ШИФР ЗАМОК

РОЗРОБЛЕННЯ ПОРОШКОВИХ ЕЛЕКТРОДНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ НАПЛАВЛЕННЯ ЗАМКІВ БУРОВИХ ТРУБ

3MICT

АНОТАЦІЯ З
ВСТУП 5
1 ОСОБЛИВОСТІ УМОВ РОБОТИ, РУЙНУВАННЯ ТА ЗНОШУВАННЯ
ЗАМКІВ БУРОВИХ ТРУБ 6
1.1 Умови роботи складових бурової колони 6
1.2 Основні причини зносу бурових замків 8
2 АНАЛІЗ ПЕРЕВАГ ТА НЕДОЛІКІВ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ
НАПЛАВЛЕННЯ ЗАМКІВ БУРОВИХ ТРУБ 10
3 ВИБІР МАТЕРІАЛІВ "СПРИЯТЛИВИХ ДЛЯ НАПЛАВЛЕННЯ"
ЗАМКІВ БУРОВИХ ТРУБ 13
4 ВИГОТОВЛЕННЯ ДОСЛІДНИХ ЗРАЗКІВ, ЇХ СТРУКТУРА ТА
ВЛАСТИВОСТІ 16
5 СТРУКТУРНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА ТРИБО ТЕХНІЧНІ
ВЛАСТИВОСТІ РОЗРОБЛЕНИХ ПОКРИТТІВ СИСТЕМИ Fe - TiC
ЗА УМОВИ ТЕРТЯ ТА АБРАЗИВНОГО ЗНОШУВАННЯ 23
ВИСНОВКИ
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

АНОТАЦІЯ

Актуальність теми. За останні десять років частка свердловин з горизонтальною ділянкою в експлуатаційному бурінні збільшилась 11 до 41 %. При цьому, збільшення частки горизонтального буріння призводить до збільшення часу контакту бурильної колони зі стінкою свердловини, внаслідок чого все більшою проблемою для власників бурильного інструменту стає знос замкових з'єднань по зовнішньому діаметру бурильних труб.

У зв'язку з цим для захисту бурильної колони більшість бурових підрядників застосовують зносостійке електродугове або газове наплавлення високолегованими сплавам, у вигляді поясків на зовнішню поверхню замків. Основна складність технологічного процесу наплавлення полягає у виборі матеріалу для нанесення покриття, оскільки воно повинно одночасно характеризуватись високим рівнем протидії абразивному зношуванню та ефективно працювати як контр-тіло для пари тертя ковзання із обсадною трубою, забезпечуючи її мінімальне зношування. З огляду на це традиційні вольфрамові матеріали, які містять карбіди вольфраму із колотою формою частинок, нанесені на поверхню замків бурових труб є не ефективними, оскільки забезпечення високої абразивної зносостійкості попри при гідроабразивному зношуванні їх використання призводить до інтенсивного зношування обсадних труб, особливо коли свердловина має суттєві відхилення від вертикального положення.

Тому розробка нових матеріалів для наплавлення, які забезпечують дрібнодисперсну структуру поверхневого шару із одночасно високим рівнем антифрикційних властивостей при терті по металу поряд із високою абразивною зносостійкістю є актуальною науковою задачею.

Мета дослідження. Розроблення електродних матеріалів для зміцнення замків бурових труб шляхом забезпечення високої стійкості при абразивному зношуванні та високого рівня антифрикційних властивостей при терті по сталі.

Задачі дослідження.

1. Встановлення фазового складу покриттів системи Fe-TiC, нанесених із порошкових дротів при використанні різних вихідних матеріалів : порошку ТiC та реакційної суміші Ti+C.

2. Встановлення характеристик мікроструктури (параметрів форми структурних складових) електродугових покриттів, нанесених із використанням порошку ТіС та реакційної суміші Ті+С.

3. Визначення триботехнічних характеристик покриттів системи Fe-TiC за умов абразивного зношування та при терті ковзанні по сталевому контртілу .

Загальна характеристика роботи. Робота складається зі вступу, п'ятьох[розділів, висновків, списку використаної літератури.

Роботу викладено на 30 сторінах машинописного тексту, в тому числі містить 26 рисунків, 2 таблиці.

ВСТУП

порожнисті товстостінні Бурові труби - це сталеві труби, які використовуються при бурових роботах для проведення буріння стовбура свердловини та бувають різних розмірів, міцності і ваги. Вони є порожнистими, що дозволяє перекачувати буровий розчин через них в свердловину і назад в затрубний простір. Оскільки, вони розраховані на те, щоб витримувати власну вагу при комбінованих довжинах, які часто бувають достатньо значними, термообробленої сталеві труби, виготовленні i3 легованої сталі характеризуються значною вартістю.

Використані бурильні труби часто проходять повторну перевірку, сортування і зберігання для повторного використання за призначенням. Огляд, головним чином, проводиться для виявлення дефектів макро- та мікроструктури з метою запобігання виходу з ладу бурильної колони під час наступного буріння свердловини.

Бурові труби зазвичай виготовляються з високоміцних сталей, які можуть бути схильними до розтріскування, наприклад у результаті дифузії сірки. Таким чином, правильний вибір матеріалу для конкретного робочого середовища має першочергове значення для їх ефективного використання. При бурінні часто трапляються відмови бурильних труб, які можна розділити на одну з наступних категорій: скручування, викликане надмірним крутним моментом; розрив через надмірної напруження; тріщини через надмірний внутрішній або зовнішній тиск; втомне руйнування в результаті механічних циклічних навантажень, які можуть посилюватись корозійними процесами. Сталі призначені для бурових труб, виготовляються із використанням багатостадійної термообробки з метою досягнення необхідного хімічного складу, міцності і в'язкості, характеристик мікроструктури, достатніх для забезпечення тривалої експлуатації у складних умовах

1 ОСОБЛИВОСТІ УМОВ РОБОТИ, РУЙНУВАННЯ ТА ЗНОШУВАННЯ ЗАМКІВ БУРОВИХ ТРУБ

1.1 Умови роботи складових бурової колони

При бурінні на бурильну колону діють динамічне і статичне навантаження, перепади тиску до 25 МПа, температура до 200 °С, агресивні середовища. Надійність бурильної колони в значній мірі визначає ефективність буріння (особливо при роторному бурінні).

При роторному способі бурильна колона передає обертання від ротора до долота і знаходиться в складному напруженому стані. При цьому на бурильну колону діють:

- осьова сила розтягу від дії сил власної ваги і перепаду тиску на долоті, яка максимальна у верхньому перерізі;

- осьова сила стиску, яка виникає від осьового навантаження в нижньому перерізі;

- крутний момент, який призводить до появи в бурильній колоні дотичних напружень, максимальні значення якого у верхньому перерізі;

- напруження, що виникають від поперечного і поздовж нього згину бурильної колони;

- динамічні навантаження, які виникають у процесі роботи долота на вибої;

- інерційні навантаження, які виникають при спуско-підіймальних операцій та інше.

При бурінні з вибійними двигунами умови роботи бурильної колони суттєво відрізняються від описаних вище. Це зумовлено в основному тим, що колона бурильних труб не обертається. Тому на бурильну колону діють розтягувальні та стискальні навантаження, обумовлені вагою колони і вибійного двигуна, перепадом тиску на долоті та у вибійному двигуні і реакцією вибою від осьового навантаження на долото. Реактивний момент вибійного двигуна та згинаючі навантаження, що виникають у нижній частині бурильної колони при втраті нею поздовжньої стійкості, незначні і в практичних розрахунках не враховуються.

Аналіз аварійності в бурінні показує, що близько 60% всіх аварій пов'язане з руйнуваннями бурильної колони. Хоча за останні роки значно підвищився рівень ремонту і експлуатації труб, загальна кількість аварій з бурильною колоною знижується повільно. Очевидно це пов'язано з щорічним зростанням глибин буріння свердловин і відповідним збільшенням статичних і динамічних навантажень.

1.2 Основні причини зносу бурових замків

Замки бурильних труб призначені для згвинчування колони бурильних труб. У міру поглиблення долота в породу, колону бурильних труб нарощують шляхом того, що нагвинчують чергову свічку. Для заміни зношеного долота необхідно підняти колону і розібрати її. Ці операції супроводжуються багатократним згвинчуванням і розгвинчуванням різьбових з'єднань замків бурильних труб. При цьому замковые різьблення у присутності глинистого розчину піддається складному комплексному зношуванню, пластичній деформації, а інколи руйнується.

Актуальною проблемою є спрацювання зовнішньої поверхні бурильного замка, яке може бути рівномірним по колу або одностороннє, а по твірній – замок має бочкоподібну форму, тобто значення спрацювання біля торців замка вища, ніж у замковій різьбі.

Поверхня спрацьованих замків бурильних труб має вигляд шліфованої поверхні з наявністю подряпин: борізд, глибиною до 0,1-0,2 мм. при ширині 0,3-1,2 мм. в осьовому і радіальному напрямі (рис. 1.1).



- 1 спрацювання внаслідок спуско-підіймальних операцій БК;
- 2 спрацювання внаслідок радіального обертання БК у вибої;
- 3 спрацювання внаслідок поєднання пунктів 1 і 2 та викривленні БК. Рисунок 1.1. Зношена муфтова поверхня замків БТ

Бурові замки зношуються як в процесі роторного та турбінного буріння, так і при виконанні спуско-підіймальних операцій. Слід зазначити, що при роторному бурінні бурова колона обертається по всій довжині, тому бурильні замки зношуються більш інтенсивно.

Зношування бурових замків відбувається по їх зовнішній циліндричній поверхні. Слід зазначити, що більш інтенсивно піддаються зношуванню ті замки, які знаходяться у нижній частині бурової колони та працюють в необсадженій частині свердловини (рис. 1.2).



a)

а – ніпель; б – муфта.

Рисунок 1.2. Загальний вигляд зношених деталей бурового замка

Експлуатаційні методи обмежені в застосуванні, оскільки, наприклад, при очищенні бурового розчину від абразивних частинок гірської породи відбувається втрата обважнювача із розчину, а вибір складу бурового розчину визначається складом геологічної будови свердловини.

У відповідності з умовами роботи, замок піддається наступним видам спрацювання: абразивне спрацювання закріпленим абразивом, абразивне спрацювання абразивними частинками які переміщаються, спрацювання пари тертя метал замка – метал обсадної колони в присутності абразивних частинок і бурового розчину, гідроабразивне спрацювання потоком промивальної рідини.

Основна схема зношування - ковзання двох металевих поверхонь, на які потрапляють тверді частки породи, що захоплюються із забою свердловини промивальною рідиною. Багатократне згвинчування і розгвинчування супроводжуються тертям різьбових з'єднань труби і муфти при значній силовій дії у присутності рідини, що містить абразив. У зв'язку з цим на поверхнях тертя різьбових з'єднань замків відбувається зношування одночасно декількох видів, що значно ускладнює виявлення провідного вигляду зношування, визначення критерію оцінки зносостійкості матеріалів замків бурильних труб і пошук шляхів підвищення їх зносостійкості і довговічності.

Для підвищення зносостійкості бурових замків застосовують різні за характером заходи. Серед них виділяють: експлуатаційні (раціональний вибір складу бурового розчину та застосування мастильних додатків до нього, вибір оптимальних режимів буріння, ретельне очищення бурового розчину від частинок гірської породи); конструкторсько-технологічні (вибір матеріалів, призначення режимів термічної обробки, способи об'ємного та поверхневого зміцнення).

2 АНАЛІЗ ПЕРЕВАГ ТА НЕДОЛІКІВ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ НАПЛАВЛЕННЯ ЗАМКІВ БУРОВИХ ТРУБ

У даний час існує значна кількість протизноних технологій для з'єднань зносостійке наплавлення бурильної бурових труб, таких ЯК колони, використання гумових протекторів, дробоструменева обробка обсадної труби та ін. Серед них процес наплавлення замків бурових труб бурильної труби (рисунок 2.1), має ряд суттєвих переваг, серед яких найбільш важливими є стабільність характеристик, простота експлуатації та обслуговування [1]. На даний момент наплавлення є найефективнішим заходом для зменшення інтенсивності зношування бурових та обсадних труб, серед цих протизносних технологій [2]. Із розвитком технологій розвідки та буріння на нафту та газ все ширше застосовуються складні конструкції свердловин, такі як глибокі, розширені, горизонтальні свердловини та ін. Крім того, пластові структури, які характеризуються сильною абразивною здатністю, складною морфологією тощо, стають поширеними у процесі буріння нафти. Це створює передумови до більш високих вимог, що ставляться до характеристик протизносних та антифрикційних твердих покриттів, тому розробка нових матеріалів для наплавлення у даний час є одним із першочергових завдань [3, 4, 5]. З поступовим вирішенням проблем у галузі зносостійкого наплавлення постійно впроваджується багато нових матеріалів для наплавлення, а їх різновиди матеріалів стають дедалі ширшими.

Відповідно до роботи [6] процес розроблення матеріалів для наплавлення можна умовно розділити на дві стадії: перша стадія - стадія зносо- та абразивостійких металокерамічних матеріалів (з 1930-х до початку 1990-х років); другий етап - це етап розроблення матеріалу «сприятливого для контртіла» матеріалу (з 1990-х рр. по теперішній час) [7].



Рисунок 2.1 – Процес зносостійкого наплавлення замків бурових труб та макрорельєф наплавлених шарів

Найбільш ефективні із розроблених матеріалів для нанесення на замки бурових труб є наступні :

- електроди ARNCO 150XT [33]. ARNCO 150XT продукт «четвертого покоління» компанії Arnco Technology, це свого роду вдосконалене зносостійке та тріщиностійке покриття сприяливе для роботи у парі тертя із обсадними трубами, яке поєднувало переваги ARNCO 100XT і ARNCO 300XT. Зносостійкість ARNCO 150XT знаходиться між ARNCO 100XT і ARNCO 300XT, а антифрикційна здатність вище, ніж у ARNCO 300XT і ARNCO 100XT.
- електроди ARNCO 350XT [9]. ARNCO 350XT є продуктом «останнього покоління», тому зносостійкість ARNCO 350XT ще більше підвищена (порівняно з ARNCO 300 XT), а пошкодження обсадних труб ще більше знижено, що в даний час є найвищим показником зносостійкості серед продуктів компанії ARNCO. Легко приварюється як до нових замків бурових труб і може безпосередньо бути наплавлений до покриттів нанесених електродами ARNCO 100XT, ARNCO 150XT, ARNCO 350XT та багатьох інших без утворення тріщин та необхідності видалення попередньо нанесеного покриття;

 електроди Non Mag XTTM [10]. Поява немагнітних бурильних труб пред'являє ще більш нові вимоги до електродних матерілів для зносостійкого наплавлення. Non Mag XTTM - це недавно розроблений немагнітний зносостійкий сплав, який представляє собою запатентовану систему легування зі сплаву на основі заліза. Це покриття має явні переваги порівняно із сплавами системи залізо -нікель і іншими немагнітними сплавами на основі заліза.







Рисунок 2.3 – Порівняльна характеристика твердості сучасних поширених матеріалів для наплавлення



Рисунок 2.4 – Порівняльна характеристика зношування обсадних труб у парі із наплавленими поверхнями



Рисунок 2.5 – Абразивна зносостійкість серійних матеріалів для наплавлення

3 ВИБІР МАТЕРІАЛІВ « СПРЯТЛИВИХ ДЛЯ НАПЛАВЛЕННЯ» ЗАМКІВ БУРОВИХ ТРУБ

Дослідні електродні матеріали для нанесення досліджуваних електродугових покриттів було виготовлено у вигляді порошкових електродів шляхом розрізання (на відрізки із довжиною 400 мм) однозамкової стрічки із перекриттям, яке утворювало замкове з'єднання. При розплавленні такий характер розташування замку забезпечує рівномірне плавлення наповнювача. На рис. 3.1 схематично зображено конструктивні особливості та основні геометричні параметри вказаної стрічки. Її основними перевагами порівняно із звичайними трубчастими електродами є простота технології виготовлення та можливість забезпечувати високий вміст наповнювача.



 оболонка із низьковуглецевої сталі; 2 - порошкова суміш легуючих та флюсуючих елементів

Рисунок 3.1 – Схема конструкції та основні геометричні параметри порошкової проволоки для нанесення дослідних покриттів

Для виготовлення порошкових електродів використовувався розроблений в Інституті електрозварювання ім. Е. А. Патона НАН України прокатний стан, який був спроектований для виготовлення стрічкового реліту. На відміну від прототипу, додатково був оснащений дозуючим пристроєм конвеєрного типу з вібратором і спеціальним вузлом рубання, оснащеного твердосплавними пластинами та механізмом подачі електродного дроту суцільного січення (за необхідності) у серцевину порошкового електроду.

Як оболонку порошкових електродів було використано стрічку, виготовлену із сталі марки 08кп ГОСТ 3559-75, січенням 0,5 × 20 мм, виробництва ВАТ «Запоріжсталь». Порошковий наповнювач (шихта) готувався шляхом механічного змішування легуючих компонентів у вигляді готових сполук та реагентів, необхідних для утворення тугоплавких сполук, наведених у таблиці 3.1. Перед зважуванням і змішуванням компоненти ретельно просушували в сушильній шафі типу СНОЛ протягом 2-3 год при температурі 90 °С, наведений на рис. 3.2.. Для проведення рівномірного змішування компонентів шихти використовувався лабораторний змішувач порошків Vподібного типу марки C2K/6. Тривалість процесу змішування становила 2 год, а частота обертання контейнерів із порошковими сумішами - 60 хв⁻¹.



Рисунок 3.2 – Загальний вигляд змішувача для отримання порошкових сумішей

Порошковий компонент	Марка	ГОСТ. ТУ	Размер
		,	частиц, мкм
Титан	ПТХ-6-1	ТУ 49-10-78-83	60 - 88
Технічний вуглець(сажа)	K-354	ГОСТ 7885-86	9 - 320
Карбід титану	Ч	ТУ 6-09-492-75	20 - 40

Таблиця 3.1 – Елементний склад матеріалу для наплавлення

Ступінь легованості порошкової проволоки визначали за допомогою коефіцієнту заповнення (*K*₃): відношення маси шихти до маси заповненого порошкового електроду. Маса оболонки без наповнювача становила 0,150 кг. Контроль коефіцієнту заповнення проводився шляхом послідовного зважування не менше трьох мірних відрізків стрічки на лабораторних механічних терезах марки ВЛА-4М.

З метою порівняльного аналізу властивостей зміцнюючих фаз, отриманих у результаті перекристалізації (введення готових сполук) та шляхом реакційного термічного синтезу (*in situ* формування) виготовлялися два типи порошкових електродів. Перший тип містив наповнювач у вигляді порошку карбіду титана, а другий - порошкову суміш титану і технічного вуглецю, взятих в

стехіометричному співвідношенні (80 % Ті і 20 % С). Коефіцієнт заповнення для обох випадків становив ~ 25 %. Порошковий наповнювач в електродах другого типу забезпечував протікання реакційного синтезу ТіС при наплавленні під тепловим впливом електричної дуги.

Наплавлення досліджуваних матеріалів проводилась в ручному режимі з використанням зварювального випрямляча марки ВДУ-506. Режими наплавлення: вольт-амперна характеристика - падаюча, сила струму 160-180 А, напруга дуги 30-32 В, полярність - зворотна (до електрода підводився плюс). Наплавлення проводилася на сталеві пластини товщиною 10 мм; матеріал пластин - сталь 45 ГОСТ 1050-88. Охолодження наплавленого шару проходило на повітрі.

4 ВИГОТОВЛЕННЯ ДОСЛІДНИХ ЗРАЗКІВ, ЇХ СТРУКТУРА ТА ВЛАСТИВОСТІ

Для дослідження мікроструктури наплавлених покриттів виготовлялися поперечні шліфи шляхом механічного шліфування та наступного полірування алмазними пастами різної зернистості за стандартною методикою. кісний і кількісний металографічний аналіз проводиться на сканівному електронному мікроскопі марки ZEISS EVO40XVP, у режимі обернено відбитих електронів BSD, який доволяє отримати контраст між фазами, залежно від їх густини. Для хімічного аналізу використовувався рентгенівський спектрометр INCA energy.

Аналіз мікроструктур наплавлених шарів, отриманих методом, проводився за допомогою спеціалізованого програмного пакету для обробки і аналізу зображень «ІmageJ». Послідовність аналізу наступна. На знімки мікроструктур наносилися масштабні мітки розміром 100 мкм, зображення зберігалися з розширенням 800 × 600 пікселів у форматі «gif». Далі за допомогою команд: «File \rightarrow Open \rightarrow Image \rightarrow Adjust \rightarrow Threshold» зображення змінювали в бінарне (чорно-біле). Для встановлення відповідного масштабу в меню «Analyze \rightarrow Set

scale» для попередньо нанесеній лінії встановлювалося співвідношення між відстанню в пікселях і міліметрах. Після цього за допомогою вкладки «Find Edges» в меню «Process» знаходили контури частинок. Далі у вкладці «Analyze Particles» меню «Analyze» встановлювали діапазон вимірювань. Для зазначених структур визначали розподіл за розмірами, а також форму (ступінь округлості С) частинок за формулою:

$$C = 4\pi \left(\frac{S}{P^2}\right),\tag{4.1}$$

де S - площа, а P - периметр частинок (зерен).

Рівномірність розподілу часток в матричному металі оцінювали по розподілу зв'язки методом випадкових січних. Відстань між січними становило 50 мкм, місця перетину зв'язки і січних визначали шляхом накладення знімків структури на їх зображення і віднімання за допомогою команди: «Process \rightarrow Image Calculator \rightarrow Substract». Отримані таким чином відрізки вимірювалися командою «Analyze Particles» як було вказано вище.

Математична обробка статистичних даних, отриманих при аналізі мікроструктур наплавлених шарів, проводилася з використанням пакету програм для чисельного аналізу даних «OriginPro 2020».

Рентгенівський фазовий аналіз провидили із використанням дифрактометру ДРОН -3М у фільтрованому СuKα випромінюванні а їх аналіз проводився із використанням програмного забезпечення Match!. Уточнення параметрів кристалічних структур методом Рітвельда проводилось із використанням програмного забезпечення FullProf.

Зносостійкість досліджуваних покриттів визначалася в умовах тертя об жорстко закріпленими абразив на установці МТ-1 згідно з методикою, описаною в [36]. Використовуваний абразив - шліфувальні круги з зеленого карбіду кремнію марки 64С F46 K 7 V ГОСТ Р 52781-2007 з розміром зерен 425-355 мкм, діаметром 300 мм і товщиною 40 мм. Знос визначався як середньоарифметичне значення втрати маси по трьох результатах випробувань для кожного зразка.

Триботехнічні випробування за умов зворотно-поступального руху за схемою "кулька-площина" проводили на спроектованій і виготовленій у Фізико-механічному інституті ім. Г.В. Карпенка НАНУ установці (рис. 4.2), яка складається із механічної частини (1), пульта керування швидкостями (2),потенціостата ПИ-50-1, переміщення стола поєднаного через аналогоцифровий перетворювач (АЦП) (4) з персональним комп'ютером (5). За допомогою спеціального програмного забезпечення фіксували наступні характеристики: силу тертя; електродний потенціал; струм поляризації; потенціодинамічні криві.

Механічна частина установки (рис. 4.3) складається зі станини (1), де встановлено підшипники (4), які забезпечують прямолінійність руху стола (2) та виключають можливість його переміщення у поперечному напрямку. Стіл (2) приводиться в рух черв'ячною передачею, поєднаною з електродвигуном. Швидкість обертання двигуна регульована.



 1 – механічна частина; 2 – пульт керування швидкостями переміщення столика; 3 – потенціостат ПИ-50-1; 4 – аналого-цифровий перетворювач (АЦП);
 5 – персональний комп'ютер.

Рисунок 4.2 – Загальний вигляд установки для трибокорозійних досліджень за умов зворотно поступального

Для проведення випробувань на установці (рис. 4.3 – 4.4) зразок (10) встановлюється на столі (2), а електрохімічною коміркою (3) через гумовий

ущільнювач притискається до нього та фіксується. Навантаження зразків проводиться наважками (7), які встановлюються на вертикальне коромисло (8). Горизонтальна балка (9), в яку вмонтовано вертикальне коромисло (8), (6), забезпечення виставляється за допомогою рівня для його перпендикулярності до поверхні зразка (10). Вертикальне коромисло (8) рухається у вертикальному напрямку в коромислі (9). На ньому наклеєні тензодавачі (11), які працюють в обох напрямках руху. Зразок (10) встановлюється на пластину з контактним виводом, ізольованим від контакту зі столом ізоляційною прокладкою.

19



1- станина; 2 – стіл; 3 – комірка для корозійного середовища; 4 – підшипники; 5 – хлорсрібний електрод порівняння; 6 – рівень; 7 – навантаження; 8 – вертикальне коромисло;9 – горизонтальна балка; 10 – зразок;
 11 – тензодавач.

Рисунок 4.3 – Установка для триботехнічних досліджень за умов зворотно-поступального руху



Рисунок 4.4 – Електрохімічна комірка для трибокорозійних досліджень (вигляд зверху).

Для вимірювання сили тертя у процесі випроб тензодавач протарували та побудували залежність зміни напруги сигналу давача від прикладеного тангенційного навантаження (рис.4.5).



Рисунок 4.5 – Тарувальний графік для визначення зміни напруги сигналу давача від прикладеного навантаження

Із графічної залежності F_{mp} =166.67 E_d , визначаємо значення коефіцієнта тертя $\mu = F_{mp}/F_n$:

$$\mu = \frac{166.67E_d}{F_n}$$
(4.2)

Інтегральне значення коефіцієнта тертя при одному циклі тертя визначали за допомогою усереднення отриманих значень.

Для визначення триботехнічних характеристик зразків з покриттями в лабораторних умовах використали установку СМЦ-2 (методи випробувань

групи А ГОСТ 23.224-86), яка полягає у визначенні зношування чи інтенсивності зношування матеріалів пар тертя та коефіцієнта тертя у спряженні "диск-колодка" за схемою площинного контактування.

21

Для порівняльних трибовипробовувань використовували зразки у вигляді диску із внутрішнім діаметром d = 16,3 мм, зовнішнім діаметром $d = 42 \pm 0,02$ мм у парі з колодкою з внутрішнім діаметром аналогічного розміру $d = 42 \pm 0,02$ мм). Креслення зразків наведено на (рис. 4.6). Радіальне биття зразків не перевищувало 0,02 мм.



Рисунок 4.6 – Радіальне биття зразків

Неробочі поверхні зразка (1) покривали ізоляційним матеріалом. Зразок (1) кріпили на валу установки. Він обертався з необхідною швидкістю і був частково занурений в робоче середовище (4) у гальванічній комірці (5). Дані щодо зміни коефіцієнта тертя, температури та електродного потенціалу через аналогоцифровий перетворювач (АЦП) передавались та фіксувались на ПК.



1 – зразок 2 – контртіло 3 – хлоридсрібний електрод порівняння; 4 – середовище; 5 – електрохімічна комірка
 Рисунок 4.7 – Схема триботехнічних досліджень металів і покриттів на

установці СМЦ-2

Момент тертя на даній установці вимірювався безконтактним індуктивним давачем, змонтованим на її валу. Температуру в околі зони

контактування вимірювали хромель-алюмелевою термопарою, вмонтованою у контртіло на відстані 0,5 мм від зони контактування. Електричні сигнали від вимірювання моменту тертя та температури (у мілівольтах) подаються на спеціально сконструйований аналогоцифровий перетворювач (АЦП) та фіксуються за допомогою персонального комп'ютера з кроком їх запису 0,2 сек. За отриманою цифровою інформацією будували графіки зміни коефіцієнта тертя та температури в часі при сталому чи змінному прикладеному навантаженні, залежно від умов випроб. Розрахунок коефіцієнта тертя проводили за формулою $\mu = F_m/N = M_m/P \cdot r$, де $F_m = M_T/r$ – сила тертя, M_m – момент тертя, визначений за показами індуктивного давача, N = P – нормальна складова сил тертя, що виникають у зоні тертя, P – прикладене зовнішнє навантаження, r – радіус зразка, який випробовують (рис. 4.8).



Рисунок 4.8 – Тарувальний графік – залежність зміни напруги сигналу давача від прикладеного тангенційного навантаження.

Коефіцієнт тертя μ розраховували за формулою $\mu = M/F_n \times r$, $M = 78, 7 \times n$

- 0,88 Hм, μ = 78,7× n - 0,88 / F_n × r, де n - покази індуктивного давача у мВ, F_n - прикладене нормальне навантаження, r - радіус досліджуваного зразка.

Визначення мікротвердості проводилось за мікро-Віккерсом із використанням мікротвердоміру ПМТ-3 із використанням цифрової камериокуляра *DCM*510 із при навантаженні на алмазну піраміду 200 гр. Значення мікротвердості *H*_µ розраховували із співідношення:

$$H_{\mu} = 1,854 \frac{P}{d^2},\tag{4.3}$$

де Р – навантаження на алмазну піраміду; d – середнє значення величин обох діагоналей отриманого відбитку.

Вимірювання твердості проводили за методом Роквелла із використанням твердоміру ТК-2 відповідно до ГОСТ 9013-59. Вимірювання проводили при наваннтаженні на індентор 150 кг - шкала С.

5 СТРУКТУРНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА ТРИБОТЕХНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОКРИТТІВ СИСТЕМИ Fe – ТіС ЗА УМОВ ТЕРТЯ

По розмірах, їх форма (сферична, огранена, неправильна та ін.), а також характер їх взаємного розташування в наплавлених шарах при зносостійкому електродуговому наплавленні, є одними з найбільш важливих показників, що визначають їх експлуатаційні властивості, в першу чергу абразивну зносостійкість при терті як по закріпленому так і вільному абразиву, а також тріщиностійкість [11]. Зі збільшенням вмісту карбідної фази зносостійкість монотонно збільшується за рахунок посилення захисної дії карбідних частинок по відношенню до межкарбідним прошаркам м'якої металевої зв'язки. У той же час поява в структурі складових зі складною геометрією (наприклад, евтектичних утворень) ускладнює оцінку фазового складу і, як наслідок, прогнозованих властивостей.

Результат рентгенівського фазового (XRD) аналізу (рис. 5.1) показує, що структура покриття складається із двох основних фаз: фази із гранецетрованою кубічною граткою ГЦК та параметром а = 4.4178014 (+/- 0.94545435E-03) Å, який було ідетифіковано як твердий розчин на основі монокарбіду титану ТіС; фази із об'ємноцентрованою кубічною граткою (ОЦК) та параметром a = 2.8821411 (+/- 0.37688689E-03) Å, яку було ідентифіковано як твердий розчин на основі монокарбіду розчин на основі α - Fe (ферит). За результатами повнопрофільного аналізу методом

Рітвельда було встановлено, що кількість ТіС становить 24.96 мас. %, а кількість фериту становить 75.04 мас. %.



Рисунок 5.1 – Дифрактограма електродугового покриття нанесеного із порошкових електродів системи TiC – сталь

Результати порівняльного аналізу знімків мікроструктур поверхневих шарів наплавлених із порошкових сумішей із використанням готового порошку TiC (рис. 5.2, а) та у вигляді реакційної суміші (Ti + C) (рис. 5.2, б) показує, що їх структура суттєво відрізняється. При використанні готового порошку ТіС мікроструктура покриття складається із феритної матриці та рівномірно розподілених включень карбідної фази, яка має форму дендритних зерен. При використанні реакційної суміші порошків структура карбідних включень суттєво відрізняється: вони набувають більш правильної геометрії та збільшуються за розмірами. Для кількісної оцінки змін що відбуваються при переході від готових сполук до реакційної суміші було проведено кількісний аналіз стереометричних характеристик мікроструктури, на знімка отриманих у режимі обернено відбитих електронів (BSD). Це дозволило виділити контури окремих карбідних частинок (рисунок 3.3) та розрахувати їх основні параметри форми: співідношення між найбільшою та найменшою осями описаного навколо частинки еліпса (AR); параметр округлості (С), вмизначений за формулою 2.1.; фрактальну розмірність - ступінь розвинутості структури; максимальний діаметр Фере (F max) - найбільша відстань між крайніми точками виміряними по дотичних.



Рисунок 5.2 – Мікроструктура електродугових покриттів системи Fe - TiC, нанесених із порошкових електродів: а - із готовим порошком TiC; б - із рекційною сумішшю порошків Ті та вуглецю



Рисунок 5.3 – Контури карбідних частинок (виділено кольором) у покриттях покриттях системи Fe - TiC, нанесених із порошкових електродів: а - із готовим порошком TiC; б - із рекційною сумішшю порошків Ti та вуглецю

Результати вимірювань параметрів форми карбідних частинок (рис. 3.4 - 5.7) показують, що карбідні частинки у покриттях, отриманих із використанням готового порошку порівняно із частинками отриманими, про використанні реакційних сумішей мають більш розвинуту геометрію. При цьому, середній розмір зерен частинок в обох випадках є близькою (рис. 5.7) Це проявляється у вищому значенні параметру співвідношенню сторін (на 33 %) та вищому

значенні відхилення від округлості (на 166 %) (рис. 5.4). Розподіл наведених характеристик відповідає логарифмічно-нормальному закону розподілу виду:

$$K = K_0 + \frac{A}{wr\sqrt{2\pi}}e^{\left(\frac{-\ln\left(\frac{r}{r_c}\right)^2}{2w^2}\right)},$$
(5.1)





Рисунок 5.4 – Результати вимірювань співвідношення сторін карбідних частинок у покриттях: а - із готовим порошком ТіС; б - із реакційною сумішшю порошків Ті та вуглецю

Такі значні відхилення наведених вище параметрів форми карбідних частинок від правильної геометрії є негативним фактором із позиції забезпечення зносотійкості при терті по сталевому контртілу, оскільки видовжені карбідні зерна будуть виконувати роль «мікроважелів», які будуть створювати напруження, під дією яких карбідні зерна будуть вириватись із феритової матриці. З ішого боку значне відхилення форми частинок від окрулої перебачає наявність гострих граней які будуть викликати появу розвиток процесів мікрорізання контртіла (обсадної труби). Таким чином, використання готового порошку ТіС як наповнювача порошкових електродів буде негативно впливати як на зносостійкість наплавленого шару так і зносостійкість обсадної колони.



Рисунок 5.5 – Результати вимірювань округлості частинок у покриттях: а - із готовим порошком ТіС; б - із реакційною сумішшю порошків Ті та вуглецю

Опосередкованою характеристикою розвинутості геометрії карбідних частинок є їх фрактальна розмірність, яка визначається, як :

$$D = -\lim_{\varepsilon \to 0} \frac{\ln(N_{\varepsilon})}{\ln(\varepsilon)},\tag{5.2}$$

де N_{ε} - мінімальна кількість n - мірних «сфер» радіусом є, необхідне для покриття площі січення частинки. Значення даної характеристики для карбідних частинок у покриттях, отриманих із використанням готового карбіду (рис. 5.6, *a*) є також суттєво вищою порівняно із частинками отриманими при реакційному термічному синтезі (рис. 5.6, *б*). При цьому, у першому випадку розподіл фрактальної розмірності підпорядковується нормальному закону розподілу, тоді як у другому випадку розподіл є логарифмічно-нормальним.

Фрактальна розмірність=1,225



Фрактальна розмірність=1,105



Рисунок 5.6 – Результати вимірювань фрактальної розмірності частинок у покриттях: а - із готовим порошком ТіС; б - із реакційною сумішшю порошків Ті та вуглецю



Рисунок 5.7 – Результати вимірювань розмірів частинок (за максимальним діаметром Фере): а - із готовим порошком ТіС; б - із реакційною сумішшю порошків Ті та вуглецю

Результати електродугових покриттів трибовипробовувань покриттів системи Fe-Ti-C за умов зворотно-поступального руху проводились за режимом: період циклу - 4 с; тривалість випробовувань - 3500 с; контактний тиск - 0,9 МПа. Для порівняльного аналізу було використано серійні матеріали наплавлення фірми ARNCO 100XT, 150XT 300XT. лля : та При трибовипробовуваннях в умовах реверсивного руху процес руйнування наплавленого шару супроводжується утворенням треку (задирів) на поверхні та різким підвищенням коефіцієнту тертя і набуття ним нового більш високого "стабільного" значення. Як видно із результатів досліджень при переході від дослідного матеріалу системи Fe-TiC із високою кількістю карбідної фази до серійних матеріалів значення "стабільного" коефіцієнту тертя нелінійно зменшується по мірі зменшення кількості у структурі карбідної, а значення тривалості переходу у граничний стан нелінійно зростає.



Рисунок 5.8 – Результати порівняльного аналізу кінетики зміни коефіцієнту тертя покриттів за умов зворотньо-поступового тертя

Результати апроксимації експериментальних даних показують, що із найбільш високою точністю (скоректований коефіцієнт детермінації $R^2 > 0.9$) характер зміни коефіцієнту тертя (μ) у часі описується сигмодальною функцією виду:

$$\mu = \mu_2 + \frac{\mu_1 - \mu_2}{1 + e^{\frac{(t - t_0)}{\sigma}}},$$
(5.3)

де μ_1 та μ_2 – значення "стабільних" коефіцієнтів тертя до та після руйнування антифрикційного шару, відповідно, t_0 – момент часу, при якому зростання коефіцієнту тертя проходить найбільш інтенсивно, σ – параметр, який характеризує тривалість переходу, t – час. Для досліджуваних матеріалів значення величин для підстановки у рівняння (1) зведені у табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Параметри емпіричної функції значень коефіцієнтів тертя для поверхонь, наплавлених різними електродними матеріалами

Досліджуваний	Значення параметру				
матеріал	μ_1	μ_2	t ₀	σ	
100XT	0,1668	0,28076	524,24235	98,94803	
150XT	0,16106	0,26936	2009,77958	472,4825	
300XT	0,16177	0,23425	2206,63507	399,50522	
Fe + TiC	0,1637	0,19789	2911,32301	324,77829	

ВИСНОВКИ

У результаті проведених досліджень відпрацьованих бурових труб було встановлено, що однією із основних причин їх виходу з ладу є низька зносостійкість замкових з'єднань за умов абразивного зношування, яке посилюється корозійним руйнуванням. Нанесення відомих традиційдних вольфрамових та високохромистих матеріалів на замкові з'єднання не є ефективним, оскільки через грубодиспесність структури та наявність структурних складових з ограненою формою призводить до інтенсивного зношування поверхонь обсадної труби особливо коли свердловина має значні відхилення від вертикалі.

Проведений аналіз показав, що найбільш ефективними матеріалами для нанесення зносотійких покриттів на замки бурових труб є матеріали, що поєднують абразивну зносостійкість та високі антифрикційні характеристики. До таких матеріалів відносяться матеріали із композитною будовою, які містять надтверді тугоплавкі сполуки перехідних металів, зокрема сполуки титану.

За результатами експериментальних досліджень встановлено, що використання реакційної суміші титану та вуглецю, як шихти порошкових електродів дозволяє у процесі електродугового наплавлення отримати покриття із композитною будовою та сприятливими параметрами мікроструктури, з позиції забезпечення високих антифрикційних характеристик. Фазовий склад поверхневого шару (~75 % фериту, ~25 % TiC) забезпечує ефективну протидію абразивному зношуванню. Зносостійкість покриттів системи Fe – TiC за умов тертя по закріпленому абразиву є вищою порівно із найбільш поширеними серійними матеріалами. При цьому рівень антифрикційних характеристик покриттів системи Fe – TiC за умов тертя при зворотньо-поступальному русі та в умовах тертя ковзання є достатнім для забезпечення довговічності обсадних труб при бурінні сведловин у тому числі і складної конфігурації.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. J.-W. Arnco Technology Trust Ltd. Hardbanding Basics [Internet].2015. Available from: http://www.arncotech.com/resources/detail/hardbanding-basics/ [Accessed:September 29, 2019]

2. Gao, D-L., and L-Z. Sun. "New method for predicting casing wear in horizontal drilling." Petroleum science and technology 30.9 (2012): 883-892.

3. Murthy, G. V. S., et al. "Hardbanding failure in a heavy weight drill pipe." Engineering Failure Analysis 18.5 (2011): 1395.

4. Gao, Deli, Lianzhong Sun, and Jihong Lian. "Prediction of casing wear in extended-reach drilling." Petroleum Science 7.4 (2010): 494-501.

5. Truhan, John, et al. "The friction and wear of various hard-face claddings for deep-hole drilling." Wear 263.1-6 (2007): 234-239.

6. Zhang, Kai, Zhenquan Wang, and Deguo Wang. "Research Progress of the Drill String Hardbanding Materials." Strength of Materials. IntechOpen, 2019.

7. Mobley, John G. "Current hardbanding techniques protect pipe, casing." Drilling contractor 61.2 (2005).

8. Orland, Ian J., et al. "Climate deterioration in the Eastern Mediterranean as revealed by ion microprobe analysis of a speleothem that grew from 2.2 to 0.9 ka in Soreq Cave, Israel." Quaternary Research 71.1 (2009): 27-35.

9. Biddle, Jennifer F., et al. "Metagenomics of the subsurface Brazos-Trinity Basin (IODP site 1320): comparison with other sediment and pyrosequenced metagenomes." The ISME journal 5.6 (2011): 1038-1047.

10. Best, Bruno. "Casing wear caused by tooljoint hardfacing." SPE drilling engineering 1.01 (1986): 62-70.

11. Bol, G. M. "Effect of mud composition on wear and friction of casing and tool joints." SPE Drilling Engineering 1.05 (1986): 369-376.

12. Криль, Я. А., О. Р. Флюнт, Г. В. Криль. "Матеріалознавство: Тлумачний словник: Навчальний посібник.–У 2-х том./За ред. ЯА Криля.–Львів: Новий світ-2000, 2011.–Т. 1 (А-М).–432 с.–Т. 2 (Н-Я).–449 с."

13. McMicken, Jerry. "Extending the life of an amorphous hardface by introduction of pellets." U.S. Patent Application No. 10/507,530.

14. Liquidmetal Coatings. OIL & GAS [Internet]. 2016. Available from: http://www.liquidmetal-coatings.com/our-services/oil-gas/ [Accessed: September 29, 2019]

15. Arncon Technology Trust. Advanced Technology Backed by UnparalleledService[Internet].2015.Availablefrom:http://www.arncotech.com/products/products-home/[Accessed: September 29, 2019]

16. Arncon Technology Trust.ARNCO100XT [Internet]. 2016. Available from: http://www.arncotech.com/products/100xt/ [Accessed: September 29, 2019

17. Arncon Technology Trust. ARNCO300XT [Internet]. 2016. Available from: http://www.arncotech.com/products/300xt/ [Accessed: September 29, 2019]