулою (2.3).

Параметри режиму буріння є такими:

- частота обертання – 630 об/хв;
- осьове навантаження – 15 кН.

Характер зношування профілю робочого торця алмазовмісної матриці бурових коронок фіксували після кожного рейсу за допомогою фотозйомки на міліметровому папері (рис. 4.8.).



Рисунок 4.8 – Фіксація зношування за допомогою фотозйомки

Зношування матриці коронки при різних схемах оснащення робочого торця бурової коронки породоруйнівними вставками з гібридайту ілюструє рисунок 4.9.

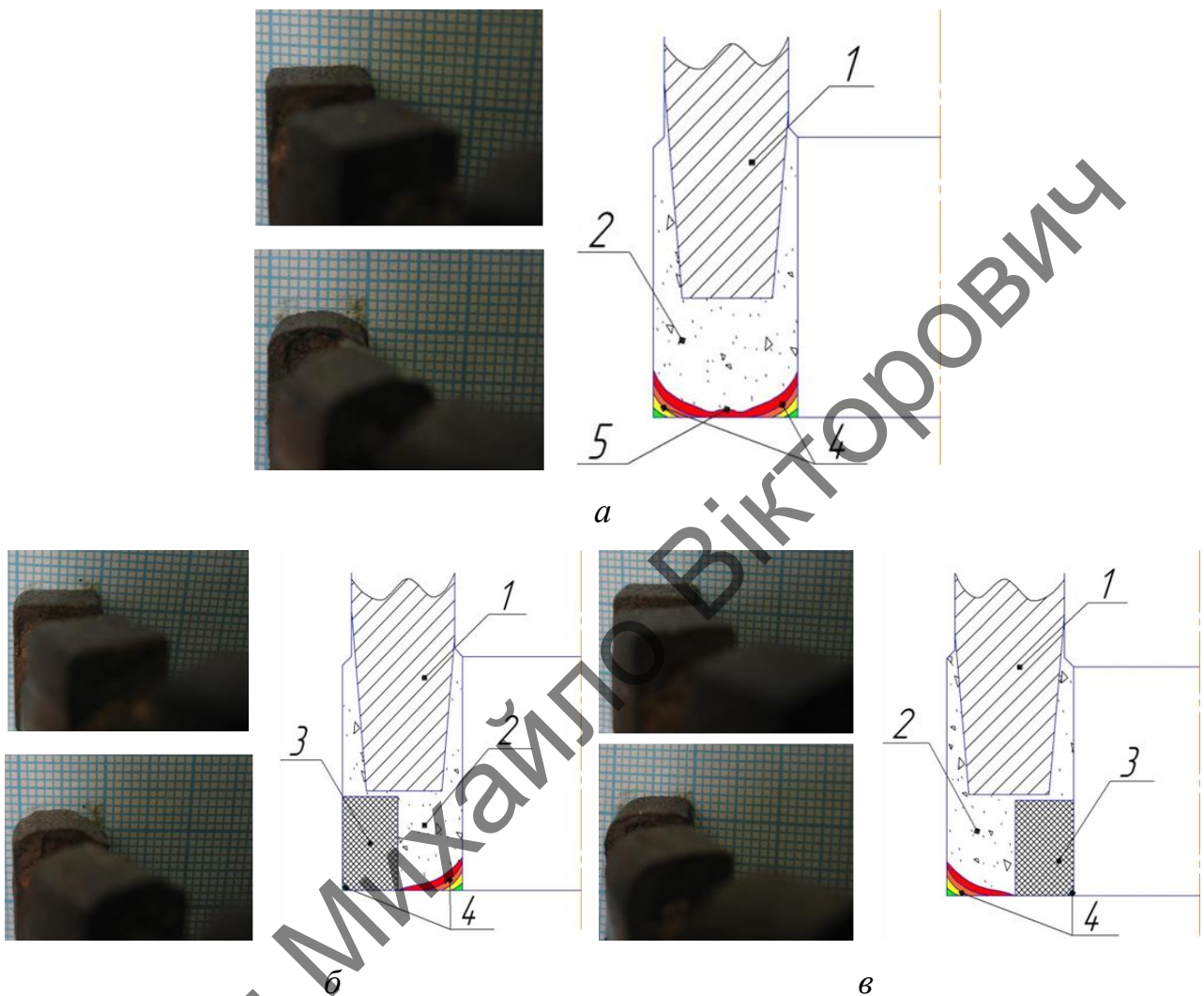


Рисунок 4.9 – Характер зношування алмазовмісних матриць при різних схемах оснащення робочих торців бурових коронки, породоруйнівними вставками з гібридайту: *а* – 1; *б* – 2; *в* – 3; 1 – корпус коронки; 2 – алмазовмісна матриця; 3 – вставка гібридайт; 4 – область зношування алмазовмісної матриці; 5 – кільцева канавка

На рисунку 4.9 видно, що при зазначених параметрах режиму буріння, алмазовмісні матриці коронки з різними схемами оснащення робочого торця вставками з гібридайту зношуються по-різному.

Так, алмазовмісна матриця бурової коронки №1 мала випереджаюче зношування на зовнішньому і внутрішньому діаметрах (рис. 4.9, *a*). При цьому в центрі торця коронки утворилася кільцева канавка. Як показують результати раніше виконаного дослідження [116], канавка на поверхні матриці утворюється внаслідок скупчення під торцем великих часток шламу, які відразу не виносяться промивною рідиною і зосереджуються в середній його частині. При подальшому переміщенні між робочим торцем матриці коронки і вибоєм свердловини вони повторно беруть участь в абразивному зносі матриці до їх повного подрібнення і виносу з-під торця промивною рідиною. Наявність канавок на поверхні матриці приводить до «зависання» інструмента на породі і, як наслідок, підвищення зношування алмазовмісної матриці і зниження механічної швидкості буріння.

Коронки №2 і №3 зі вставками, розташованими за схемами *б* і *в* на рис. 4.7, також схильні до нерівномірного зношування профілю робочого торця бурової коронки. Так, зношування коронки №2 значніше на внутрішньому діаметрі робочого торця (рис. 4.9, *б*) і, відповідно, коронки №3 – на зовнішньому діаметрі (рис. 4.9, *в*).

Причина такого зношування полягають у нерівномірному розподілі навантаження на робочому торці. Це пов'язано з тим, що твердість композиту матриці значно нижча за твердість породоруйнівних вставок гібридаїту [46, 63], через це зношування матриці постійно випереджає зношування породоруйнівних вставок.

Для зниження ймовірності утворення такого зношування зносостійкість матриці вирішили підвищити шляхом розстановки породоруйнівних вставок з гібридаїту в робочому торці алмазовмісної матриці коронки з оптимальним перекриттям на зовнішньому і внутрішньому діаметрах (рис. 4.10).

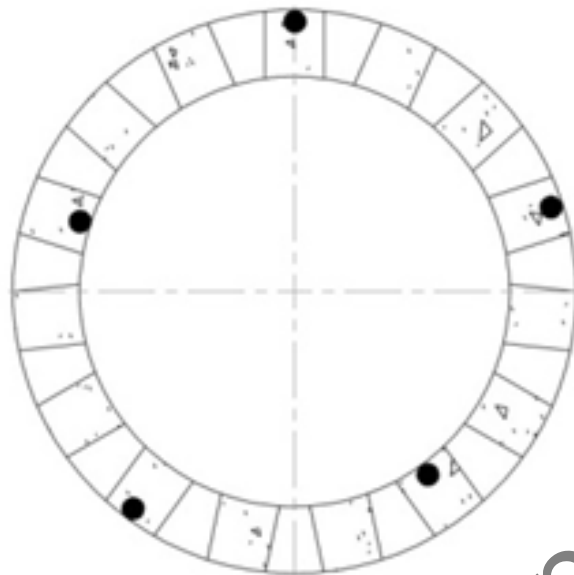


Рисунок 4.10 – Схема оснащення робочого торця алмазної бурової коронки вставками гібридаїту з перекриттям (коронка №4)

Результати випробування цієї коронки показали, що в такому випадку випереджального зношування профілю робочого торця на зовнішньому і внутрішньому діаметрах не спостерігається (рис. 4.11).

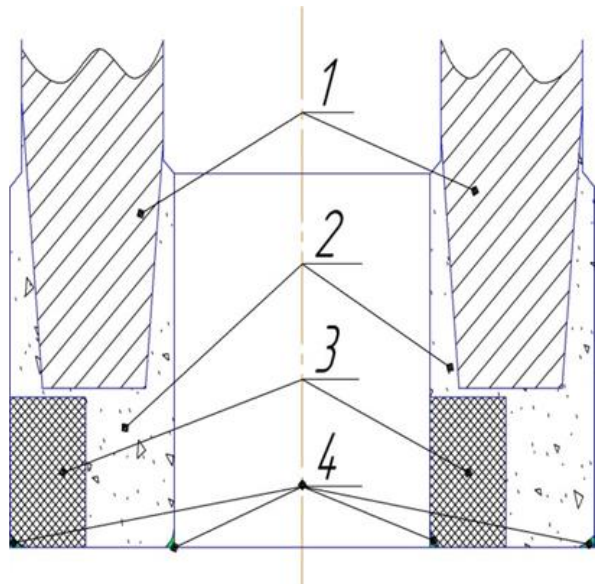


Рисунок 4.11 – Характер зношування алмазовмісної матриці коронки №4:

- 1 – корпус коронки; 2 – алмазовмісна матриця; 3 – вставка гібридаїту;
4 – область зношування алмазовмісної матриці

Результати випробування дослідних коронок з різними схемами оснащення робочого торця породоруйнівними вставками з гібридаїта наведено в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Результати випробувань дослідних коронок

Номер корон- ки	Про- ходка L , м	Час буріння t , год		Вагове зношу- вання Δm , г	Розрахункові показники		Інтенсив- ність ваго- вого зношу- вання ω , г/м
		за рейс	загальне		Механічна швид- кість буріння V , м/год		
					за рейс	середня	
№1	2	0,185	0,846	1,83	2,70	2,39	0,92
		0,199			2,51		
		0,224			2,23		
		0,238			2,10		
№2	2	0,191	1,509	1,42	2,61	2,09	0,71
		0,273			1,83		
		0,502			0,99		
		0,543			0,92		
№3	2	0,189	1,358	1,39	2,64	1,77	0,70
		0,213			2,34		
		0,446			1,12		
		0,510			0,98		
№4	2	0,181	0,739	1,22	2,75	2,70	0,61
		0,185			2,70		
		0,186			2,68		
		0,187			2,66		

З отриманих даних випливає, що найбільша інтенсивність зношування – 0,92 г/м – бурової коронки №1. Незважаючи на підвищену інтенсивність зношу-

вання, механічна швидкість буріння цієї коронкою найбільш оптимальна серед випробуваних коронок, окрім коронки №4.

Результати випробування коронок №2 і №3, показали, що спочатку швидкість буріння цими коронками становила 2,6 м/год, однак після проходки одного метра свердловини різко знизилася до 0,9 м/год.

При цьому інтенсивність зношування матриці цих коронок була порівняно однаковою (№2 – 0,71 г/м, №3 – 0,70 г/м).

Таке зниження механічної швидкості цих коронок обумовлене тим, що осьове навантаження розподілялося на робочому торці нерівномірно і тому питоме навантаження, яке припадає на вставку (одночасно в одній лінії різання у коронок №2 і №3 в роботі знаходилися п'ять вставок), була недостатньою для ефективного руйнування масиву гірської породи, оскільки породоруйнівні вставки з гібридаїту не «розкривалися», тобто недостатньо оголювалися алмази АКТМ і не заточувався CVD-алмаз, внаслідок чого вставки з гібридаїту працювали в режимі часткового заполірування, що сприяє різкому зниженню механічної швидкості буріння.

Зафіксували найменше зношування у коронки №4 (0,61 г/м), в якій вставки з гібридаїту на робочому торці розташовувалися з оптимальним перекриттям. При цьому механічна швидкість буріння коронкою №4 перевищувала механічну швидкість інших коронок і становила 2,69 м/год.

Це обумовлено тим, що осьове навантаження рівномірно розподілялося на робочому торці, і було достатнім для руйнування гірської породи, завдяки чому в процесі буріння спостерігався ефект «самозаточування» вставок з гібридаїту, тобто з'являлася конусність на їхньому робочому торці при вершині армуючої вставки з CVD-алмазу. Внаслідок цього при бурінні цією коронкою очевидний характер руйнування породи, притаманний сколюванню, а саме з відділенням від масиву більших за розміром часток шламу.

Це підтвердили результати вимірювання шорсткості поверхні вибою гірської породи (табл. 4.8).

Таблиця 4.8 – Результати вимірювання шорсткості мікропрофілю поверхні вибою

Номер коронки	Схема оснащення робочого торця бурової коронки вставками гібридаїту	Шорсткість, мкм (ГОСТ 2789-82)			
		R_a	R_z	R_{max}	S_m
1	Без вставок	1,14	4,72	7,57	389,18
2	На зовнішньому діаметрі	0,44	2,25	2,59	155,74
3	На внутрішньому діаметрі	0,49	2,44	3,02	168,97
4	З перекриттям	2,52	8,33	18,82	785,46

Аналізуючи отримані дані, слід зазначити, що використання схеми оснащення вставками гібридаїту з перекриттям в матриці бурової коронки №4 сприяє підвищенню шорсткості мікропрофілю поверхні вибою.

При бурінні коронкою №1 також зберігається тенденція до підвищення шорсткості мікропрофілю поверхні вибою у порівнянні з отриманими результатами при бурінні коронками №2 і №3. Однак таке підвищення істотно менше, ніж при використанні коронки №4.

Таким чином, найменш придатні для буріння коронки №2 і №3 через нерівномірне розподілення осевого навантаження між вставками з гібридаїту та синтетичними алмазами, що призвело до їх заполірування і відповідно зниження шорсткості мікропрофілю поверхні вибою.

Також для визначення оптимальної кількості породоруйнівних вставок, згідно з проведеними розрахунками у 3 розділі, були виконані експериментальні дослідження інтенсивності зношування та швидкості буріння коронок діаметром 76 мм з різними варіантами оснащення плоского робочого торця алмазовмісної матриці [109], а саме:

- без вставок гібридаїту;
- з двома вставками з гібридаїту (через 5 секторів);
- з трьома вставками з гібридаїту (через 3 сектора);

- з чотирма вставками з гібридаїту (розрахункова) (через 2 сектора);
- з шістьма вставками з гібридаїту (через сектор).

Породоруйнівні вставки з гібридаїту розміщувалися в алмазовмісній матриці бурової коронки з виходом на робочу поверхню торця з максимальним перекриттям.

Буріння дослідними коронками усіх чотирьох варіантів проводили в лабораторних умовах згідно з наведеною в розділі 2 методикою проведення експериментальних досліджень на роботоздатність алмазних бурових коронок на спеціальному стенді, що представляє собою модернізований радіально-свердильний верстат моделі 2Н58.

Параметри режиму буріння є такими:

- частота обертання – 630 об/хв;
- осьове навантаження – 12,5 кН.

Буріння здійснювали в блоці коростишівського граніту Х категорії за буримістю, на глибину до 1 м за одиничний прохід (рейс). Для кожного експериментального зразка бурової коронки загальна проходка складалася з чотирьох рейсів і в цілому складала 4 м, що забезпечило отримання достовірних даних про величину вагового зношування матриці коронки в цілому.

Інтенсивність вагового зношування ω (г/м) визначали за вказаною формулою (2.1).

Результати випробування дослідних коронок з різною кількістю породоруйнівних вставок з гібридаїта на робочого торці наведено в таблиці 4.9.

Дослідження показали, що у коронок з різною кількістю вставок гібридаїту на вершині робочого торця спостерігаються різні показники інтенсивності зношування матриці та механічної швидкості буріння. Так, у бурових коронок без оснащення додатковими породоруйнівними вставками спостерігається найбільша інтенсивність зношування серед дослідних коронок.

Як видно з таблиці 4.9, оснащення алмазовмісної матриці робочого торця бурової коронки додатковими породоруйнівними вставками призводить до збільшення механічної швидкості буріння та зменшення інтенсивності зношування матриці.

Таблиця 4.9 – Результати випробувань дослідних коронок з визначення оптимальної кількості породоруйнівних вставок

Варіант оснащення торця матриці коронки	Проходка на коронку L , м	Час буріння t , год.	Ваговий знос Δm , г	Розрахункові показники	
				Середня механічна швидкість буріння V , м/год	Інтенсивність вагового зношування ω , г/м
без вставок гібридаїту	4	2,062	3,67	1,94	0,92
з двома вставками		1,905	3,22	2,10	0,80
з трьома вставками з гібридаїту		1,852	3,08	2,16	0,77
з чотирма вставками з гібридаїту (розрахункова)		1,515	2,04	2,64	0,51
з шістьма вставками з гібридаїту		3,961	1,03	1,01	0,25

Так, у коронок з двома або трьома розташованими вставками з гібридаїту на поверхні робочого торця, механічна швидкість буріння збільшилась всього на 5–10% відповідно. Не набагато більше змінилася й інтенсивність зношування матриці, у порівнянні з коронками без оснащення додатковими породоруйнівними вставками. Це говорить про недостатню кількість породоруйнівних вставок на поверхні робочого торця матриці бурової коронки.

Збільшення кількості породоруйнівних вставок гібридаїту до чотирьох (через 2 сектора) призвело до підвищення механічної швидкості буріння на 40%, у

порівнянні з коронкою без вставок, та зменшило інтенсивність зношування матриці майже у два рази.

Подальше збільшення кількості породоруйнівних вставок гібридаїту до шістьох (через сектор), призвело до зменшення інтенсивності зношування матриці майже у чотири рази, ніж у коронок без вставок, але при цьому механічна швидкість буріння впала на 40%. Таке зниження механічної швидкості у цих коронок обумовлено тим, що осьове навантаження розподілялося на робочому торці нерівномірно і тому питоме навантаження, яке припадає на вставку, було недостатнім для ефективного руйнування масиву гірської породи, оскільки породоруйнівні вставки гібридаїту не «розкривалися», тобто недостатньо зношувалася оболонка з АКТМ і не оголювався CVD-алмаз, внаслідок чого вставки гібридаїту працювали в режимі часткового заповірювання, що спричиняє різке зниження механічної швидкості буріння.

З урахуванням вищевикладеного можна констатувати можливість регулювання механічної швидкості буріння та інтенсивності зношування алмазовмісної матриці бурової коронки шляхом розміщення в ній оптимальної кількості вставок гібридаїту.

Отримані експериментальні дані підтверджують, що визначення оптимальної кількості породоруйнівних вставок гібридаїту на робочому торці матриці бурової коронки може значно вплинути на ефективність буріння. Так, використання оптимальної кількості вставок гібридаїту при оснащенні алмазовмісної матриці бурової коронки збільшує механічну швидкість буріння майже в 1,4 раза і зменшує інтенсивність зношування її матриці в 2 рази, порівняно з буровою коронкою без оснащення робочого торця додатковими породоруйнівними вставками.

4.4 Розробка конструкції та виробничі випробування алмазних коронок з комбінованою матрицею при бурінні геологорозвідувальних свердловин

На підставі результатів виконаних досліджень була розроблена конструкція бурової коронки з алмазовмісною комбінованою матрицею типу БТ-22 діаметром

76 мм для буріння геологорозвідувальних свердловин у твердих гірських породах (IX ÷ XI категорії за буримістю) [117], об'ємний шар якої оснащений породоруйнівними елементами з гібридаїту. Загальний вигляд дослідної бурової коронки типу БТ-22 діаметром 76 мм представлений на рисунку 4.12.



Рисунок 4.12 – Загальний вигляд дослідної бурової коронки типу БТ-22

Конструкція алмазної бурової коронки типу БТ-22 складається з коронкового кільця, яке за допомогою зварювального шару з'єднане з алмазовмісною матрицею. Алмазовмісна матриця коронки БТ-22 розділена промивними пазми на 12 секторів.

Для конструкції дослідних бурових коронок був прийнятий профіль з усіченої півсфери. Який згідно отриманих результатів розрахунку радіального розподілу контактного тиску на робочій поверхні бурових коронок з різним радіальним профілем забезпечує найбільш рівномірний розподіл нормального тиску. Цей профіль дозволяє створити «пілотовані» властивості коронок і зменшити вібрацію, збільшити руйнування гірської породи на вибої і підвищити швидкість буріння, забезпечити таке розташування алмазів та породоруйнівних вставок, при якому досягається рівномірний розподіл навантаження на робочому торці комбінованої матриці, що у свою чергу підвищує загальну роботоздатність породоруйнівного ін-

струмента під час обертового буріння геологорозвідувальних свердловин у твердих гірських породах.

Об'ємний шар матриці коронки оснащується синтетичними монокристалічними алмазами марки АС160Т зернистістю 355/300.

У вершині профілю об'ємного шару матриці коронки БТ-22, за вказаною схемою (рис. 4.13), встановлюються з виходом на робочу поверхню торця з максимальним перекриттям вставки гібридаїту (діаметром 3,5 мм і висотою 4 мм), що були армовані CVD-алмазом чорного кольору (0,23 ÷ 0,25×1×4 мм).

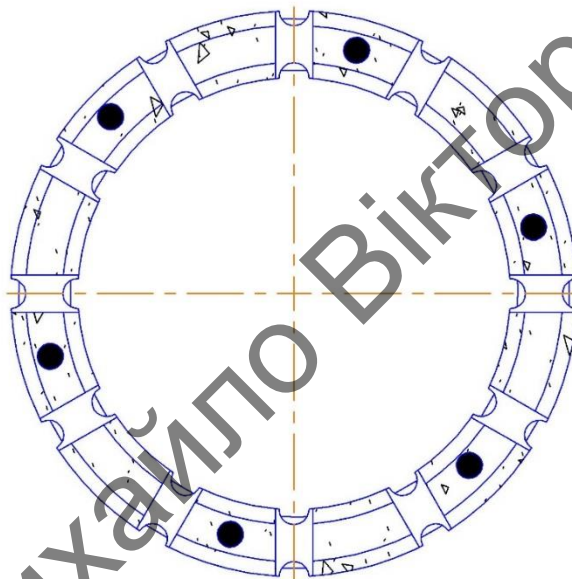


Рисунок 4.13 – Схема розташування породоруйнівних вставок з гібридаїту на поверхні робочого торця бурової коронки типу БТ-22

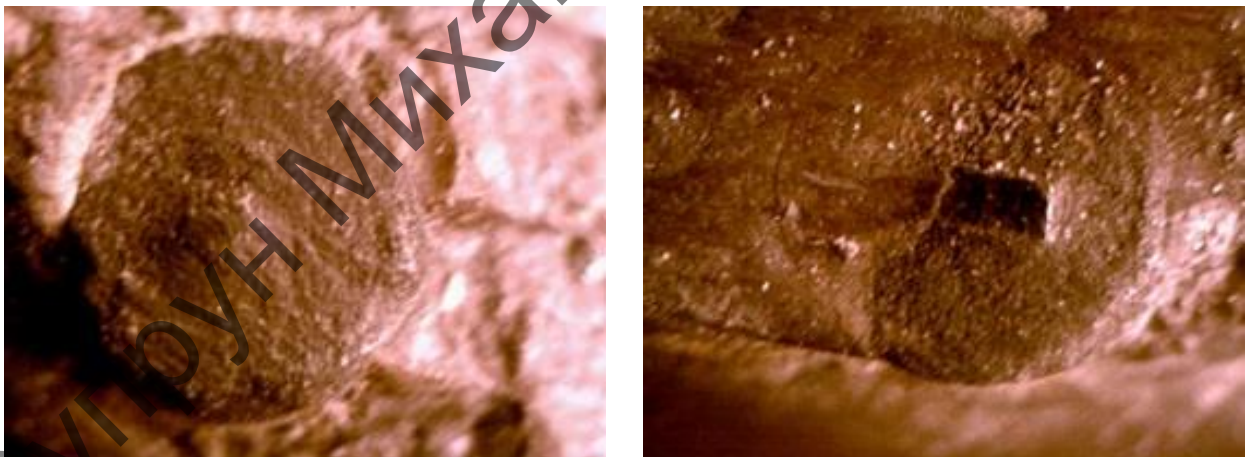
Виробничі випробування партії дослідних зразків проводилися для перевірки роботоздатності розроблених бурових коронок з алмазовмісною комбінованою матрицею, оснащених породоруйнівними вставками з полікристалічного алмазного композиту (АКТМ), армованих CVD-алмазом, та синтетичними алмазами (АС), при бурінні геологорозвідувальних свердловин одинарним колонковим снарядом.

Було виготовлено партію дослідних зразків бурової коронки типу БТ-22 в кількості 6 одиниць, які потім були передані на випробування в ДГП "Центрукр-геологія".

Випробування коронок типу БТ-22, проводили під час буріння планових геологорозвідувальних свердловин у породах IX – XI категорії за буримістю (гранітогнейси, кварцити, пігматити, силікат-магнетитові кварцити, сланці граніт-амфібол-піроксенові, магнетит-піроксенові кварцити, сілімінітно-біотитові сланці, амфіболіти) з використанням одинарного колонкового снаряда на станку шпиндельного типу СКБ-4. За базу порівняння були прийняті серійні бурові коронки типу БС-06 діаметром 76 мм, оснащені тільки синтетичними алмазами АС 160Т зернистістю 355/300 і серійно випускаються ІНМ НАН України. При цьому використовувалися такі режими буріння:

- частота обертання 340 – 576 об/хв;
- осьове навантаження 10 – 15 кН;
- витрата промивної рідини 19 – 30 л/хв.

Стан робочого торця секторів комбінованої матриці однієї з коронок, оснащеної породоруйнівною вставкою з полікристалічного алмазного композиту – гібридайт, представлено на рисунку 4.14.



a

б

Рисунок 4.14 – Торць породоруйнівної вставки з гібридайту: *a* – вставка гібридайту до відпрацювання, *б* – вставка гібридайту після відпрацювання

Як видно з рисунка 4.14, *б*, на торці породоруйнівної вставки спостерігається випереджуюче зношування оболонки з АКТМ та поступове оголення і виступ

вставки CVD-алмазу, що характеризує явне загострення всього елемента з гібридаїту в процесі буріння, і роботи всієї вставки як крупного різця.

Середні показники буріння дослідними та серійними коронками за попередніми даними наведені в таблиці 4.10.

Наведені в табл. 4.10 результати виробничих випробувань при бурінні свердловин у твердих гірських породах IX–XI категорії свідчать, що дослідні коронки типу БТ-22 діаметром 76 мм, оснащених вставками АКТМ різного складу і якості алмазного наповнювача (діаметром 3,5 мм і висотою 4 мм), армованих CVD-алмазом ($0,23 \div 0,25 \times 1 \times 4$ мм), а також синтетичними алмазами АС 160Т зернистістю 355/300, перевищують за своїми показниками серійні коронки БС-06 діаметром 76 мм, що були оснащені тільки синтетичними алмазами АС 160Т зернистістю 355/300, за середньою проходкою в 1,52 раза, а за механічною швидкістю буріння в 1,4 раза.

Таблиця 4.10 – Середні показники буріння дослідними та серійними коронками

Тип інструмента	Кількість шт	Середні показники буріння	
		Механічна швидкість буріння, м/год	Проходка на коронку, м
БТ-22	6	2,47	14,57
БС-06	6	1,76	9,60

Детальні результати порівняльних виробничих випробувань дослідних бурових коронок типу БТ-22, алмазовмісна комбінована матриця яких була оснащена породоруйнівними вставками гібридаїту, і серійних коронок БС-06 за вище зазначеними даними представлені в таблиці 4.11.

Як видно з даних таблиці 4.11, найкращі показники за проходкою і середньою механічною швидкістю буріння серед дослідних коронок мали коронки, що були оснащені породоруйнівними вставками АКТМ (АСМ зернистістю 40/28 хі-

мічно очищений (60%) + природний алмаз зернистістю 40/28 (40%)) армовані чорним CVD-алмазом.

Таблиця 4.11 – Результати порівняльних виробничих випробувань дослідних бурових коронок типу БТ-22 і серійних коронок типу БС-06

Тип інструмента	Кількість, шт	Показники буріння	
		Механічна швидкість буріння, м/год	Проходка на коронку, м
БТ-22 – АКТМ (АСМ зернистістю 40/28 хімічно очищений) + CVD-алмаз чорний	2	2,30	13,70
БТ-22 – АКТМ (АСМ зернистістю 40/28 хімічно очищений (60%) + природний алмаз зернистістю 40/28 (40%)) + CVD-алмаз чорний	2	2,50	14,50
БТ-22 – АКТМ (АСМ зернистістю 40/28 хімічно очищений (60%) + природний алмаз зернистістю 28/20 (40%)) + CVD-алмаз чорний	2	2,60	15,50
БС-06	6	1,76	9,60

4.5 Висновки до розділу

1. Порівняльні випробування роботоzдатності породоруйнівних вставок з гібридаїту та чистого АКТМ показали, що при руйнуванні твердої гірської породи зношування за масою вставок АКТМ було значно більшим (у 5 – 12 разів), ніж у вставок АКТМ, в яких запечені вставки монокристалічного синтетичного алмазу

та полікристалічного CVD-алмазу, при цьому інтенсивність зношування АКТМ була відповідно вищою в 2,34 – 14,4 рази.

2. Експериментальні дослідження роботоздатності породоруйнівних вставок з гібридаїту залежно від кольору та варіанту орієнтації пластини CVD-алмазу (зародковий, ростовий бік та бічна частина) показали, що інтенсивність зношування зародкового і ростового боків у варіанті виготовлення алмазного гібридного полікристалічного матеріалу "АКТМ+CVD-алмаз чорний" є більшою, ніж зародкового та ростового боків у варіанті виготовлення "АКТМ+CVD-алмаз світлий" у $2,00 \div 2,67$ рази, при однаковій інтенсивності зношування бічної частини вставки CVD-алмазу цих варіантів оснащення. Інтенсивність зношування у варіанті виготовлення "АКТМ+CVD-алмаз чорний" на зародковому і ростовому боках CVD-алмазу не відрізняється, а у варіанті виготовлення "АКТМ+CVD-алмаз світлий" інтенсивність зношування при роботі зародковим боком CVD-алмазу нижча в 1,33 раза, ніж при роботі його ростовим боком. При роботі бічною частиною CVD-алмазу, у варіанті "АКТМ+CVD-алмаз чорний" інтенсивність зношування в 2 рази нижча, ніж при роботі його зародковим та ростовим боками. У разі варіанту "АКТМ+CVD-алмаз світлий" інтенсивність зношування бічної частини CVD-алмазу дорівнює інтенсивності зношування його ростового боку і вища в 1,33 раза, ніж при роботі зародковим боком.

3. Встановлено, що при розміщенні вставки CVD-алмазу з виходом зародкового боку на робочу поверхню породоруйнівна вставка буде працювати в підрізному чи калібруючому режимі, а у випадку розміщення вставки CVD-алмазу з виходом на робочу поверхню його торцевої частини – у режимі різання твердої гірсько породи.

4. Лабораторні дослідження впливу термообробки на роботоздатність породоруйнівних вставок з гібридаїту показали, що термообробка впливає на породоруйнівні вставки з алмазного гібридного полікристалічного матеріалу в цілому позитивно – їх зносостійкість збільшилася від 2,5 раза (яко це CVD-алмаз марки CDD) до 5,5 раза (якщо це CVD-алмазна ріжуча вставка). Очевидно, що після

термообробки спостерігається процес зняття напруженого стану армуючих вставок CVD-алмазу.

5. Застосування породоруйнівних вставок з гібридаїту в алмазних коронках з комбінованою алмазовмісною матрицею в процесі обертового буріння призводить до підвищення шорсткості мікропрофілю поверхні вибою свердловини в 1,7 – 2,5 рази. Даний факт підтверджує, що при роботі бурових коронок з комбінованою алмазовмісною матрицею, оснащених вставками з гібридаїту очевидний характер руйнування, притаманний сколюванню, а саме з відділенням від масиву більших за розміром часток шламу.

6. За результатами вивчення розміру фракцій шламу, підтверджено, що при роботі породоруйнівних вставок з гібридаїту очевидний характер руйнування гірської породи, притаманний процесу сколювання, тобто з відділенням від масиву породи шламу неоднорідного за розміром, і більшого розміру, ніж після роботи вставки АКТМ.

7. Встановлено, що оснащення алмазовмісного шару матриці бурової коронки вставками з гібридаїту на зовнішньому і внутрішньому діаметрах під час обертового буріння сприяє усуненню аномального зношування матриці і підвищенню механічної швидкості буріння, що підтверджує достовірність аналітичних досліджень, проведених в 3 розділі.

8. Отримані експериментальні дані підтверджують, що визначення оптимальної кількості породоруйнівних вставок гібридаїту на робочому торці матриці бурової коронки може значно вплинути на роботоздатність коронки в процесі обертового буріння. Так використання оптимальної кількості вставок гібридаїту при оснащенні алмазовмісної матриці бурової коронки збільшує механічну швидкість буріння майже в 1,4 рази і зменшує інтенсивність зношування її матриці (тобто збільшує її проходку) в 2 рази, у порівнянні з буровою коронкою без оснащення робочого торця додатковими породоруйнівними вставками.

9. Розроблена і запатентована нова конструкція бурової коронки типу БТ-22 з комбінованою матрицею, яка оснащена породоруйнівними вставками з гібридаїту, а також синтетичними алмазами АС 160Т зернистістю 355/300. За

результатами виробничих випробувань під час буріння геологорозвідувальних свердловин у твердих гірських породах ІХ – ХІ категорії встановлено, що досліджувані бурові коронки типу БТ-22, перевищують за своїми показниками серійні коронки БС-06, які були оснащені тільки синтетичними алмазами АС 160Т зернистістю 355/300, за середньою проходкою в 1,52 раза, а за механічною швидкістю буріння в 1,4 раза.

Супрун Михайло Вікторович

ВИСНОВКИ

Дисертація є закінченою науково-дослідною роботою, в результаті виконання якої вирішено важливу науково-прикладну проблему, яка полягає у підвищенні роботоздатності алмазних імпрегнованих коронок при бурінні твердих гірських порід, за рахунок оснащення матриці коронки новими породоруйнівними вставками гібридаїту.

1. На основі аналізу літературних джерел встановлено, що найбільш ефективним інструментом для буріння твердих гірських порід на даний час є бурові коронки з комбінованою матрицею, оснащеною як синтетичними монокристаллами алмазу так і полікристалічними матеріалами водночас. Однак даний породоруйнівний інструмент на базі існуючих надтвердих матеріалів не забезпечує необхідну роботоздатність при руйнуванні твердих гірських порід в процесі буріння геологорозвідувальних свердловин.

2. Представлені розроблені та удосконалені методики експериментальних досліджень дозволяють з високою точністю оцінити ефективність руйнування гірської породи надтвердими вставками та буровим інструментом на їх основі, а також якісно оцінити вплив конструктивних параметрів комбінованої матриці бурової коронки на її роботоздатність в процесі обертового буріння.

3. Уперше запропоновано підхід до розрахунку контактного тиску на поверхні комбінованої бурової коронки, який базується на числовому аналізі модельної контактної крайової задачі механіки деформованого твердого тіла і забезпечує, на відміну від відомих в літературі, врахування не лише кінематики процесу буріння, а й специфіки контактної взаємодії інструмента з породою.

4. Уперше запропонована математична модель процесу еволюції робочого торця комбінованої матриці бурової коронки на основі розрахунку розподілу контактного тиску на її робочій поверхні в процесі обертового буріння. Одержані з використанням розроблених моделей числові результати, а також запропоновані наближені формули можуть бути використані для оптимізації конструкції, включаючи вибір профілю, оснащення і застосування породоруйнівних елементів з різною зносостійкістю для забезпечення рівномірного зношування

робочої поверхні бурової коронки, а отже, істотного підвищення її роботоздатності та терміну експлуатації при бурінні геологорозвідувальних свердловин.

5. У результаті порівняльних випробувань на роботоздатність породоруйнівних вставок з гібридаїту при різанні гірської породи X категорії за буримістю встановлено, що інтенсивність зношування залежить від властивостей і структури використовуваного CVD-алмазу. При цьому зносостійкість породоруйнивої вставки з гібридаїту при руйнуванні твердої гірської породи у 14 разів вище, ніж зразків з АКТМ.

6. Встановлено, що використання надтвердого матеріалу гібридайт при бурінні твердих порід призводить до ефекту «самозаточування» породоруйнівних вставок, що забезпечує підвищення ефективності руйнування твердих гірських порід буровими коронками з комбінованою матрицею.

7. Уперше встановлено, що використання гібридних надтвердих матеріалів для оснащення комбінованої матриці алмазної коронки дозволяє отримати характер руйнування гірської породи при обертовому бурінні, притаманний стиранню та сколюванню водночас.

8. Одержані теоретичні і дослідні дані щодо впливу породоруйнівних вставок з гібридаїту на роботоздатність алмазних коронок з комбінованою матрицею використано при розробці і реалізації породоруйнівного інструменту, зокрема, алмазної бурової коронки типу БТ-22, яка успішно пройшла виробничі випробування в компанії ДП «Центрукргеологія» (м. Черкаси) під час буріння геологорозвідувальних свердловин у твердих гірських породах. Розроблена конструкція нової бурової коронки типу БТ-22 діаметром 76 мм, яка, за рахунок використання породоруйнівних вставок з матеріалу гібридайт в комбінованій матриці, дозволяє підвищити середню проходку в 1,52 раза, а механічну швидкість буріння в 1,4 раза порівняно із серійними коронками.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Быченков Е. И. Особенности износа алмазов в коронках при бурении скважин. Методика и техника разведки / Е. И. Быченков. // ОНТИ ВИТР. – 1976. – №102. – С. 32–37.
2. Блинов Г. А. Некоторые вопросы высокооборотного алмазного бурения / Г. А. Блинов. // Бурение разведочных скважин в сложных условиях. – 1985. – №105.
3. Слюсарев Н. И. Технология и техника бурения геологоразведочных скважин с промывкой пеной. / Н. И. Слюсарев, А. Е. Козловский, Ю. Н. Лоскутов. – СПб.: Недра, 1996. – 180 с.
4. Воздвиженский Б. И. Разведочное бурение / Б. И. Воздвиженский, О. Н. Голубинцев, А. А. Новожилов. – М.: Недра, 1979. – 510 с.
5. Воздвиженский Б. И. Пути повышения эффективности алмазного бурения / Б. И. Воздвиженский. – М.: ВИЭМС, 1980. – 78 с.
6. Воздвиженский Б. И. Колонковое бурение / Б. И. Воздвиженский, С. А. Волков, А. С. Волков. – М.: Недра, 1982. – 360 с.
7. Повышение эффективности колонкового алмазного бурения / Б. И. Воздвиженский, Г. А. Воробьев, Л. К. Горшков и др. – М.: Недра, 1990. – 207 с.
8. Владиславлев В. С. Теория работы породоразрушающих инструментов: учебное пособие / В. С. Владиславлев. – М.: Недра, 1982. – 77 с.
9. Башкатов Д. Н. Разрушение горных пород при бурении алмазными коронками / Д. Н. Башкатов. // Теоретические и технологические аспекты разрушения технологической активации полезных ископаемых. Татар: TATARAMAN 88-1. – 1988. – С. 62 – 64.
10. Башкатов Д. Н. Исследование процесса алмазного бурения с позиций системного подхода. / Д. Н. Башкатов. // Разраб. и соверш. методов и средств оптимиз. и автоматиз. процессов алмаз. бурения – Л. – 1988. – С.19 – 24.
11. Сулакшин С. С. Бурение геологоразведочных скважин: справочное пособие / С. С. Сулакшин. – М.: Недра, 1991. – 334 с.
12. Сулакшин С. С. Практическое руководство по геологоразведочному бурению / С. С. Сулакшин. – М.: Недра, 1978. – 336 с.

13. Оницин В. П. Оценка распределения давлений под торцом импрегнированных коронок / В. П. Оницин. // ОНТИ. – Л.: ВИТР. – 1964. – №46. – С. 61–65.
14. Оницин В. П. Методы, технология и организация буровых работ с использованием съемного инструмента / В. П. Оницин. – М.: Недра, 1990. – 268 с.
15. Горшков Л. К. Влияние зернистости и концентрации объемных алмазов на ресурс импрегнированных коронок / Л. К. Горшков, А. В. Сахаров. // Породоразрушающий инструмент, армированный природными алмазами. Л.: ВИТР. – 1989. – С. 75 – 79.
16. Горшков Л. К. Температурные деформации алмазов в буровых коронках / Л. К. Горшков, Б. Б. Кудряшов, Е. И. Быченков. // Синтетические сверхтвердые материалы в геологоразведочном бурении.: Киев. – 1991. – С. 18 – 20.
17. Соловьев Н. В. Ресурсосберегающая технология алмазного бурения в сложных геологических условиях с применением газожидкостных смеси / Н. В. Соловьев, В. К. Володченко. // Бурение скважин в осложненных условиях - доклады н.-т.конф.посв.25-летию кафедры ТТГР. Донецк. – 1996. – С. 77 – 80.
18. Соловьев Н.В. Ресурсосберегающая технология алмазного бурения в сложных геологических условиях / Н. В.Соловьев, В. Ф. Чихоткин, Р. К. Богданов, А. П. Загора. – М.: ВНИИОЭНГ, 1997. – 330 с.
19. Соловьев Н. В. Бурение разведочных скважин / Н. В. Соловьев, В. В. Кривошеев, Д. И. Башкатов [и др.] – М.: Высшая школа, 2007. – 904 с.
20. Богданов Р. К. Сверхтвёрдые материалы в геологоразведочном инструменте / Р. К. Богданов, А. П. Загора, А. М. Исонкин и др. – Екатеринбург: УГТГА, 2003. – 138 с.
21. Богданов Р. К. О механизме износа импрегнированных коронок, взаимодействующих с частицами шлама / Р. К. Богданов. // М., Известия ВУЗов. Геология и разведка. – 1987. – №7. – С. 87 – 91.
22. Богданов Р. К. Исследование и разработка породоразрушающего инструмента из сверхтвердых материалов / Р. К. Богданов, А. П. Загора, А. А. Бугаев // Техн., технол. и орг. геол.-разв. работ. – М.: АО «Геоинформмарк» . – 1993. – 44 с.

23. Богданов Р. К. Алмазный инструмент для бурения в породах средней твердости / Р. К. Богданов, А. П. Загора, А. М. Исонкин. // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Сер.: Гірничо-геологічна. – 2005. – №96. – С. 61–68.
24. Власюк В. И. Новые технологии в создании и использовании алмазного породоразрушающего инструмента/Ю. Е. Будюков, Л. К. Горшков, А. И. Осецкий [и др.]– М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2002. – 140 с.
25. Власюк В. И. Бурение и опробование разведочных скважин. Учеб. пособие для вузов / В. И. Власюк, А. Г. Калинин, А. А. Аннеков. – М.: ЦентрЛитНефтеГаз, 2010. – 864 с.
26. Загора А. П. Исследование работоспособности и результаты применения импрегнированных коронок с комбинированной матрицей / А. П. Загора // Синтетические сверхтвердые материалы в геологоразведочном бурении. – К.: ИСМ АН УССР, 1987. – С. 86–91.
27. Загора А. П. Разработка коронок с равноизносостойким профилем комбинированной матрице для бурения скважин в монолитных и слаботрещинчатых породах: автореф. дис. на соиск. научн. степени канд. техн. наук : спец. 05.15.14 "Технология и техника геологоразведочных работ" / Загора А. П. – М., 1991. – 19 с.
28. Загора А. П. Высокопрочные синтетические алмазы в буровом породоразрушающем инструменте / А. П. Загора, Р. К. Богданов, А. М. Исонкин // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2002. – Вып. 5. – С. 102–105.
29. Блинов Г. А. Алмазосберегающая технология бурения / Г. А. Блинов. – Л.: Недра, 1989. – 184 с.
30. Воробьев Г. А. Режимы работы алмазной коронки и их исследования с помощью скоростной киносъемки / Г. А. Воробьев, Б. А. Новожилов, С. А. Варца. // Изв.ВУЗов, Геолог. и разв.. – 1988. – №9. – С. 25–30.

31. Арцимович Г. В. Пространственная модель напряженно-деформированного состояния пород кольцевой коронки / Г. В. Арцимович, А. С. Тетельбаум // Разрушение горных пород / Г. В. Арцимович, А. С. Тетельбаум. – Якутск: ЯФСО АН СССР, 1984. – С. 24 – 27.
32. Арцимович Г. В. Механофизические основы создания породоразрушающего бурового инструмента / Г. В. Арцимович. – Новосибирск: Наука, 1985. – 265 с.
33. Свешников И. А. Исследование процесса разрушения горных пород методом люминесцентной дефектоскопии / И. А. Свешников, Э. М. Винник // Разрушение горных пород инструментом из сверхтвердых материалов. – К.: ИСМ АН УССР, 1980. – С. 12 – 18.
34. Ребиндер П. А. Физико-химия поверхностных явлений и дисперсных систем в СССР в применении к технике / П. А. Ребиндер // Математика в естествознании за 20 лет. – М., 1938. – С. 126 – 130.
35. Чихоткин В. Ф. Исследование призабойных процессов в алмазном бурении / В. Ф. Чихоткин. – М.: ВНИИОЭНГ, 1998. – 143 с.
36. Разведочное бурение: Учеб. для вузов / А. Г. Калинин, О. В. Ошкордин, В. М. Питерский, Н. В. Соловьев. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2000. – 748 с.
37. Исонкин А. М. Связь износа алмазных импрегнированных буровых коронок с интенсивностью разрушения горной породы / А. М. Исонкин, Р. К. Богданов, А. П. Загора // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2007. – С. 56 – 63.
38. Эпштейн Е. Ф. Бурение скважин гидроударниками / Е. Ф. Эпштейн, В. Г. Ясов. – М.: Недра, 1967. – 160 с.
39. Шрейнер Л. А. Физические основы механики горных пород / Л. А. Шрейнер. – М.: Гостоптехиздат, 1950. – 211 с.
40. Технология и техника разведочного бурения / Ф. Л. Шамшев, С. Н. Тараканов, Б. В. Кудряшов [и др.]. – М.: Недра, 1983. – 565 с.

41. Методика изучения микропрофиля поверхности забоя, сформированного при алмазном бурении / А. П. Загора, В. Ф. Фадеев, Б. А. Новожилов [и др.] // М.: Изв. ВУЗов, геол. и разв. – 1989. – №2. – С. 140 – 141.
42. Крагельский И. В. Трение и износ / И. В. Крагельский. – М.: Машиностроение, 1968. – 480 с.
43. Тененбаум М. М. Износостойкость конструкционных материалов и деталей машин при абразивном изнашивании / М. М. Тененбаум. – М.: Машиностроение, 1966. – 332 с.
44. Хрущев М. М. Исследование изнашивания материалов / М. М. Хрущев, М. А. Бабичев. – К.: Изд-во АН СССР, 1960. – 351 с.
45. Цыпин Н. В. Износостойкость композиционных алмазосодержащих материалов для бурового инструмента / Н. В. Цыпин. – К.: Наук. думка, 1983. – 191 с.
46. Богданов Р. К. Влияние интенсивности разрушения горной породы на износостойкость буровых коронок / Р. К. Богданов, А. М. Исонкин. // сб. АН Украины. – 1993. – С. 34–38.
47. Метод оценки износостойкости алмазно-твердосплавных пластин. Стандарт предприятия СТП 28.5 05417377 100 2003. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2003. – 10 с.
48. Майстренко А. Л. Формирование структуры композиционных алмазосодержащих материалов в технологических процессах: [монография] / А. Л. Майстренко; под ред. акад. НАН Украины Н. В. Новикова; НАН Украины, Ин-т сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля. – К.: Наук. думка, 2014. – 341 с.
49. Исследование влияния формы профиля буровых коронок на эффективность разрушения горных пород / Р. К. Богданов, В. И. Опольский, А. А. Бугаев [и др.] // Породоразрушающий инструмент, армированный природными алмазами: сб. науч. тр. – Л.: ВИТР, 1989. – С. 89–96.
50. Волков Л. С. Создание алмазного породоразрушающего инструмента / Л. С. Волков. // Породоразрушающий инструмент, армированный природными алмазами: сб. науч. тр. Л.:ВИТР. – 1989. – С. 52 – 63.

51. Лившиц В. Н. Исследование и расчет профиля матрицы алмазной коронки для бурения трещиноватых пород / В. Н. Лившиц, Р. А. Авазмухамедов. // Техн. и технол. геол.-разв. работ – М.: ВИЭМС. – 1980. – С. 11 –18.
52. Загора А. П. Влияние конструктивных особенностей матрицы алмазной коронки на эффективность разрушения горных пород / А. П. Загора, Р. К. Богданов. // Проблемы научно-техн. прогресса в бурении геол. разв. скважин. Томск.:ТГУ. – 1994. – С. 20–21.
53. Оницин В. П. О характере износа импрегнированных коронок при бурении диабазов / В. П. Оницин. // Методика и техника разведки. – 1965. – №54. – С. 38-41.
54. Пуняк В. Р. Исследование процесса изнашивания бурового породоразрушающего инструмента, оснащенного славутичем, методом математического моделирования: дис. канд. техн. наук: 05.15.14 / Пуняк В. Р.–Днепропетровск, 1980.– 104 с.
55. Сверхтвердые материалы в геологоразведочном бурении / П. В.Зыбинский, Р. К. Богданов, А. П. Загора, А. П. Исонкин. – Донецк: НОРД-ПРЕСС, 2007.– 244 с.
56. Симкин Э. С. Структура и свойства композиционных алмазосодержащих материалов, полученных в условиях высоких давлений / Э. С. Симкин, Н. В. Цыпин. // Сверхтвердые материалы. – 1989. – №5. – С. 29 – 33.
57. Загора А. П. Исследования работоспособности и результаты применения импрегнированных коронок с комбинированными матрицами / А. П. Загора. // Синтетические сверхтвердые материалы в геологоразведочном бурении. – 1987. – С. 85–91.
58. Композиционный материал твесал в буровом геологоразведочном инструменте / Р. К.Богданов, А. П. Загора, А. М. Исонкин, М. В. Супрун. // Дніпропетровськ, Науковий вісник НГУ. – 2005. – №12. – С. 52 – 56.
59. Загора А. П. Влияние вставки твесала, размещенной в торце матрицы импрегнированной коронки, на процесс разрушения горных пород / А. П. Загора. //

Синтетические сверхтвердые материалы в геологоразведочном бурении.– 1988. – С. 65–70.

60. Загора А. П. К вопросу влияния вставки СКМ на процесс разрушения твердых горных пород коронками с комбинированной матрицей / А. П. Загора, В. Ф. Фадеев. // Синтетические сверхтвердые материалы в геологоразведочном бурении. – 1991. – С. 63–67.

61. А. А. Шульженко Алмазный поликристаллический материал для оснащения бурового инструмента / А.А. Шульженко, Р.К. Богданов, В.Г. Гаргин и др. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2007. – Вып. 10. – С. 189–196.

62. Пластины алмазно-твердосплавные для режущего инструмента. Технические условия. ТУ 88 Украины 90.1244-91.–Киев: ИСМ НАН Украины, 1991. – 21 с.

63. Богданов Р. К. Поликристаллический материал АКТМ в виде цилиндров в буровом импрегнированном инструменте / Р. К. Богданов, А. А. Шульженко, А. П. Загора, А. М. Исонкин, В. Г. Гаргин, А. Панов // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Сер.: Гірничо-геологічна., 2006. – Вип. 111(2). – С. 102–107.

64. Буровой геологоразведочный инструмент, оснащенный алмазным композиционным термостойким материалом АКТМ / Р. К. Богданов, А. А. Шульженко, А. П. Загора [и др.]. // Инструмент. світ. – 2008. – №1. – С. 10–14.

65. Остроушко Н. А. Забойные процессы и инструменты при бурении горных пород / Н. А. Остроушко. – М.: Госгортехиздат, 1962. – 213 с.

66. Портнова М. И. Исследования по разрушению горных пород / М. И. Портнова, Н. И. Павлова. – М.: Недра, 1965. – 213 с.

67. Исаев М. И. Основы прогрессивной технологии алмазного бурения геологоразведочных скважин / М. И. Исаев, П. В. Пономарев. – М.: Недра, 1975. – 288 с.

68. Породоразрушающий инструмент для геологоразведочных скважин. Справочник / Н. И. Корнилов, В. С. Травкин, Л. К. Берестень [и др.]. – М.: Недра, 1979. – 359 с.
69. Новый сверхтвердый материал в буровом инструменте / Р. К. Богданов, А. А. Шульженко, А. П. Загора [и др.] // Сверхтвердые материалы. – 2007. – №1. – С. 73–82.
70. Гибридный алмазный композиционный поликристаллический материал и его свойства / А. А. Шульженко, Е. Е. Ашкинази, Р. К. Богданов [и др.]. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины. – 2010. – Вып. 13 – С. 214–223.
71. Влияние свойств микропорошков алмаза на прочность и долговечность изготовленных на их основе поликристаллических сверхтвердых материалов / М. Г. Лошак, А. А. Шульженко, Л. И. Александрова [и др.] // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2008. – Вып. 11. – С. 174–179.
72. Износостойкость и термостабильность алмазных поликристаллических композиционных материалов / А. А. Шульженко, А. В. Ножкина, Р. К. Богданов [и др.] // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2008. – Вып. 11. – С. 237–242.
73. Ральченко В. Г. Свойства и применение поликристаллических алмазных пластин / В. Г. Ральченко, В. И. Конов, И. А. Леонтьев // 7-я междунар. науч.-техн. конф. «Высокие технологии в промышленности России»: Сб. тр. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – С. 246–253.
74. Пат. на корисну модель № 21897 Україна МПК С01 В 31/06 Спосіб спікання композиційного матеріалу на основі порошків алмазу / О. О. Шульженко, В. Г. Гаргін, Н. О. Русінова. – Опубл. 10.04.07, Бюл. № 4.

75. Пат. на корисну модель № 58629 Україна МПК8 C04B 35/5831, C04B 35/80. Гібридний надтвердий композиційний матеріал / О. О. Шульженко, Р. К. Богданов, В. Г. Гаргін та ін. – Опубл. 26.04.11, Бюл. №8.
76. Насибов Н. А. Расчет номинального давления в контакте алмазного бурового инструмента с забоем скважины / Н. А. Насибов. // Трение и износ. – 2000. – С. 618–622.
77. Крагельский И. В. Основы расчета на трение и износ / И. В. Крагельский, М. Н. Добычин, В. С. Комбалов. – М.: Машиностроение, 1977. – 592 с.
78. Вовчановский И.Ф. К теории расчета и построения схем размещения породоразрушающих элементов на рабочем торце долота истирающе-режущего типа / Вовчановский. // Сб. научн. тр. Разрушение горных пород инструментом из сверхтвердых материалов. – 1989. – С. 12–15.
79. Вовчановский И. Ф. Породоразрушающий инструмент, оснащенный славутичем для глубокого бурения скважин / И. Ф. Вовчановский. – К.: Наук. думка, 1979. – 209 с.
80. Свешников И. А. Исследование распределения силовых нагрузок на лопасти бура / И. А. Свешников, Н. Д. Федоренко. // Сб. научн. тр. «Новый породоразрушающий инструмент из сверхтвердых материалов». – 1992. – С. 27 – 33.
81. Лисовский В. С. Тензорезец для опытного бурения скважин / В. С. Лисовский. // Вестник КПИ. Горная электромеханика и автоматика. – 1989. – №20. – С. 15–19.
82. Загора А. П. Алгоритм расчета удельных нормальных нагрузок и их распределение по профилю матрицы импрегнированной коронки / А. П. Загора, Р. К. Богданов. // В сб.: Применение синтетических алмазов в бурении, Л., ВИТР. – 1991. – С. 54–57.
83. Красник В. Г. Особенности контактного взаимодействия режущего бурового инструмента с породой / В. Г. Красник. // Сб. научн. тр. «Новый породоразрушающий инструмент из сверхтвердых материалов. – 1992. – С. 7 – 11.

84. Бишев А. Г. К вопросу распределения нагрузок и рационального размещения резцов в долотах истирающе-режущего типа / А. Г. Бишев, Е. Т. Струговец. // Бурение и эксплуатация нефтяных скважин. – Тюмень. – 1972. – №28.
85. Бишев А. Г. Рациональная форма поверхности торца алмазных долот и коронок, обеспечивающая их равномерный износ / А. Г. Бишев. // Тр. Уфимского нефтяного научно-исследов. института. – 1970. – №26. – С. 33–38.
86. Аналитические исследования напряженного состояния призабойной зоны глубокой буровой скважины / В. И. Моссаковский, Г. В. Арцимович, В. А. Зюзин, В. Г. Мусяка. // В сб. Горный породоразрушающий инструмент. Техніка, Киев. – 1970. – С. 198–213.
87. Характер разрушения углового участка забоя скважины при вдавливании прямоугольного штампа / В. И. Моссаковский, Г. В. Арцимович, В. А. Зюзин, В. А. Мусяка. // В сб. горный породоразрушающий инструмент. Техніка, Киев. – 1970. – С. 214–219.
88. Галин Л. А. Контактные задачи теории упругости / Л. А. Галин. – М.: Гос-техтеоретиздат, 1953. – 264 с.
89. Кагарманов Н. Ф. Научные основы проектирования долот непрерывного режуще-скалывающего действия / Н. Ф. Кагарманов. // Технология бурения и заканчивания скважин в Башкирии – Уфа. – 1983. – №67.
90. Бочковский А. М. Анализ оснащённости долот типа ИСМ / А. М. Бочковский. // Сверхтвёрдые материалы. – 1981. – №2. – С. 17–21.
91. Бочковский А. М. О распределении осевой нагрузки по рабочей поверхности бурового инструмента / А. М. Бочковский // Сверхтвёрдые материалы – 1984 – №6. – С. 28 – 31.
92. Методика определения коэффициента термостабильности шлифпорошков синтетических алмазов: М.28.5–299:2010. – К.: ИСМ НАН Украины, 2010. – 7 с.
93. Методика отсева шлама горной породы по фракциям: М.23.9–321:2015. – К.: ИСМ НАН Украины, 2015. – 7 с.
94. Куш В.И. Численный анализ силового контактного взаимодействия долота с породой / В.И. Куш, А.О. Казьмин // Породоразрушающий и металлообрабатыва-

ющий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2006. – Вып. 9. – С. 14–20.

95. Designing and Calibrating Materials for Additive Manufacturing Processes [Электронный ресурс]. – 2013. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.3ds.com/products-services/simulia/>

96. Оцінка розподілу контактного тиску по робочій поверхні бурової коронки/М.В. Супрун, В.І. Куш, А.П. Загора, Р.К. Богданов//Розвідка та розробка нафтових та газових родовищ, 2015. – № 3 (56). –С. 66–71

97. Супрун М.В. Влияние схемы расстановки вставок гибридаита в импрегнированных коронках на эффективность бурения твердых горных пород/ М.В. Супрун, Р.К. Богданов, А.П. Загора // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения Киев: Сборник научных трудов. – Вып. 17 Киев. ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины. – 2014. – С. 26 – 32.

98. Evans A. G. Fundamentals of friction and wear materials / A. G. Evans, D. B. Marshall., 1981. – 439 p.

99. Fleischer G. Energetische Methode der Bestimmung des Verschleißes / Fleischer. // Schmierungstechnik. – 1973. – №4. – S.9. – P. 16. – S.9 – 16.

100. Горячева И.Г. Механика фрикционного взаимодействия./ И.Г. Горячева. – М.: Наука, – 2001. – 478 с.

101. Holm R. Electric contacts. Stockholm: Almquist and Wiksells /Holm R.–1946.

102. Archard J. F. Contact and rubbing of flat surfaces / Archard. // J. Appl. Phys. – 1953. – №24. – P. 981–988.

103. Rabinowicz E. Friction and wear of materials / Rabinowicz. – N. Y.: Wiley, 1965. – 244 p.

104. Моделивання зношування та формозміни робочої поверхні бурової коронки/М.В. Супрун, В.І. Куш, А.П. Загора, Р.К. Богданов//Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2015. – Вып. 18. – С. 122–127.

105. Галин Л.А. Контактные задачи теории упругости и вязкоупругости./Л.А. Галин. – М.: Наука, 1980. – 302 с.
106. Загора А.П. Результаты обработки коронок, оснащенных синтетическими алмазами и славутичем в объемном и подрезном слоях/ А.П. Загора, А.П. Фадеев В.Ф., Воздвиженский Б.И.// Изв. ВУЗов, Геол. и разв., М.1982.– №6.–С. 117– 118.
107. Оцінка зносостійкості бурової коронки з армуючими вставками гібридайт/М.В. Супрун, В.І. Куц, А.П. Загора, Р.К. Богданов// Сверхтвердые материалы.–К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля, 2015.– № 5.– С. 95 – 98.
108. Горячева И. Г. Контактные задачи при наличии износа для тел с переменным по поверхности коэффициентом износостойкости/ И. Г. Горячева, Е. В. Торская // Трение и износ. – 1992. – 13, № 1. – С. 185–194.
109. Супрун М.В. Оцінка оптимальної кількості вставок гібридайта на робочому торці бурової коронки/М.В. Супрун//Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2015. – Вып. 18. – С. 127–130.
110. Спивак А.И. Разрушение горных пород при бурении скважин /А.И. Спивак, А.Н. Попов. – М.: Недра. – 1994.
111. Исследование работоспособности нового гибридного алмазного композиционного поликристаллического материала при разрушении крепких горных пород/А.А. Шульженко, Р.К. Богданов, А.П. Загора [и др.]// Наук. пр. ДонНТУ. Серія «Гірничо-геологічна». – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2011. – Вип.13(178). – С. 117 – 122
112. Исследование работоспособности гибридного алмазного композиционного поликристаллического материала для бурового инструмента/ А.П. Загора, Р.К. Богданов, А.А. Шульженко [и др.]//Наук. пр. ДонНТУ. Серія «Гірничо-геологічна». – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2011. – Вип.14(181) . – С. 150 – 157.
113. Оценка характера разрушения горных пород различными породоразрушающими элементами/М.В. Супрун, А.П. Загора, Р.К. Богданов [и др.] //Наук. пр. ДонНТУ. Серія «Гірничо-геологічна». – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2013. – Вип.2(19) . – С. 253 – 256.

114. Синтетические алмазы в геологоразведочном бурении / А.А. Бугаев, В.Н. Лившиц, В.В. Иванов [и др.] – К.: Наук, думка. – 1978. – 232 с.
115. Оценка эффективности разрушения твердых горных пород буровыми коронками, оснащенными синтетическими алмазами и вставками гибридаита/ М.В. Супрун, А.П. Закора, Р.К. Богданов, [и др.] //Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент–техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2013. – Вып. 16. – С. 39–43.
116. Марамзин А. В. Алмазное бурение на твердые полезные ископаемые/ А. В. Марамзин, Г. А. Блинов. –Л.: Недра. –1977.– 248 с.
117. Патент на винахід №96692. МПК E21B 10/48, E21B 10/48 Бурова коронка/ Р.К. Богданов, А.П. Закора, О.О. Шульженко, В.Г. Фаргін, О.М. Соколов, Є.Є. Ашкіназі, В.Г. Ральченко, В.І. Конов, М.В. Супрун, опубл. 25.11.2011, Бюл. №22, 2011 р. – 0,8 п.л.

Супрун Михайло Вікторович

ДОДАТКИ

Супрун Михайло Вікторович

ДОДАТОК А

ADPL-скрипт розрахунку розподілу тиску для бурової коронки довільного профілю методом скінчених елементів

Супрун Михайло Вікторович

```

=====
! DRILLING CROWN CONTACT PRESSURE DISTRIBUTION
! Misha Suprun's PhD thesis for: Dec 15, 2012
=====
FINISH
/CLEAR, START

*DIM, NNN, ARRAY, 400
*DIM, X, ARRAY, 400
*DIM, Y, ARRAY, 400
*DIM, P, ARRAY, 400
*DIM, S, ARRAY, 400

mmm=0.001

R1=29*mmm
R2=38*mmm
R3=4.5*mmm

h0=30*mmm
h1=100*mmm
dh=0.01*mmm

N_STEP=2
N_SUBSTEP=50

PI=3.141592653589d0

E_STEEL=400.0E3 !MPa
NU_STEEL=0.32

E_SPECIMEN=2.5E3 !MPa
NU_SPECIMEN=0.25
SIGMA_T=100

/PREP7
SMRT,OFF
/COM 2-D AXISYM ANALYSIS USING PLANE82

ET,1,PLANE183,1,,1 ! 2-D SOLID ELEMENTS

MP,EX,1,E_STEEL ! STEEL BIT
MP,NUXY,1,NU_STEEL
MP,MU,1,0.25
MP,EX,2,E_SPECIMEN ! ROCK
MP,NUXY,2,NU_SPECIMEN
MP,MU,2,0.25

=====
K, 1, X1*mmm, Y1*mmm+dh
K, 2, X2*mmm, Y2*mmm+dh
K, 3, X3*mmm, Y3*mmm+dh
K, 4, X4*mmm, Y4*mmm+dh
K, 5, X5*mmm, Y5*mmm+dh
K, 6, X6*mmm, Y6*mmm+dh
K, 7, X7*mmm, Y7*mmm+dh
K, 8, X8*mmm, Y8*mmm+dh
K, 9, X9*mmm, Y9*mmm+dh
K, 10, X10*mmm, Y10*mmm+dh
K, 11, X11*mmm, Y10*mmm+dh
K,12, R2, h0+dh
K,13, R1, h0+dh

```

```

BSPLIN, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 0, 1, 0
BSPLIN, 6, 7, 8, 9, 10, 11, , , , 0.3, 1, 0

L,11,12
L,12,13
L,13,1

AL,1,2,3,4,5

!=====
K, 21, X1*mmmm, Y1*mmmm
K, 22, X2*mmmm, Y2*mmmm
K, 23, X3*mmmm, Y3*mmmm
K, 24, X4*mmmm, Y4*mmmm
K, 25, X5*mmmm, Y5*mmmm
K, 26, X6*mmmm, Y6*mmmm
K, 27, X7*mmmm, Y7*mmmm
K, 28, X8*mmmm, Y8*mmmm
K, 29, X9*mmmm, Y9*mmmm
K, 30, X10*mmmm, Y10*mmmm
K, 31, X11*mmmm, Y10*mmmm

K,32, r2, h0
K,33, h1, h0
K,34, h1, -h1
K,35, 0, -h1
K,36, 0, h0
K,37, r1, h0

BSPLIN, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 0, 1, 0
BSPLIN, 26, 27, 28, 29, 30, 31, , , , 0.3, 1, 0

L,31,32
L,32,33
L,33,34
L,34,35
L,35,36
L,36,37
L,37,21

LSEL, S, LINE, , 6, 14, 1, 1
AL,all
allsel, all
!=====
MAT,1
AMESH,1
AREFINE,1
LREFINE, 1,2,1,2
MAT,2
AMESH,2
AREFINE,2
LREFINE, 6,7,1,2

NSEL,S,LOC,Y,h0+dh ! SELECT TOP EDGE OF MODEL

LSEL, S, LINE, , 4, , , 1
NSLL, S, 1
CP,1,UY,ALL ! COUPLE NODES ON TOP EDGE
*GET,NC,NODE,,NUM,MIN ! GET LOWEST NODE NUMBER (MASTER)

DL,12,2,SYMM

```


DL,11,2,UY,0

ALLSEL, ALL

!=====

/COM, CONTACT PAIR CREATION - START

CM, _NODECM, NODE

CM, _ELEMCM, ELEM

CM, _KPCM, KP

CM, _LINECM, LINE

CM, _AREACM, AREA

CM, _VOLUCM, VOLU

/GSAV, cwz, gsav, , temp

MAT, 1

MP, EMIS, 1, 7.88860905221e-031

R, 3

REAL, 3

ET, 2, 169

ET, 3, 172

R, 3, , 1.0, 0.1, 0,

RMORE, , , 1.0E20, 0.0, 1.0,

RMORE, 0.0, 0, 1.0, , 1.0, 0.5

RMORE, 0, 1.0, 1.0, 0.0, , 1.0

KEYOPT, 3, 3, 0

KEYOPT, 3, 4, 0

KEYOPT, 3, 5, 0

KEYOPT, 3, 7, 0

KEYOPT, 3, 8, 0

KEYOPT, 3, 9, 0

KEYOPT, 3, 10, 1

KEYOPT, 3, 11, 0

KEYOPT, 3, 12, 0

KEYOPT, 3, 2, 0

! Generate the target surface

LSEL, S, , , 1

LSEL, A, , , 2

CM, _TARGET, LINE

TYPE, 2

NSLL, S, 1

ESLN, S, 0

ESURF, ALL

CMSEL, S, _ELEMCM

! Generate the contact surface

LSEL, S, , , 6

LSEL, A, , , 7

CM, _CONTACT, LINE

TYPE, 3

NSLL, S, 1

ESLN, S, 0

ESURF, ALL

!* Create Companion Pair - Start

R, 4

REAL, 4

ET, 4, 169

ET, 5, 172

R, 4, , 1.0, 0.1, 0,

RMORE, , , 1.0E20, 0.0, 1.0,

RMORE, 0.0, 0, 1.0, , 1.0, 0.5

RMORE, 0, 1.0, 1.0, 0.0, , 1.0

KEYOPT, 5, 3, 0

KEYOPT, 5, 4, 0

KEYOPT, 5, 5, 0

```

KEYOPT,5,7,0
KEYOPT,5,8,0
KEYOPT,5,9,0
KEYOPT,5,10,1
KEYOPT,5,11,0
KEYOPT,5,12,0
KEYOPT,5,2,0
KEYOPT,4,3,0
TYPE,4
ESEL,S,TYPE,,3
NSLE,S
ESLN,S,0
ESURF,ALL
TYPE,5
ESEL,S,TYPE,,2
NSLE,S
ESLN,S,0
ESURF,ALL
!* Create Companion Pair - End
ALLSEL
ESEL,ALL
ESEL,S,TYPE,,2
ESEL,A,TYPE,,3
ESEL,R,REAL,,3
/PSYMB,ESYS,1
/PNUM,TYPE,1
/NUM,1
EPLOT
ESEL,ALL
ESEL,S,TYPE,,2
ESEL,A,TYPE,,3
ESEL,R,REAL,,3
ESEL,A,TYPE,,4
ESEL,A,TYPE,,5
CMSEL,A,_NODECM
CMDEL,_NODECM
CMSEL,A,_ELEMCM
CMDEL,_ELEMCM
CMSEL,S,_KPCM
CMDEL,_KPCM
CMSEL,S,_LINECM
CMDEL,_LINECM
CMSEL,S,_AREACM
CMDEL,_AREACM
CMSEL,S,_VOLUCM
CMDEL,_VOLUCM
/GRES,cwz,gsav
CMDEL,_TARGET
CMDEL,_CONTACT
/COM, CONTACT PAIR CREATION - END
!=====

FINISH

/SOL
ANTYPE,0
NLGEOM,1

NSUBST,N_SUBSTEP,1000,5,ON
OUTRES,ALL,1
AUTOTS,ON

```

```

D,NC,UY,-dh          ! APPLY SMALL DISPLACEMENT TO ENGAGE CONTACT
SOLVE
DDELE,NC,UY          ! DELETE IMPOSED DISPLACEMENT

F,NC,FY,-1000*9.81e-6 ! APPLY 1000Kg LOAD (in MN)
SOLVE                ! SOLVE SECOND LOAD STEP

FINISH

/POST1
SET, LAST
ASEL, S, AREA, , 2, , , 1
/EFACE, 1
AVPRIN, 0, ,
PLNSOL, S, Y, 0, 1
/DSCALE, 1, 1.0
/REPLOT

PLNSOL, CONT, PRES, 0, 1
/ZOOM, 1, RECT, -0.2781, 0.670976, 0.213730645389, 0.151951212612

LSEL, S, LINE, , 6, 7, 1, , 1
NSLL, S, 1

*GET, NUM_NOD, NODE, 0, COUNT          ! TOTAL NUMBER OF ELEMENTS
*GET, MIN_NOD, NODE, 0, NUM, MIN      ! MIN NUMBER OF ELEMENTS SELECTED

K_NOD=MIN_NOD

*DO, K, 1, NUM_NOD, 1
    NNN(K)=K_NOD
    K_NOD=NDNEXT(K_NOD)
*ENDDO

ALLSEL, ALL
*DO, K, 1, NUM_NOD, 1
    K_NOD=NNN(K)
    X(K)=NX(K_NOD)
    Y(K)=NY(K_NOD)
*GET, PRE, NODE, K_NOD, CONT, PRES
    P(K)=PRE
!*GET, sy, NODE, K_NOD, s, y
!    s(K)=sy
*ENDDO

/OUT, ellips3, dat
*DO, K, 1, NUM_NOD, 2
    XK=X(K)
    YK=Y(K)
    PK=P(K)
    sy=-s(K)
*VWRITE, XK, PK
(2E14.6)
*ENDDO
/OUT

```

ДОДАТОК Б
ADPL-скрипт розрахунку зносостійкості бурової коронки з комбінованою матрицею

Супрун Михайло Вікторович

```

program vstavki
use imsl
!-----
! wear coefficient of core bit equipped with combined CVD inserts
! Misha Suprun's PhD thesis for,
! Dec 15, 2012
!-----
integer, parameter:: Nv=6           ! number of inserts
real*8, parameter:: pi=3.141592652589d0 ! pi number

integer i, j, Nz, Nd
real*8 r, R1, R2, dR, Rv, Rc(Nv), L1, L2, L3, Lr, Leff, dL, Lc, K1, K2, Keff, su, p(0:1000)

!----- geometry
R1 = 58.0d0/2 ! inner radius in mm
R2 = 76.0d0/2 ! outer radius in mm
dR=R2-R1
Fz=9810 ! force in N

Rv = 1.5d0 ! insert radius in mm
Lr=0.4d0 ! hole to tooth length ratio

K1 = 3.63d0 ! KAM wear coefficient
K2 = 0.88d0 ! AKTM wear coefficient
! K2 = 0.07d0 ! AKTM+CVD wear coefficient
K2=K1

Nz=12 ! teeth number
Nd=1000

!----- ! insert position
do i = 1, Nv
! Rc(i)=R1+Rv+(i-1.d0)/(Nv-1.d0)*(dR-2*Rv)
! write(*,*) i,Rc(i)
! end do

do i = 1, Nv/2 ! insert position
Rc(i)=R1+Rv
Rc(i+3)=R2-Rv
end do

!----- wear coefficient as a function of r
open(1,file='KeffKAM.dat')
su=0
do i = 1, Nd
r=R1+(i-0.5)*dR/Nd
Leff=2*pi*r
L3=Leff*Lr/(Lr+1)
L1=Leff-L3
L2=0

do j = 1,Nv ! insert chorde
dL=abs(r-Rc(j))
if(dL.lt.Rv) then
Lc=2*sqrt(Rv**2-dL**2)
L2=L2+Lc
end if
end do !j

Keff=K2*Leff/(L1*K2+(K1-K2)*L2)
write(1,*) r/Nd, Keff
p(i)=1/Keff
su=su+p(i)
end do !i

```

```

close(1)

su=su/K1*(R2-R1)/Nd*2*pi*pi/Fz
su=1/su

!----- contact pressure as a function of r
open(1,file='presKAM.dat')
do i = 1, Nd
    r=R1+(i-0.5)*dR/Nd
    p(i)=p(i)*su/r
    write(1,*) r/Nd, p(i)
end do !i
close(1)

!----- crown wear profile as a function of r
dr=(R2-R1)/Nd
open(2,file='goraKAM.dat')

do k=0,20
    r=R1+k*(R2-R1)/20
    sj=0
    do j = 1, Nd
        rp=R1+dr*(j-0.5)
        su=0
        do i = 1, Nd
            fi=pi*2*i/Nd
            su=su+p(j)*rp/sqrt(r**2+rp**2-2*r*rp*cos(fi))
        end do ! i
        su=pi*2*sus/Nd
        sj=sj+su*dr
    end do ! j

    if(k==0) s0=sj
    write(*,*) r, (s0-sj)/R2
    write(2,*) r, (s0-sj)/R2
end do ! k
close(2)
end program vstavki

```

Супрун Михайло Вікторович

ДОДАТОК В
Акт впровадження та випробування результатів роботи в промислових
умовах

Супрун Михайло Вікторович

“ УТВЕРЖДАЮ”



Главный инженер

ДП "Центрукргеология"

ІСМ НАН України"

Кутний Н.І.

2012 г.

ТЕХНИЧЕСКИЙ АКТ

производственных испытаний опытных буровых коронок конструкции

Института сверхтвердых материалов НАН Украины

Работы проводились с целью проверки работоспособности буровых коронок с комбинированной матрицей, оснащенных вставками поликристаллического алмазного композита (АКТМ) армированных CVD-алмазом, и синтетическими алмазами (АС), при бурении геологоразведочных скважин одинарным колонковым снарядом.

Изготовленные ИСМ НАН Украины буровые коронки в количестве 6 единиц были переданы на испытания в ДГП "Центрукргеология".

На испытания были представлены опытные двенадцатисекторные буровые коронки типа БТ22 диаметром 76 мм, объемный слой комбинированной матрицы которых через сектор оснащался вставками АКТМ различного состава (диаметром 3,5 мм и высотой 4 мм) армированных CVD-алмазом ($0,23 \pm 0,25 \times 1 \times 4$ мм) и синтетическими алмазами АС 160Т зернистостью 355/300 мкм.

Испытания коронок типа БТ22, проводились при бурении плановых геологоразведочных скважин в породах IX – XI категории по буримости (гранитогнейсы, кварциты, пегматиты, силикат-магнетитовые кварциты, сланцы гранит-амфибол-пироксеновые, магнетит-пироксеновые кварциты, силиминит-биотитовые сланцы, амфиболиты) с использованием одинарного колонкового снаряда. За базу сравнения были приняты буровые коронки типа БС06 диаметром 76 мм, оснащенные только синтетическими алмазами АС 160Т зернистостью 355/300 мкм и серийно выпускаемые ИСМ НАН Украины. При этом использовались следующие режимы бурения:

- частота вращения 340 – 576 мин⁻¹;
- осевая нагрузка 1000 – 1500 даН;
- расход промывочной жидкости 19-30 дм³/мин.

Средние показатели бурения опытными и серийными коронками приведены в таблице 1.

Таблица 1. Средние показатели бурения опытными и серийными коронками

Тип инструмента	Кол-во, шт	Средние показатели бурения	
		Механическая скорость бурения, м/ч	Проходка на коронку, м
БТ22	6	2,47	14,57
БС06	6	1,76	9,60

Детальные результаты сравнительных производственных испытаний опытных буровых коронок типа БТ22 и коронок БС06 представлены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты сравнительных производственных испытаний опытных буровых коронок типа БТ22, оснащенных вставками АКТМ различного состава армированных CVD-алмазом, и коронок типа БС06

Тип инструмента	Кол-во, шт	Режимы бурения		Показатели бурения	
		Нагрузка, даН	Частота вращения, мин ⁻¹	Механическая скорость бурения, м/ч	Проходка на коронку, м
БТ22 – АКТМ (АСМ 40/28 х.о.)+ CVD черный	2	1000 -1500	340 –576	2,30	13,70
БТ22 – АКТМ (АСМ 40/28 х.о.60% + прир.ал. 40/28) + CVD черный	2			2,50	14,50
БТ22 – АКТМ (АСМ 40/28 х.о.60% + прир.ал. 28/20) + CVD черный	2			2,60	15,50
БС06	6			1,76	9,6

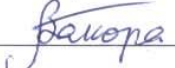
Приведенные в табл. 1 результаты производственных испытаний при бурении скважин в твердых горных породах IX – XI категории свидетельствуют, что опытные коронки типа БТ22, оснащенные вставками АКТМ различного состава (диаметром 3,5 мм и высотой 4 мм) армированных CVD-алмазом (0,23÷0,25×1×4 мм) и синтетическими алмазами АС 160Т зернистостью 355/300 мкм, превышают по своим показателям серийные коронки БС06, оснащенные только синтетическими алмазами АС 160Т зернистостью 355/300 мкм, по средней проходке в 1,52 раза, а по механической скорости бурения в 1,4 раза.

Как видно из табл. 2, наилучшие показатели по стойкости и средней механической скорости бурения среди опытных коронок имели коронки, оснащенные вставками АКТМ (АСМ 40/28 х.о.60% + прир.ал. 40/28) армированные черным CVD-алмазом.

Считаем целесообразным рекомендовать ИСМ НАН Украины продолжить работы по разработке новых видов алмазных композитов и конструкций буровых коронок на их основе с целью повышения эффективности их применения в различных геологических условиях.


От ИСМ НАН Украины

Ст. научный сотрудник

 А.П. Загора

От ДГП "Центрукргеология"

Начальник буровой партии

 Павлюченко В.И.