

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет інженерії, транспорту та архітектури  
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр  
Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»  
Спеціальність: 132 «Матеріалознавство»  
Освітня програма: «Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

Зав.кафедрою ТАМ **ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Диха О.В.  
" 20 " березня 2023 р.

**З А В Д А Н Н Я**  
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Юськову Максиму Вікторовичу

1. Тема проекту:  
«Відновлення замкових з'єднань бурильних труб методом електродугового наплавлення»

керівник проекту: Диха Олександр Володимирович, д.т.н., проф.

Затверджено наказом університету від 1.03 2023р. № 5

2. Строк подання студентом проекту на кафедру: 10.06.2023 р.

3. Вихідні дані до проекту:

- 1) Технічні умови на технологію електродугового наплавлення.
- 2) Річна програма ремонту.
- 3) Результати літературного огляду і патентного пошуку.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналіз умов роботи, експлуатації, матеріалів та види зносу бурильних труб
2. Матеріали, обладнання технології відновлення бурильних замків
3. Аналіз технологічного процесу нанесення і контроль якості наплавки
4. стендові випробування відновлених наплавкою замкових з'єднань

5. Консультанти розділів роботи

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет інженерії, транспорту та архітектури  
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр

Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»

Спеціальність: 132 «Матеріалознавство»

Освітня програма: «Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Зав.кафедрою ТАМ

Диха О.В.

" 20 " березня 2023 р.

**ЗАВДАННЯ**  
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Юськову Максиму Вікторовичу

1. Тема проекту:

«Відновлення замкових з'єднань бурильних труб методом електродугового наплавлення»

керівник проекту: Диха Олександр Володимирович, д.т.н., проф.

Затверджено наказом університету від 1.03 2023р. № 5

2. Строк подання студентом проекту на кафедру: 10.06.2023 р.

3. Вихідні дані до проекту:

- 1) *Технічні умови на технологію електродугового наплавлення.*
- 2) *Річна програма ремонту.*
- 3) *Результати літературного огляду і патентного пошуку.*

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. *Аналіз умов роботи, експлуатації, матеріалів та види зносу бурильних труб*
2. *Матеріали, обладнання технології відновлення бурильних замків*
3. *Аналіз технологічного процесу нанесення і контроль якості наплавки*
4. *стендові випробування відновлених наплавкою замкових з'єднань*

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

6. Дата видачі завдання: 20 березня 2023р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз умов роботи, експлуатації, матеріалів та види зносу бурильних труб	1.05.2023	
2	Матеріали, обладнання технології відновлення бурильних замків	15.05.2023	
3	Аналіз технологічного процесу нанесення і контроль якості наплавки	25.05.2023	
4	Стендові випробування відновлених наплавкою замкових з'єднань	5.06.2023	
5	Оформлення пояснювальної записки	15.06.2023	

Студент



Юськов М.В.

Керівник роботи



Диха О.В.

## РЕФЕРАТ

Обсяг пояснювальної записки – 85 сторінок, кількість рисунків – 38, таблиць – 16, додатків – 1, кількість джерел згідно із переліком посилань – 44  
Студент гр. МТВАс-20-2 Юськов М.В.

Тема «Відновлення замкових з'єднань бурильних труб методом електродугового наплавлення»

Дана бакалаврська дипломна робота присвячена забезпеченню необхідного рівня властивостей замкових з'єднань бурильних труб після відновлення електродугової наплавки.





В процесі виконання дипломної роботи було виконано:

- 1) Визначений тип та склад захисного середовища (флюсів або газового середовища), що забезпечує технологічність процесу наплавлення, необхідний ступінь легування, при збереженні хорошої оброблюваності наплавленого металу.
- 2) Визначено вплив температури попереднього підігріву замка на рівень залишкової напруги в зоні термічного впливу.
- 3) Визначено вплив товщини шару, що наплавляється, на структуру та властивості металу замків після відновного ремонту, а також на формування зони термічного впливу.

**Перелік ключових слів:** бурильні труби, наплавлення, легування, залишкові напруження, термічний вплив

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. АНАЛІЗ УМОВ РОБОТИ, ЕКСПЛУАТАЦІЇ, МАТЕРІАЛІВ ТА ВИДИ ЗНОСУ БУРИЛЬНИХ ТРУБ.....	9
1.1. Конструкція та матеріали, що застосовуються для виготовлення замкових з'єднань бурильних труб, мікроструктура та властивості.....	9
1.2. Умови роботи, експлуатаційні особливості та види зносу бурильних труб.....	14
1.3. Основні способи відновлювального ремонту наплавкою.....	16
1.4. Процес відновлювального ремонту замкових з'єднань бурильних труб методом електродугового наплавлення та існуючі проблеми.....	26
2. МАТЕРІАЛИ, ОБЛАДНАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ БУРИЛЬНИХ ЗАМКІВ.....	31
2.1. Матеріали та обладнання, що використовуються для технології відновлення.....	31
2.2. Методика визначення хімічного складу на оптико-емісійному спектрометрі СПАС-02.....	32
2.3. Методика проведення випробувань на ударну в'язкість на маятниковому копрі МК-30.....	32
2.4. Методика проведення випробувань на однісне розтягування на розривній машині Р-10М.....	34
2.5. Методика проведення вимірів твердості на твердомірах ТШ-2М та ТК-2М.....	35
2.6. Методика проведення металографічного аналізу.....	36
2.7. Методика аналізу залишкових напруг.....	37

ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.	Юськов	✓		
Перевір.	Диха			
Н.контр.	Бабак			
Затвер.	Диха			
Відновлення замкових з'єднань бурильних труб методом електродугового наплавлення			Літ.	Аркуш
			4	82
ХНУ, гр. МТВАс-20-2				

2.8.Методика проведення натурних випробувань на статичне осьове навантаження..... 38

3. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ НАНЕСЕННЯ І КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ НАПЛАВКИ.....39

3.1.Вплив захисного середовища при відновленні замкових з'єднань бурильних труб.....39

3.2.Вплив температури попереднього підігріву при відновленні замкових з'єднань бурильних труб.....47

3.3.Оцінка впливу попереднього підігріву на величину залишкових напруг у металі замків після наплавлення.....53

3.4.Вплив товщини наплавленого шару при відновленні замкових з'єднань бурильних труб.....55

4.СТЕНДОВІ ВИПРОБУВАННЯ ВІДНОВЛЕНИХ НАПЛАВКОЮ ЗАМКОВИХ З'ЄДНАНЬ.....62

4.1.Стендові випробування замкових з'єднань бурильних труб на осьове навантаження..... 62

4.2.Стендові випробування замкових з'єднань бурильних труб на втомну міцність.....64

ВИСНОВКИ.....7  
1

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....72

Додатки.....77

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

Бурильна труба – це інструмент, що використовується при бурінні свердловин, що забезпечує передачу моменту, що крутить, від приводу до долоту, а також циркуляцію бурового розчину на вибої. Робота бурильних труб протікає в умовах комбінованих навантажень, при одночасному впливі циклічних згинальних та ударних навантажень, зовнішнього та внутрішнього гідростатичного тиску, проте статистичні дані показують, що понад 60% бурильних труб відбраковуються через абразивно-фрикційне зношування замкового з'єднання назовні діаметру [1]. Відповідно до прийнятих стандартів на списання зношеного бурильного інструменту, допускається експлуатація бурильних труб із зносом замкових частин по зовнішньому діаметру не більше 38%, після чого труба утилізується. З урахуванням короткого життєвого циклу бурильної труби,

Існують різні підходи та способи ремонту, проте найбільше поширення як один із найефективніших для замкових з'єднань знайшов метод відновлення електродугової наплавки в захисному середовищі. Цей метод виник на початку ХХ століття, проте широке застосування знайшов у 80-90-х роках, коли особливо гострою стала проблема нестачі бурильного інструменту [2]. Зовні відновлені замки складно відрізнити від нових, а бурильна труба, що постачається після капітального ремонту, добре зарекомендувала себе при будівництві щодо неглибоких свердловин. Проте останні десятиліття, у розрізі видобутку корисних копалин, характеризується помітним виснаженням існуючих ресурсних фондів, що ставить видобувні компанії перед необхідністю буріння глибших і дорогих свердловин, ремонту. При цьому випробовуване бурильною колоною навантаження постійно зростають, а існуючий технологічний процес відновлювального ремонту не зазнає змін. Дослідження структури та властивостей відновлених

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

замкових з'єднань показали, що існуючий спосіб відновлення не забезпечує стабільного одержання в металі замку необхідного рівня механічних властивостей.

Вважається, що решта механічних властивостей відновленого замкового з'єднання знаходиться на необхідному рівні по всій глибині металу під наплавленим шаром. За такого підходу ігнорується вплив температурного чинника у процесі ремонту на мікроструктуру металу тіла замку під наплавленим шаром. Нанесення наплавлення супроводжується перегріванням вище за температуру аустенізації з утворенням на поверхні гартової мікроструктури, у той час як основний метал замкового з'єднання може зазнавати в зоні термічного впливу (ЗТВ) процес відпустки, що супроводжується значним зниженням твердості порівняно з поверхнею. Твердість поверхні, як правило, укладається в норми, що регламентуються, а виріб безперешкодно проходить контроль якості і допускається до експлуатації з низькими механічними властивостями основного металу в зоні термічного впливу. Повний спектр необхідних механічних характеристик не може бути досягнутий без одержання певного мікроструктурного стану в металі, що забезпечує потрібні механічні характеристики. Для цього необхідно, перш за все, проведення дослідження залежності мікроструктури та механічних властивостей металу наплавленого шару та основного металу в прилеглий зоні термічного впливу від умов реалізації процесу наплавлення. По-перше, це визначення складу захисного середовища (флюсів або газового середовища) наплавлення, що забезпечує ступінь легування ванни розплаву, а також надійний захист від надходження повітря в область відновлення. Важливим фактором, що впливає на вибір захисного середовища, також є ступінь її адгезії до наплавленого металу шару. По-друге, необхідна мікроструктура не може бути отримана без коригування температурно-часового режиму наплавлення, що полягає в обмеженні

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

максимальної температури нагрівання тіла замкового з'єднання, а також введенні попереднього підігріву виробу перед відновленням. По-третє, необхідно проведення оцінки впливу товщини шару, що одноразово наплавляється на мікроструктурний стан основного металу, а також визначення кількості таких шарів при послідовній наплавці.

Таким чином, тематика цієї роботи є актуальною та спрямована на вирішення проблеми підвищення якості замкових з'єднань бурильних труб після капітального ремонту.

**Мета роботи:** забезпечення необхідного рівня властивостей замкових з'єднань бурильних труб після відновлення електродугової наплавки, на основі матеріалознавчих досліджень впливу умов наплавлення на хімічний склад, мікроструктуру та механічні властивості напавленого шару, прилеглої зони термічного впливу та основного металу.

#### **Завдання дипломної роботи.**

- 1) Побудова теплової моделі, що зв'язує температурне поле та градієнт температури в тілі замку з характеристиками напавленого шару.
- 2) Визначення типу та складу захисного середовища (флюсів або газового середовища), що забезпечує технологічність процесу наплавлення, необхідний ступінь легування, при збереженні хорошої оброблюваності напавленого металу.
- 3) Визначення температури попереднього підігріву замка на рівень залишкової напруги в зоні термічного впливу.
- 4) Дослідження впливу товщини шару, що наплавляється, на структуру та властивості металу замків після відновного ремонту, а також на формування зони термічного впливу.

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1. АНАЛІЗ УМОВ РОБОТИ, ЕКСПЛУАТАЦІЇ, МАТЕРІАЛІВ ТА ВИДИ ЗНОСУ БУРИЛЬНИХ ТРУБ

## 1.1 Конструкція та матеріали, що застосовуються для виготовлення замкових з'єднань бурильних труб, мікроструктура та властивості

Бурильна труба – це інструмент, що використовується при бурінні свердловин, що забезпечує передачу моменту, що крутить, між приводом і долотом, а також циркуляцію бурового розчину на вибої. З'єднання бурильних труб між собою відбувається за допомогою замків, які можуть бути як у вигляді відокремлених виробів, так і у вигляді нероз'ємних елементів бурильної труби. Однією з найпоширеніших конструкцій бурильної труби є зварне з'єднання, виконане зварюванням тертям на спеціальних станах у заводських умовах. Зовнішній вигляд бурильної труби (після відновлювального ремонту наплавкою) представлений на рисунку 1.1.



зварний шов з ніпельної сторони тіла труби зварений шов з муфтового боку

Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд бурильної труби після відновлення наплавленням

З рисунка 1.1 видно, що основними конструкційними елементами бурильної труби є тіло і замок, що є ніпельною та муфтовою частинами, приварені зварюванням тертям у зоні висадки (потовщення) бурильної труби з протилежних сторін. Далі за текстом цієї роботи поняття "бурильна труба" буде використано винятково у значенні зварної конструкції тіла бурильної труби із замковими частинами (ніпелем та муфтою), а поняття "замок" у значенні конструкційного елемента

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

бурильної труби (замкового з'єднання двох) бурильних труб, що складається з ніпельної частини однієї труби і муфтової частини іншої).

Для виготовлення бурильних труб і замків (у разі якщо дане замкове з'єднання є приварним) можуть застосовуватись різні марки конструкційних легованих сталей. Відповідно до вимог отестандартів (ГОСТ, API) у переважній більшості випадків марка сталі не регламентується нормативним документом і встановлюється виробником з умови забезпечення вимог відповідного стандарту для механічних властивостей цієї групи міцності, а також обмеження шкідливих домішок сірки (S) та фосфору. (P) [3–6].

Необхідний комплекс властивостей найбільше ефективно реалізується за допомогою термічної обробки сталі, що дозволяє створювати в деталі необхідну для нормальної роботи бурильних труб в'язку та міцну мікроструктуру. Якість термічної обробки значною мірою залежить від хімічного складу сталі. Одним з найважливіших елементів, які багато в чому визначають властивості майбутнього виробу, є вуглець. Це неметалевий поліморфний елемент, який у звичайних умовах перебуває у модифікації графіту, однак у замкових сталях у такому вигляді не зустрічається. Роль вуглецю полягає у формуванні цементиту та карбідів у сталі. Ефективність впливу вуглецю на властивості легованих сталей залежить від природи присутніх у сталі легуючих елементів та їхнього масового співвідношення. Розчиняючись у ферриті, вони перешкоджають розповсюдженню дислокацій та зміцнюють метал. Значний вплив на твердість нормалізованого фериту мають елементи, що мають відмінну від  $\alpha$ -заліза кристалічну решітку (марганець, нікель, кремній тощо). Більшість легуючих елементів при їх вмісті понад 1% зміцнюють ферит. Пластичні характеристики при цьому практично не змінюються, проте ударна в'язкість значною мірою падає. Єдиним елементом, що не впливає на ударну в'язкість, є нікель, роль якого полягає

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

не у збільшенні абсолютних значень в'язкості при кімнатній температурі випробування, а в різкому підвищенні температурного запасу в'язкості. Таким чином, вплив нікелю на властивості покращеної сталі зводиться до збереження ударної в'язкості за негативних температур випробувань.

Особливістю роботи бурильних труб є циклічний знакоперемінний характер навантаження. У зв'язку з цим матеріал повинен мати великий запас міцності та високу межу витривалості. Для виготовлення досліджуваних у роботі замкових з'єднань бурильних труб застосовується сталь марки 40ХМФА. Замкові з'єднання з даної сталі піддаються термічній обробці, що включає загартування та високу відпустку, оскільки у відпаленому стані сталь за механічними властивостями практично не відрізняється від вуглецевої.

За даними ГОСТ 4543-71 [6] температура загартування для сталі 40ХМФА становить 860°C. Як охолоджувальне середовище, як правило, застосовується масло. При звичайних швидкостях нагріву під гарт перліт зберігає свою пластинчасту або зернисту будову до температури  $A_{c1}$  (рисунок 1.2 [7]).

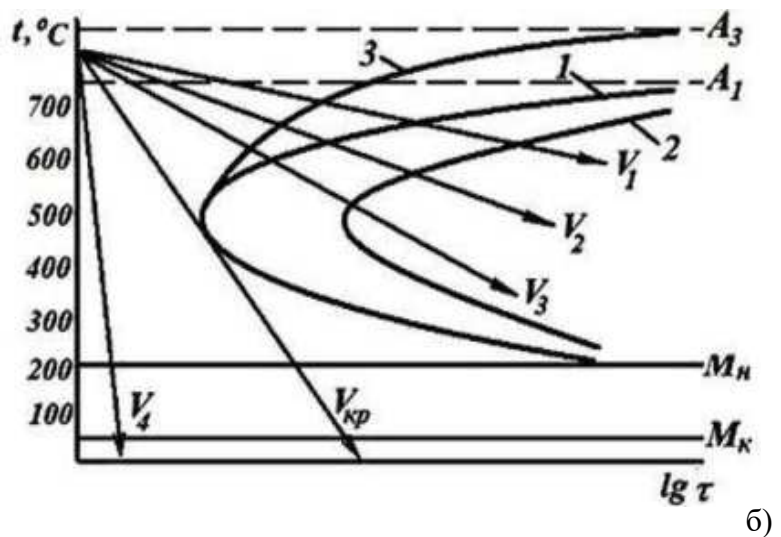
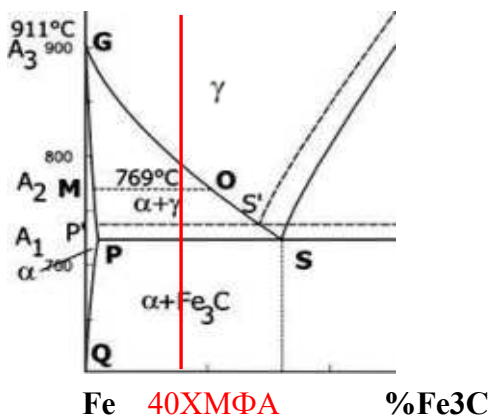


Рисунок 1.2 - Перетворення в сталі 40ХМФА при нагріванні (а- фрагмент діаграми стану залізо-цементит для області сталі 40ХМФА; б) діаграма ізотермічного розпаду аустеніту в сталі 40ХМФА і криві охолодження: 1 - початок перетворення аустеніту; 2 - кінець перетворення аустеніту в перліт; 3 – початок виділення фериту)

При температурі вище за  $A_{c1}$  цементит розчиняється, відбувається

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перетворення перліту в аустеніт. Зародження зерен аустеніту починається на межах фаз фериту та цементиту. Так як утворення зерен аустеніту відбувається з досить високою швидкістю, для забезпечення повного розчинення цементиту в аустеніті та отримання гомогенного аустеніту необхідно деякий час підтримувати температуру сталі, що дорівнює температурі загартування. Фазова перекристалізація призводить до подрібнення зерна у сталі. При цьому, чим вище дисперсність структури перліту та швидкість нагрівання сталі, тим більше виникає центрів зародження аустеніту, а, отже, зростає дисперсність продуктів його розпаду, що призводить до збільшення пластичності, в'язкості, зменшення чутливості до концентрації напруги.

Якщо швидкість охолодження буде більшою за критичну, то в рамках меж зерна аустеніту утворюватиметься мартенсит і залишковий аустеніт у кількості 1–3%. Утрудненість розпаду залишкового аустеніту пов'язана з появою значних стискаючих напруг, що виникають внаслідок збільшення обсягу при переході ГЦК ґрат в ОЦК. Мікроструктура сталі 40ХМФА після загартування представлена рисунку 1.3.

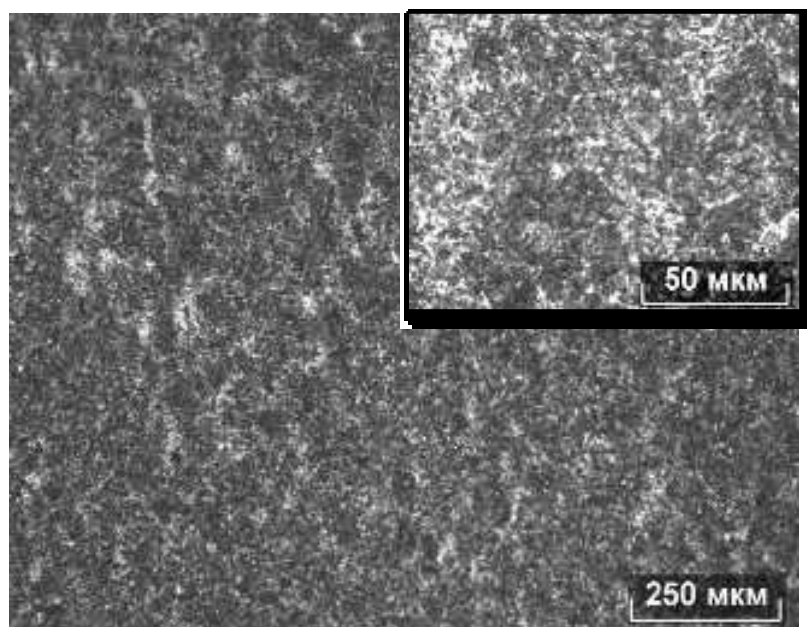


Рисунок 1.3 – Мікроструктура сталі 40ХМФА після загартування  
Для надання сталі замків необхідних експлуатаційних властивостей,

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

після загартування проводиться висока відпустка. Сталь 40ХМФА відноситься до класу перлітних покращуваних легуваних конструкційних сталей з обмеженою зварюваністю. Через присутність хрому у складі для неї характерна відпускна крихкість, усунення якої потребує швидкого охолодження від температури високої відпустки. Відпустка проводиться за температури

600 °С, вище інтервалу температур необоротної відпускної крихкості 450–500 °С у якому може статися крихка. В інтервалі температур 500...600 °С відбувається перехід мартенситу в сорбіт відпустки, а також процес карбідоутворення. Мікроструктура сталі 40ХМФА після відпустки представлена рисунку 1.4.

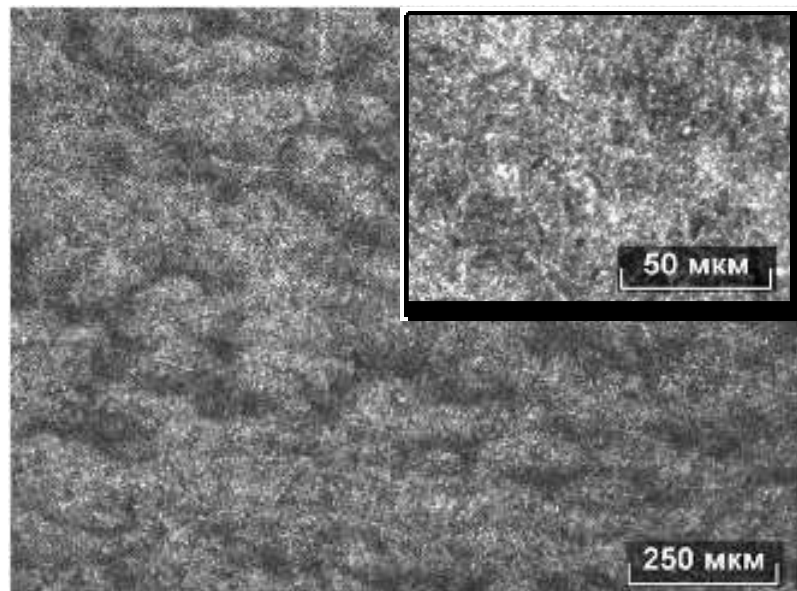


Рисунок 1.4 – Мікроструктура сталі 40ХМФА після відпустки

В результаті суттєво знижується залишкова напруга, активізується процес коалесценції карбідів, що призводить до зменшення дисперсності ферито-цементитної суміші та формування мікроструктури сорбіту відпустки, що забезпечує необхідний рівень механічних та експлуатаційних властивостей.

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 1.2 Умови роботи, експлуатаційні особливості та види зносу бурильних труб

Сполучені між собою бурильні труби разом з рештою технологічних елементів утворюють бурильну колону. Робота бурильної колони протікає в у край важких умовах і її стан багато в чому визначає ефективність використання робочого часу протягом кожного спуску. Тривалість життєвого циклу бурильної колони залежить від дуже різноманітних факторів, найбільш суттєві з яких:

- величина та характер діючих навантажень;
- наявність місць концентрації напруг, таких як різьбове з'єднання, зчленування елементів бурильної колони різної жорсткості;
- корозійний вплив середовища, в якому знаходиться бурильна колона;
- абразивний вплив на бурильну колону стін свердловини та твердих частинок, що знаходяться в циркулюючому буровому розчині;
- виникнення коливальних процесів, резонансних явищ та реактивних моментів у бурильній колоні.

Величини та характер навантажень, що діють на колону, залежать від способу буріння, траєкторії та стану свердловини, застосовуваних режимів буріння, технічного стану наземного обладнання, оснащення його засобами механізації, автоматизації та контролю, а також від кваліфікації бурового персоналу [8].

Існує два основних способи буріння – роторне та буріння із вибійними двигунами. При роторному бурінні, бурова колона, що передає обертання від ротора до долота, зазнає дії низки сил. Верхня частина колони під дією сил власної ваги та перепаду тиску в промивних отворах долота знаходиться у розтягнутому, а нижня, яка сприймає реакцію вибою – у стислому стані [8]. Отже, у буровій колоні є переріз, в якому відсутні осьові сили, що розтягують і стискають. Вище цього

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перерізу діють напруги розтягування, що зростають до вертлюга, а нижче за нього – напруги стиснення, що збільшуються до долоту. Переданий бурильною колоною крутний момент призводить до виникнення в ній напруг кручення, а обертання колони з певною частотою породжує відцентрові сили і, отже, напруги, що згинають. Перші зменшуються від вертлюга до долоту, а інші мають максимальне значення у нижній частині бурильної колони за роторного способу буріння. Аварії при роторному бурінні відбувається, в основному, через поломки внаслідок втомного зносу різблення, зварювального шва, матеріалу трубної частини та приєднувальних елементів.

При бурінні із вибійними двигунами бурова колона не обертається. При цьому вона відчуває напруження розтягування та стиснення у розтягнутій та стислій частинах колони. Згинальні навантаження, що виникають при втраті стиснутою частиною прямолінійної форми невеликі. Незначний і реактивний момент вибійного двигуна, тому дотичні напруги, що діють у напрямку до вертлюга, не досягають небезпечних значень. Аварії при бурінні із вибійними двигунами відбуваються, в основному, через прихвати, що нерухомо лежать на стінці свердловини колони, і розмивання різбових з'єднань і стінок труб.

Під час експлуатації бурильних труб спостерігається рівномірне та нерівномірне зношування, а також утворення рисок та задирок на робочих поверхнях деталей. Оскільки під час роботи труба піддається змінним за величиною та знаку навантаженням, то найбільше поширення має нерівномірне зношування. Особливо швидкого зношування піддаються бурильні замки, насамперед через стирання об стінку свердловини, а також втоми від циклічних навантажень та зношування різблення струменем промивної рідини у разі недокріплення [9]. Тіло труби, при цьому, має досить низьке напруження і могло б бути надалі залучене до будівництва свердловин. Аналіз статистичних даних з трубних баз, а

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

також багаторічний досвід експлуатації свердловин дозволяють стверджувати,

### **1.3 Основні способи відновлювального ремонту наплавкою**

Існують різні напрями відновлювального ремонту замкових з'єднань бурильних труб, проте найбільшого поширення, як найбільш ефективний, отримав напрямок відновлення наплавкою. Процес наплавлення включає нанесення розплавленого металу на оплавлену металеву поверхню з подальшою його кристалізацією, в результаті чого створюється шар із заданими властивостями. У більшості способів наплавлення, як і при зварюванні, утворюється рухлива ванна розплаву. У головній частині ванни основний метал розплавляється та переміщується з електродним металом, а у хвостовій частині відбувається кристалізація розплаву [10]. Метал, що наплавляється, вибирають з урахуванням експлуатаційних вимог і зварюваності. Наплавлення може проводитися в один або кілька шарів, товщина яких також може змінюватись.

Підбір умов наплавлення проводять, виходячи з особливостей матеріалу деталі, що наплавляється. Наплавлення деталей із низьковуглецевих та низькоколегованих сталей зазвичай проводять в умовах відсутності попереднього підігріву виробів. Наплавлення середньо- та високовуглецевих, легованих та висококолегованих сталей, що мають обмежену зварюваність, часто виконується з попереднім підігрівом, а також з проведенням подальшої термообробки з метою зняття внутрішніх напруг [11,12]. Залежно від розмірів виробу та специфіки роботи існує кілька основних напрямків ремонту наплавленням. При виборі найбільш раціонального способу слід враховувати умови експлуатації виробу, а також технологічність та економічну ефективність процесу. Електродугове наплавлення під флюсом є одним з найбільш вивчених у всіх відношеннях видів наплавлення. У разі дугового наплавлення під флюсом, нагрівання металу

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

здійснюється теплом дуги, що горить між електродом, що плавиться, і основним металом під шаром флюсу. Наплавлення вуглецевих та низьколегованих сталей виконують під плавленими флюсами, а також електродними стрічками, а високолегованих хромонікелевих сталей та сталей інших типів з легкоокислювальними елементами – під фторидними флюсами [13,14]. Для попередження утворення шлакових включень та непроварів у наплавленому шарі при багат шаровому наплавленні необхідно ретельно видаляти шлакову кірку з попередніх шарів. Основними перевагами даного методу є висока продуктивність процесу, незначні втрати електродного металу.

Автоматична електродугова наплавка під флюсом, поряд з високою продуктивністю забезпечує необхідну якість та однорідність наплавленого шару. Однак при цьому зростає глибина проплавлення основного металу та частка його участі у наплавленому до 30...50 % [15,16]. Зниження зазначених негативних показників реалізується різними методами на процеси перенесення електродного металу через дугу або формування зварювальної ванни.

Електродугове наплавлення в захисних газах застосовується в тому випадку, коли неможлива подача флюсу та видалення шлакової кірки [17, 18]. Перевагами цього виду наплавлення є візуальне спостереження за процесом та можливість його широкої механізації та автоматизації з використанням серійного зварювального обладнання. Її застосовують при наплавленні деталей у різних просторових положеннях, внутрішніх поверхонь, глибоких отворів, дрібних деталей та складних форм тощо. Процес наплавлення в захисних газах багато в чому схожий на наплавку під флюсом, відмінність лише в тому, що замість флюсової застосовують газовий захист зони зварювання. Крім перерахованих переваг це звільняє зварювальника від необхідності засипання флюсу та видалення шлаку. З метою зменшення розбризкування металу наплавлення в захисному газі

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виробляється найкоротшою дугою [19]. Циліндричні деталі наплавляють по гвинтовій лінії безперервним валиком, так і з поперечними коливаннями електрода. Наплавлення може проводитися у вуглекислому газі, аргоні, гелії та азоті, як плавлящимся, так і електродами, що не плавляться [20]. Неплавлячий вольфрамовий електрод зазвичай застосовують при напавленні в аргоні та гелії. Для наплавлення деталей з вуглецевих та низьколегованих сталей з метою відтворення їх розмірів застосовують зварювальні дроти Св-08ГС, Св-08Г2С, Св-12ГС, а також наплавочні дроти Нп-40, Нп-50, Нп-30ХГСА [21,22]. При необхідності одержання напавленого шару з особливими властивостями застосовують порошкові дроти. Недоліком способу є те, що в процесі напавлення у вуглекислому газі спостерігається сильне розбризування рідкого металу, що призводить до налипання бризок на мундштук і засмічення сопла пальника. Крім того, можливість здування газового струменя вітром ускладнює напавлення на повітрі.

В даний час великий науковий і практичний інтерес є процесом плазмового напавлення, при якому забезпечується мінімальний перехід основного металу в напавлений. Плазмова напавка може виконуватися з подачею металу присадки у вигляді дроту, стрічки або порошку в стислу дугу [23–26]. Сутність цього методу полягає в тому, що нагрівання присадкового та основного металу здійснюється стиснутою дугою або газовою плазмою, виділеною або збігається зі стовпом дуги [27, 28]. Для промислового застосування розроблено кілька способів плазмового напавлення з боковою подачею дроту присадки [29].

При напавленні з електрично нейтральним виробом плазмова дуга горить між присадковим дротом і електродом плазмотрону, що не плавиться. У цьому випадку продуктивність напавлення зростає, проте через малого тепловкладання в основний метал існує ймовірність появи несплавень.

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Плазмова наплавка з використанням струмоведучого дроту знайшла застосування для створення біметалічних виробів з основою з чавуну, вуглецевих, низьколегованих сталей. Основними недоліками другого способу плазмового наплавлення з електрично нейтральним присадним дротом є мала продуктивність процесу.

Найбільшого поширення набув третій спосіб, що передбачає горіння двох дуг: однієї між електродом, що не плавиться, плазмотрона і виробом, другий – між електродом плазмотрону, що не плавиться і дротом. При цьому неможливо отримати продуктивність наплавлення понад 10 кг/год [30–32], а також зменшити глибину проплавлення основного металу, що призводить до збільшення витрат на наплавлення.

У вітчизняній та зарубіжній практиці плазмову наплавку широко застосовують при зміцненні сідел клапанів хімічного обладнання; внутрішніх поверхонь ротаційних насосів із сталевого лиття; клапанів автотракторних двигунів; поверхонь, що зношуються, інструменту, що самозаточується [33–35]. Переваги цього виду наплавлення – мала глибина проплавлення основного металу, можливість наплавлення тонких шарів, висока якість та гладка поверхня наплавленого металу. Недоліком є дорожнеча виробництва.

Одним із нових напрямків ремонту є наплавлення тертям. Цей метод має значний потенціал для подальшого промислового застосування і розробляється як практична альтернатива всім іншим методам, проте поки що не набув поширення [36, 37]. Процес наплавлення тертям нагадує звичайне зварювання тертям, яке проводиться при обертанні одного прутка або заготовлі щодо іншого при безперервному їх підтисканні один до одного. При цьому наплавлений шар залежно від режиму процесу може мати дуже малу товщину (0,2...0,5 мм). Для зварювання не потрібне джерело живлення, зварювальних електродів, флюсу, газів. Не виділяються шкідливі аерозолі, які супроводжують виробничі процеси.

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Цим видом наплавлення можна наплавляти різні метали, такі як алюмінієві сплави, алюміній з міддю, магній з міддю,

Електроннопроменева наплавка широко застосовується в багатьох областях через високу глибину і ширину поверхонь, що одночасно наплавляються. Електроннопроменева наплавка дозволяє отримати покриття, що поєднують у собі зносостійкість та корозійну стійкість. Метод електронно-променевої наплавки та результати досліджень подібних покриттів описані у роботах вітчизняних та зарубіжних авторів [41-43]. Перевагою технології є можливість окремо розподіляти потужність променя, що йде на підігрів поверхні, що наплавляється і металу, що наплавляється. Звідси – можливість домагатися практично мінімального перемішування основного та наплавного матеріалів і лише у шарах наплавлення, що прилягають до основного матеріалу [42]. Так як наплавлення проводиться у вакуумних камерах, вигорання з присадного матеріалу легуючих елементів виключається; в результаті з'являється можливість легувати метал, що наплавляється, в будь-яких кількостях і поєднаннях. Присадкою служить дріт суцільного перерізу або порошковий. Продуктивність такої технології наплавлення досить велика: до 2 кг/год, товщина наплавлення може бути в межах 0,2...3 мм. Даний метод не підходить для відновлення замкових з'єднань бурильних труб через їх масивність (для наплавлення потрібна вакуумна камера), дорожнечу обладнання та необхідність кваліфікованого персоналу, малого ККД.

Широке застосування, як один із методів відновлення зношених поверхонь, знайшов процес лазерного наплавлення [44]. Вона здійснюється трьома способами: з подачею порошку присадки в зону лазерного променя за допомогою досить складного дозуючого пристрою; з оплавленням попередньо нанесеного на поверхню присадного матеріалу у вигляді пасти; з оплавленням попередньо напилених поверхонь [45].

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Швидке охолодження наплавленого металу сприяє одержанню високотвердих структур у наплавленні та поверхні основного металу. Спосіб дуже ефективний, хоч і вимагає спеціального дорогого обладнання та навченого персоналу. Його використовують для наплавлення лопат турбін, клапанів, розподільчих валів та інших деталей відповідального призначення. Він дозволяє отримувати наплавлені поверхні завтовшки до 0,1 мм. Продуктивність при добре організованому серійному виробництві може досягати до 1 кг/год при частці основного металу в наплавленому 5... 7 % за рахунок можливості перерозподілу тепла. Загальним ефектом для всіх різновидів лазерної наплавки є подрібнення зерна через швидке охолодження і недостатній час для зростання зерна [46–48]. Зростання зерна є спрямованим, але замість дендритів спостерігаються комірчасті структури. Спрямованість зростання зерен та нестаціонарність процесу призводять до того, що отримані структури мають більш менш виражену анізотропію. Для реалізації цього методу потрібне специфічне обладнання та матеріали, що робить його малопривабливим для відновлення замків бурильних труб.

При електрошлаковій наплавці для оплавлення основного і присадкового металу служить шлакова ванна, що розігрівається електричним струмом, що проходить через неї. Цей спосіб наплавлення, як правило, поєднується з примусовим формуванням шару, що наплавляється. Сутність процесу електрошлакового наплавлення полягає в тому, що в просторі, утвореному поверхнею виробу, що наплавляється, і формуючим кристалізатором, що охолоджується водою, створюється ванна розплавленого шлаку, в яку подається електродний дріт [49,50]. Струм, проходячи між електродом та виробом, нагріває шлакову ванну до температури вище 2000°C, внаслідок чого електродний та основний метали оплавляються, утворюючи ванну розплаву, при затвердінні якої формується наплавлений шар. Для здійснення процесу електрошлакового

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

наплавлення різних поверхонь необхідна досить глибока шлакова ванна, отримання якої найпростіше при вертикальному або похилому розташуванні деталей. Порівняно з дуговою наплавкою це менш універсальний спосіб, але він дуже ефективний.

вен у тих випадках, коли потрібне відновлення деталей з більшим об'ємним зносом (більше 14 – 16 мм) [51–53], а також підвищення їхньої зносостійкості за допомогою армування їх робочих поверхонь зносостійкими сплавами. Завдяки застосуванню великої сили струму та електродів великого перерізу можна досягти високої продуктивності – до 150 кг наплавленого металу на годину.

Вібродугове наплавлення зазвичай використовується для наплавлення деталей типу тіл обертання діаметром від 8 – 10 мм і більше. Сутність цього методу наплавлення полягає в тому, що основний і електродний метал нагріваються до розплавлення теплотою, яка виділяється в результаті виникнення електричних розрядів, що періодично повторюються, тобто переривчасто палаючої електричної дуги [54,56]. Наплавлений шар утворюється в процесі кристалізації розплавленого основного та електродного металу. Мінімальна тривалість і переривчастість горіння електричної дуги обумовлені вібраціями електродного дроту, які створюються за допомогою електромагнітних або механічних вібраторів. У процесі вібрацій спостерігаються короткі замикання внаслідок торкання електродного дроту до виробу, що наплавляється (основного металу), а під час відриву дроту виникає велика сила струму і спалахує електрична дуга. Як присадковий метал застосовують наплавочні дроти (один або кілька), які можуть мати зворотно-поступальні переміщення поперек зварювальної ванни, а також електродні стрічки, пластини або стрижні великого перерізу, іноді і труби, які використовують для наплавлення циліндричних поверхонь. Для наплавлення придатні зварювальні дроти діаметром 0,8 – 2,0 мм [57, 58]. З

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

метою захисту розплавленого металу від взаємодії з навколишнім середовищем наплавлення ведеться у струменях рідин чи захисних газів, а також під шаром флюсу. Застосовуються водні розчини кальцинованої соди; суміші кальцинованої соди, мила та гліцерину; емульсії гліцерину. Уривчастість процесу дозволяє отримувати зону Як присадковий метал застосовують наплавочні дроти (один або кілька), які можуть мати зворотно-поступальні переміщення поперек зварювальної ванни, а також електродні стрічки, пластини або стрижні великого перерізу, іноді і труби, які використовують для наплавлення циліндричних поверхонь. Для наплавлення придатні зварювальні дроти діаметром 0,8 – 2,0 мм [57, 58]. З метою захисту розплавленого металу від взаємодії з навколишнім середовищем наплавлення ведеться у струменях рідин чи захисних газів, а також під шаром флюсу. Застосовуються водні розчини кальцинованої соди; суміші кальцинованої соди, мила та гліцерину; емульсії гліцерину. Уривчастість процесу дозволяє отримувати зону Як присадковий метал застосовують наплавочні дроти (один або кілька), які можуть мати зворотно-поступальні переміщення поперек зварювальної ванни, а також електродні стрічки, пластини або стрижні великого перерізу, іноді і труби, які використовують для наплавлення циліндричних поверхонь. Для наплавлення придатні зварювальні дроти діаметром 0,8 – 2,0 мм [57, 58]. З метою захисту розплавленого металу від взаємодії з навколишнім середовищем наплавлення ведеться у струменях рідин чи захисних газів, а також під шаром флюсу. Застосовуються водні розчини кальцинованої соди; суміші кальцинованої соди, мила та гліцерину; емульсії гліцерину. Уривчастість процесу дозволяє отримувати зону які можуть мати зворотно-поступальні переміщення впоперек зварювальної ванни, а також електродні стрічки, пластини або стрижні великого перерізу, іноді труби, які використовують для наплавлення циліндричних поверхонь. Для наплавлення придатні зварювальні дроти діаметром 0,8 – 2,0 мм [57, 58]. З

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

метою захисту розплавленого металу від взаємодії з навколишнім середовищем наплавлення ведеться у струменях рідин чи захисних газів, а також під шаром флюсу. Застосовуються водні розчини кальцинованої соди; суміші кальцинованої соди, мила та гліцерину; емульсії гліцерину. Уривчастість процесу дозволяє отримувати зону які можуть мати зворотно-поступальні переміщення впоперек зварювальної ванни, а також електродні стрічки, пластини або стрижні великого перерізу, іноді труби, які використовують для наплавлення циліндричних поверхонь. Для наплавлення придатні зварювальні дроти діаметром 0,8 – 2,0 мм [57, 58]. З метою захисту розплавленого металу від взаємодії з навколишнім середовищем наплавлення ведеться у струменях рідин чи захисних газів, а також під шаром флюсу. Застосовуються водні розчини кальцинованої соди; суміші кальцинованої соди, мила та гліцерину; емульсії гліцерину. Уривчастість процесу дозволяє отримувати зону 0 мм [57, 58]. З метою захисту розплавленого металу від взаємодії з навколишнім середовищем наплавлення ведеться у струменях рідин чи захисних газів, а також під шаром флюсу. Застосовуються водні розчини кальцинованої соди; суміші кальцинованої соди, мила та гліцерину; емульсії гліцерину. Уривчастість процесу дозволяє отримувати зону 0 мм [57, 58]. З метою захисту розплавленого металу від взаємодії з навколишнім середовищем наплавлення ведеться у струменях рідин чи захисних газів, а також під шаром флюсу. Застосовуються водні розчини кальцинованої соди; суміші кальцинованої соди, мила та гліцерину; емульсії гліцерину. Уривчастість процесу дозволяє отримувати зону термічного впливу малої ширини, тому наплавлені деталі мають малі деформації, що особливо важливо при наплавленні складних виробів, виготовлених з високою точністю. Якщо наплавлення виконується в струмені рідини, відбувається прискорене охолодження наплавленого металу, тому має підвищену твердість і зносостійкість. Вібродугове наплавлення ефективне, якщо необхідно

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

наплавляти шари металу невеликої товщини. Недоліками вібродугового наплавлення є порівняно низький коефіцієнт наплавлення та невисока продуктивність наплавлення.

Індукційне наплавлення порошкових матеріалів досить широко використовується в машинобудуванні для нанесення зносостійких та антифрикційних покриттів на робочі поверхні виготовлених деталей вузлів тертя та сполучення високонавантажених механізмів [59]. Індукційне наплавлення проводиться в індукторах. Процес наплавлення включає такі добре відомі в порошковій металургії технологічні операції, як формування, нагрівання і ізотермічна витримка. Нагрівання до температур плавлення сформованих шарів здійснюється за рахунок електротермічної дії струмів Фуко, а також теплообміну та теплопередачі, характерних для порошкових матеріалів. Джерелом появи струмів Фуко, як показано в роботах [60-62], є електромагнітне випромінювання, потік якого залежить не тільки від геометрії та матеріалу індуктора, а й від потужності струму, що протікає в цьому індукторі. Однією з вимог при індукційному напавленні є необхідність мати матеріал підкладки з більш високою температурою плавлення, ніж напавлений. ККД процесу невисокий, існує небезпека перегріву основного металу. Однак можна підібрати такий режим, при якому майже повністю виключається перемішування основного та присадного металів. Продуктивність такого напавлення може досягати 15 кг/год при товщині шару, що напавляється 3.. 4 мм. Процес стає ефективним в умовах серійного виробництва і найчастіше застосовується у сільськогосподарському машинобудуванні. Існує небезпека перегріву основного металу. Однак можна підібрати такий режим, при якому майже повністю виключається перемішування основного та присадного металів. Продуктивність такого напавлення може досягати 15 кг/год при товщині шару, що напавляється 3.. 4 мм. Процес стає ефективним в умовах серійного

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виробництва і найчастіше застосовується у сільськогосподарському машинобудуванні. Існує небезпека перегріву основного металу. Однак можна підібрати такий режим, при якому майже повністю виключається перемішування основного та присадного металів. Продуктивність такого наплавлення може досягати 15 кг/год при товщині шару, що наплавляється 3.. 4 мм. Процес стає ефективним в умовах серійного виробництва і найчастіше застосовується у сільськогосподарському машинобудуванні.

#### **1.4 Процес відновлювального ремонту замкових з'єднань бурильних труб методом електродугового наплавлення та існуючі проблеми**

На ремонт у частині відновлення замкових деталей методом електродугового наплавлення подаються труби, що пройшли вхідний контроль і дефектоскопію не нижче 3-го класу з зносу тіла труби за товщиною стінки із замками не нижче 3-го класу з абразивного зносу зовнішньої поверхні [63]. Клас зносу визначають за даними дефектоскопії та інструментального контролю. Ремонт частини відновлення замкових деталей методом наплавлення піддаються труби всіх груп довжин відповідно до ГОСТ Р 50278-92, замки яких виготовлені з матеріалу 40ХМФА за ГОСТ 4543-71. За прийнятою на виробництві технологією [64–68] відновлення зношеної поверхні замку здійснюється методом електродугового наплавлення під шаром флюсу з використанням наплавного дроту НП–30ХГСА за ГОСТ 2246–70 діаметром 2 мм під шаром флюсу. При відновленні бурильної труби, на поверхні замкового з'єднання відбувається формування валиків з поздовжніх ділянок, що розташовуються уздовж труби, що утворює. Наплавлення здійснюють на прямій полярності з підключенням «мінуса» на електроди та «плюсу» на трубу. По всій ширині валика, що наплавляється, в зоні впливу всіх електродів формується загальна ванна рідкого металу. Наплавку

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

формують при переміщенні електродів у прямому і зворотному напрямку вздовж осі труби, що обертається. Переміщення електродів поєднують з подачею флюсу [69]. Схема установки для проведення наплавлення представлена на рисунках 1.5 та 1.6. По всій ширині валика, що наплавляється, в зоні впливу всіх електродів формується загальна ванна рідкого металу. Наплавку формують при переміщенні електродів у прямому і зворотному напрямку вздовж осі труби, що обертається. Переміщення електродів поєднують з подачею флюсу [69]. Схема установки для проведення наплавлення представлена на рисунках 1.5 та 1.6. По всій ширині валика, що наплавляється, в зоні впливу всіх електродів формується загальна ванна рідкого металу. Наплавку формують при переміщенні електродів у прямому і зворотному напрямку вздовж осі труби, що обертається. Переміщення електродів поєднують з подачею флюсу [69]. Схема установки для проведення наплавлення представлена на рисунках 1.5 та 1.6.

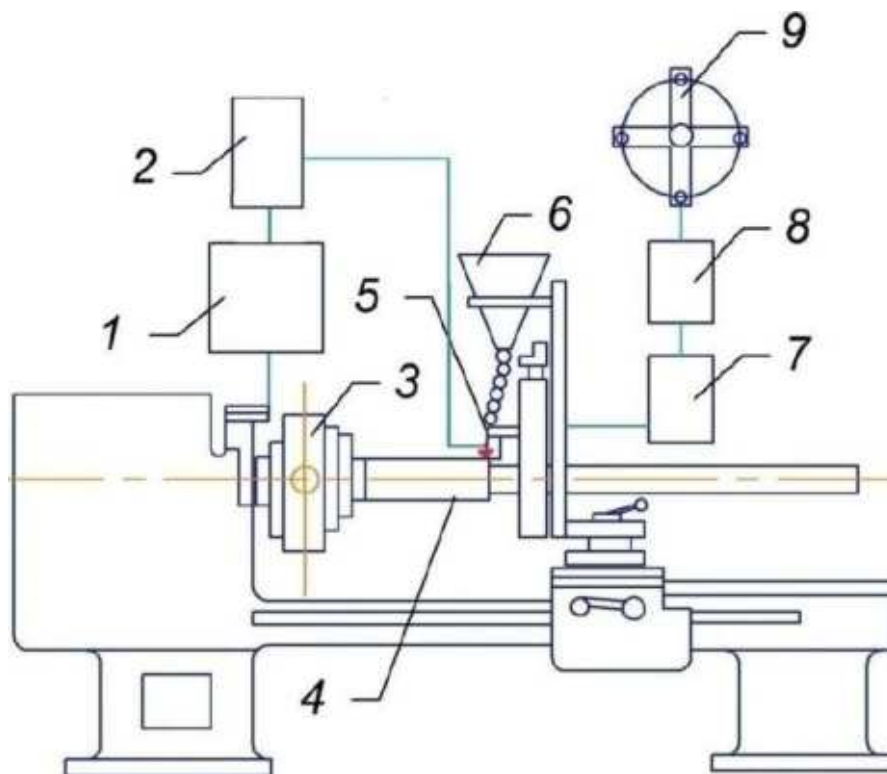


Рисунок 1.5 – Принципова схема установки для наплавлення

1- апаратний ящик; 2 - зварювальний перетворювач; 3- патрон токарного

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



товщини шару, що одноразово наплавляється, що дозволяє максимально продуктивно і при цьому з мінімальним впливом на мікроструктуру і властивості основного металу замку проводити відновлювальний ремонт. Раніше таких досліджень щодо процесу відновлювального ремонту замкових з'єднань бурильних труб не проводилося, у зв'язку з чим таке дослідження актуальне.

Як було згадано вище, в результаті відновлювального ремонту в наплавленому шарі виникають залишкові розтягувальні напруги, що підвищують схильність металу наплавлення до розтріскування. Одним із шляхів, що дозволяють значною мірою знизити рівень залишкової напруги, є введення попереднього підігріву. Попередній підігрів є підвищенням температури основного металу перед наплавленням до бажаного значення. При цьому може підвищуватися температура всього виробу або певної області. Підігрів може продовжуватися протягом усього технологічного процесу, але, як правило, теплового ефекту від наплавлення виявляється достатньо для того, щоб підтримувати бажану температуру без необхідності зовнішнього джерела тепла. Необхідність введення попереднього підігріву залежить від кількох факторів: вимог кодексів, товщини перерізу, складу основного металу, напруги, температури навколишнього середовища, вмісту водню в навколишньому металі та того, чи виникали проблеми з утворенням тріщин у минулому. У зварювальних кодексах зазвичай вказується мінімальна температура попереднього підігріву для кожного металу, типу зварювання та розмірів перерізу, що зварюється. У разі низьковуглецевої сталі попередній підігрів зазвичай не потрібний, проте при підвищенні вмісту легуючих елементів потреба у підігріві зростає. У процесі відновлювального ремонту, що розглядається, процедура попереднього підігріву відсутня. Це багато в чому пов'язано з тим, що на момент розробки технології відновлення замкових з'єднань бурильних наплавкою хімічний склад

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

замків був зовсім іншим і підігрів не був потрібний. З введенням хромомолібденової сталі 40ХМФА, що має обмежену зварюваність завдяки легуванню хромом і марганцем, такий підігрів у процесі відновлювального ремонту став необхідним, проте сама технологія змін не зазнала і не передбачає попереднього підігріву. Також великий практичний інтерес представляє використання вказівок зварювальних кодексів стосовно процесу відновлювального ремонту наплавкою. Ще однією важливою проблемою, що стосується експлуатаційної надійності бурильних труб після відновлення, є відсутність даних щодо впливу процесу наплавлення на міцність зварного з'єднання труби та замкової частини. Технологічний процес капітального ремонту бурильних замків, крім проведення наплавлення, передбачає перенарізування різьбових з'єднань. Для цього замок коротшає з торця на 30-35 мм і добудовується наплавленням еквівалентної ширини з боку висадженої частини. Таким чином, набувають чинності одночасно кілька факторів. По-перше, різьбова частина в найбільш небезпечному перерізі (2–3 витоки різьблення) потрапляє в область колишнього тіла замку, що має відмінну від різьбової частини мікроструктуру за рахунок більш високої товщини основного металу тіла замку. По-друге, внаслідок добудовування тіла замку може відбуватися одноразове наплавлення великого шару наплавлення (до 12 мм), що призводить до підвищення ширини зони термічного впливу, а також до утворення областей рекристалізації із заниженою твердістю. По-третє, область добудовування наплавки з кожним новим ремонтом зміщується все ближче до зварного шва, що може призвести до його зміцнення. У зв'язку з цим постає питання оцінки ступеня такого впливу на зону зварного з'єднання. Також велике значення має визначення області руйнування (по трубі або відновленому замковому з'єднанню) при впливі навантаження, що перевищує межі міцності і витривалості.

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2. МАТЕРІАЛИ, ОБЛАДНАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ БУРИЛЬНИХ ЗАМКІВ

### 2.1. Матеріали та обладнання, що використовуються для технології відновлення

Об'єктами дослідження були відновлені методом наплавлення замкові з'єднання бурильних труб групи міцності "Д", виготовлені відповідно до ГОСТ 27834-95 із сталі 40ХМФА. Ремонт проводився наплавним дротом НП-30ХГСА. Для проведення дослідження відбиралися зразки, що відповідають за хімічним складом вимогам ГОСТ 4543–71. Вимоги до хімічного складу до сталі 40ХМФА та 30ХГСА викладені у ГОСТ 4543–71 та подані у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Вимоги до хімічного складу наплавного дроту та металу замкових з'єднань бурильних труб

Марка сталі	Вміст елементів, %									
	C	Mn	Si	Cr	Mo	V	Ni	Cy	S	P
40ХМФА	0,37- 0,44	0,40- 0,70	0,17- 0,37	0,80- 1,10	0,20- 0,30	0,10- 0,18	<0,30		<0,025	
30ХГСА	0,28 – 0,34	0,8 – 1,10	0,90 – 1,20	0,80 – 1,10	-	-	<0,30		<0,025	

Для наплавлення були використані керамічний флюс ЕЛЗ-ФКН-1/55(Б) [85] та плавлений флюс 48 ОФ-10 [86] окремо, а також у вигляді механічної суміші в різних співвідношеннях. Наплавлення проводилося в умовах центру з ремонту бурильних труб відповідно до технічних умов на ремонт. Для проведення металознавчого дослідження було використано обладнання Самарського державного технічного університету та Науково-дослідного інституту розробки та експлуатації нафтопромислових труб. Хімічний склад сталі визначався за допомогою оптико-емісійного спектрометра СПАС 02. Випробування на однісне розтягування проводилися на розривній машині Р-10М. Випробування на ударну в'язкість проводились на маятниковому копрі МК-30. Замір твердості проводився на твердомірах ТК-2М та ТШ-2М.

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мікроскопах Leitz Wetzlar MM6 та Carl Zeiss Vert A1, а також із використанням електронного мікроскопа Jeol Superprobe 733. Теплова модель будувалася на основі класичної теорії теплопровідності. Експериментальна оцінка залишкових напруг проводилася за методикою Давиденкова на кільцевих зразках. Чисельні розрахунки проводилися за допомогою математичного пакету MathCad та Ansys. Натурні випробування відновлених замкових з'єднань бурильних труб проводилися на універсальних випробувальних стендах УС-600 та СТ-20.

## **2.2 Методика визначення хімічного складу на оптико-емісійному спектрометрі СПАС-02**

Принцип роботи аналізатора полягає у вибиванні електронів з аналізованої поверхні електричним розрядом, після чого вони підсвічуються у середовищі аргону. Кожен елемент має свій спектр випромінювання, яке уловлюється приладом. Аналізатор дозволяє визначити вміст легуючих елементів з точністю до 0,0001%. Замір проводився на кожному зразку в трьох довільних точках після попереднього зачищення поверхні абразивним колом. Виміри проводилися відповідно до вимог ГОСТ 18895-97 [87]. При цьому враховувалися хімічні елементи, які нормуються ГОСТ 4543–71 для марки сталі 40ХМФА. Випробуванням підлягали всі зразки металу замкових з'єднань бурильних труб, що використовуються в дослідженні. Результати випробувань були критерієм браку при прийнятті замкового з'єднання в ремонт.

## **2.3 Методика проведення випробувань на ударну в'язкість на маятниковому копрі МК-30**

Випробування на ударну в'язкість здійснювалися на зразках довжиною 55 мм, товщиною та шириною по 10 мм з видом концентратора V з радіусом R 0,25 мм згідно з ГОСТ 9454 - 78 [88]. При цьому використовувалася машина для випробувань на ударну в'язкість

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

маятникового типу МК-30. Отримана за результатами випробувань характеристика дозволяла оцінити пластичні властивості матеріалу, частку в'язкої та крихкої складової у зламі. Наявність V-подібного концентратора напруги дозволяло зробити висновок про величину напруги, необхідного для розвитку тріщини у виробі. Рисунок випробувального зразка на ударну в'язкість представлений рисунку 2.1.

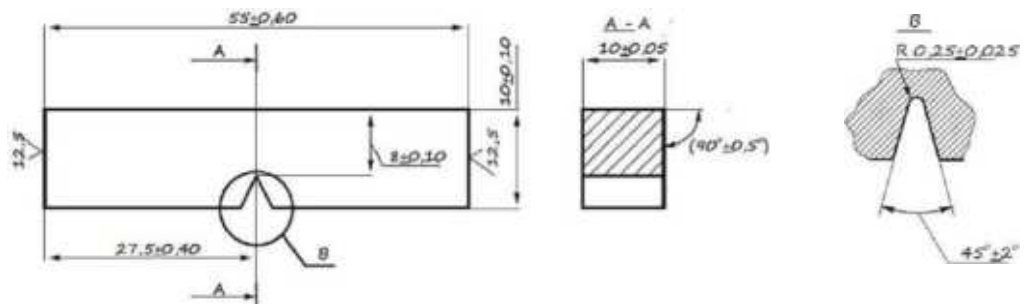
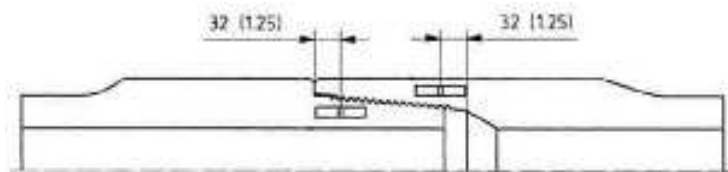


Рисунок 2.1 – стандартний зразок для випробувань на ударну в'язкість

Схема вирізки зразків із замкових з'єднань бурових труб представлена рисунку 2.2.



Ніпельна частина

Муфтова частина

Рисунок 2.2 – Розташування та орієнтація зразків для випробувань на ударну в'язкість

Перед початком випробувань маятник зводиться та закріплюється на підйомній рамі. У процесі випробувань зразок спирається на загартовані опори, що укріплені на станині копра. Руйнування зразка настає за допомогою дії ножа маятника на зразок зі зворотного боку від надрізу. Шкалу приладу градуйовано в кг·м, по ній можна визначити запас енергії зведеного маятника та залишковий запас енергії після удару. Робота, витрачена на злам зразка, визначається безпосереднім відніманням. Для отримання статистичної достовірності, випробування піддавалися не менше трьох зразків від одного об'єкта дослідження. Похибка випробувань становила  $\pm 1$  % від вимірюваного значення. За

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

результат бралоя середнє після проведення всіх випробувань для даного об'єкта.

#### 2.4 Методика проведення випробувань на одновісне розтягування на розривній машині Р-10М

Розривна машина Р-10М оснащена блоком автоматичного комп'ютерного керування ASTM Digital Testing Pro, що забезпечувало автоматизацію та високий рівень точності та технологічності випробувань. Випробування проводилися відповідно до ГОСТ 1497–84 [89] на поздовжніх циліндричних зразках у формі галтелі (тип III), довжиною 55 мм, діаметром 5 мм. Рисунок випробувального зразка на одновісне розтягування представлений рисунку 2.3.

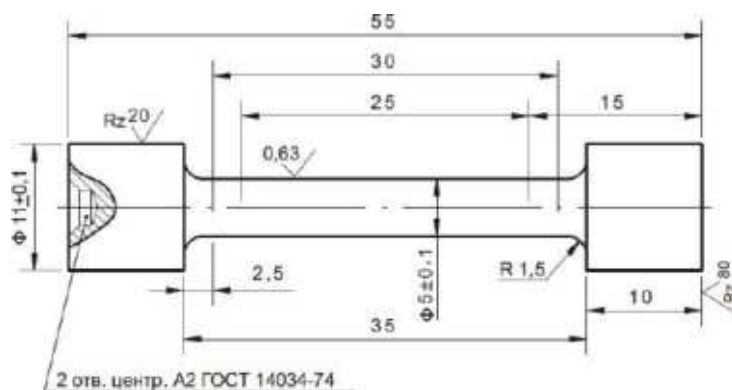


Рисунок 2.3 – стандартний зразок для випробувань на одновісне розтягування

Випробування полягають у додатку осьового нормального наростання навантаження до випробувальних зразків аж до їх руйнування. Вимірюванню підлягали параметри; межа міцності на розрив  $\zeta_v$ , межа плинності  $\zeta_{0,2}$ , відносне подовження  $\delta$  і відносне звуження  $\Psi$ . Схема вирізки зразків із замків бурильних труб представлена рисунку 2.4.

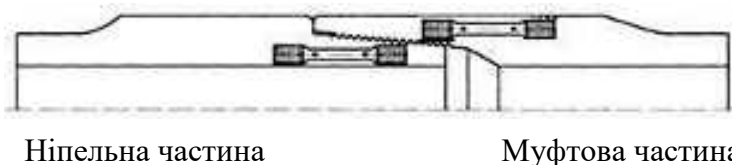


Рисунок 2.4 – Розташування та орієнтація зразків для випробувань на одновісне розтягування

Для отримання статистичної достовірності, випробування

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

піддавалися не менше трьох зразків від одного об'єкта дослідження. Похибка випробувань становила 1% від вимірюваного значення. За результат випробування- ній приймалося середнє значення після проведення всіх випробувань для даного об'єкта.

## 2.5 Методика проведення вимірів твердості на твердомірах ТШ-2М та ТК-2М

Для визначення твердості, у поверхню матеріалу з певною силою вдавлювався індентор, виконаний у вигляді сталеві кульки або алмазного конуса. Залежно від способу вимірювання твердості матеріалу, кількісно її характеризують числом твердості за Брінелем (НВ) або Роквеллом (HRC).

Випробування на твердість на твердомірі ТШ-2М проводилися за методом Брінеля, згідно з ГОСТ 9012-59 [90], за шкалою НВ. Навантаження становило 3000 кг, індентор являв собою сталеву загартовану кульку, діаметром 10 мм. Час витримки складав 15 секунд. Схема виміру твердості та розташування відбитка представлено на рисунку 2.5.

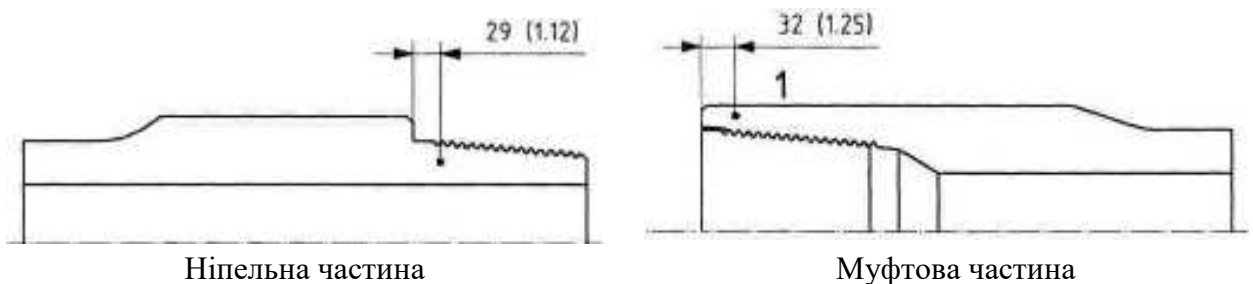


Рисунок 2.5 – Розташування відбитків при вимірі твердості методом Брінеля.

Після зняття навантаження проводився замір діаметра відбитка і подальший перерахунок до твердості за формулою. Відхилення значення на цьому твердомірі становило  $\pm 1\%$ .

Випробування на твердість на твердомірі ТК-2М проводилися за методом Роквелла, відповідно до ГОСТ 9013-59 [91], за шкалою HRC. Невеликий розмір друку дозволяв зробити значно більше вимірів,

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

охопивши крім основного металу зону наплавлення і зону термічного впливу. Навантаження складало 150 кг, індентор являв собою алмазний конус. Після ручного подавання попереднього навантаження прилад сам навантажував зразок. Схема виміру твердості представлена на рисунку 2.6.

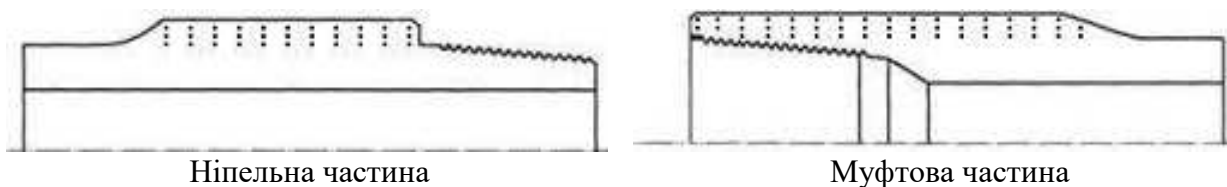


Рисунок 2.6 – Схематичне розташування відбитків при вимірі твердості на темплеті з ніпельною та муфтовою частинами замкового з'єднання за методом Роквелла.

Результатом виміру служило число твердості, отримане зі шкали приладу. Відхилення значення на даному твердомірі становить  $\pm 1\%$ .

## 2.6 Методика проведення металографічного аналізу

Оцінка ступеня забрудненості неметалевими включеннями металу об'єктів дослідження проводилася відповідно до ГОСТ 1778–80 на нетрівлених поздовжніх металографічних шліфах, виготовлених із зони наплавлення. Для аналізу було використано металографічний інвертований мікроскоп Leitz Wetzlar MM6 зі збільшенням від 100 до 500 крат. Оцінка мікроструктури металу, структурної смужкості та ширини зони термічного впливу проводилося на поперечних металографічних мікрошліфах методом порівняння зі стандартними шкалами відповідно до ГОСТ 8233–56 [92] та ГОСТ Р 54570–2011[93], після травлення в реактиві 4% азотної кислоти реактив травлення складу: 4 мл азотної кислоти (100 мл спирту). Для аналізу було використано металографічний інвертований мікроскоп Carl Zeiss Vert A1 з програмно-апаратним комплексом автоматичного аналізу «Thixomet Pro» та робочим збільшенням від 50 до 1000 крат. Детальна оцінка мікроструктури та її складових проводилася на растровому електронному мікроскопі Jeol Superprobe 733.

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.7 Методика аналізу залишкових напруг

Експериментальна оцінка залишкової напруги після відновлення замкового з'єднання при різних температурних режимах (із застосуванням попереднього підігріву і без нього) проводилася за методикою Давиденкова. Ніпельні та муфтові частини замкового з'єднання були відновлені наплавкою: спочатку без застосування, а потім з застосуванням попереднього підігріву до 150<sup>o</sup>C та 250<sup>o</sup>C. З відновлених елементів були виготовлені кільця, які потім були розрізані з одного боку. Креслення кільця після різання представлено на рисунку 2.7. Схема розподілу напруги в кільцях представлена на рисунку 2.8.

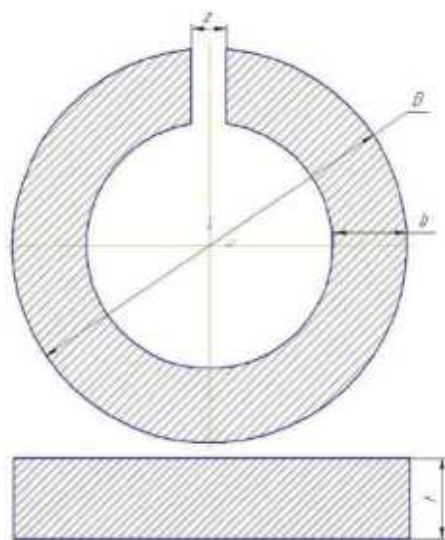


Рисунок 2.7 – Креслення дослідного кільця після розрізання

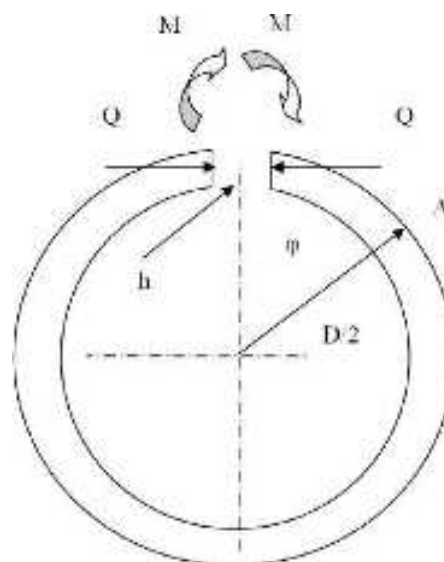


Рисунок 2.8 – Схема визначення залишкових напруг

Залишкові напруги всередині кілець до розрізки перебувають у рівновазі: суми сил і моментів дорівнюють нулю. Після розрізання рівновага сил і моментів порушується, і кромки кілець деформуються (у цьому випадку розходяться). Завдання щодо визначення залишкових напруг зводиться до визначення навантаження, яке відновлює цілісність кілець. Такими навантаженнями в даному випадку є осьова сила  $Q$  і згинальний момент  $M_0$ , при сумісному або роздільному впливі, що стискають кільце в області розрізу до дотику крамок. Якщо для

відновлення кільця необхідно докласти силу, що розтягує, то осьові залишкові напруги мають знак “-”, якщо стискаючу силу, то залишкові напруги мають знак “+”.

## **2.8 Методика проведення натурних випробувань на статичне осьове навантаження**

Натурні випробування на статичне осьове навантаження проводились на універсальному випробувальному стенді УС-600. У конструкцію стенду закладено принцип створення осьового навантаження, що розтягує, чотирма гідравлічними вертикальними домкратами, що спираються на базову плиту і мають верхню рухому несучу плиту, що спирається на штоки домкратів. Зразок, що випробовується, розташовується вертикально між вказаними плитами і з'єднується з ними спеціальними перехідниками – верхнім і нижнім. У кожного зразка перед нарізкою різьблення від гладкого кінця відрізається кільцевий зразок завдовжки не менше 300 мм для лабораторних досліджень щодо визначення фактичних характеристик металу.

При контролі труб перед випробуваннями проводиться візуальний огляд зовнішньої поверхні, замір товщини стінки труби з визначенням максимального і мінімального значень. У різьблення зразка, нарізаного на висадженому кінці, вільному від замкової деталі, щільно вкручують з'єднувальний патрубок. Потім зразок поміщають у стенд таким чином, щоб з'єднувальний патрубок з ніпельним замковим різьбленням був щільно вкручений в нижню плиту стенда, а з муфтової - сперся на змінну план-шайбу. Вводиться в роботу силова гідравлічна система для створення осьового розтягуючого навантаження на зразок і здійснюється запис ходу навантаження штатним приладом стенду.

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ НАНЕСЕННЯ І КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ НАПЛАВКИ

#### 3.1. Вплив захисного середовища при відновленні замкових з'єднань бурильних труб

Для досліджень впливу складу захисного середовища на комплекс фізико-механічних властивостей та мікроструктурний стан металу замку після наплавки було відібрано п'ять ніпельних фрагментів замкових з'єднань бурильних труб групи міцності “Д”, виготовлених відповідно до ГОСТ 27834–95 зі сталі 40ХМФА. На кожному об'єкті було зроблено по дві дослідні наплавки. Наплавлення проводилося в умовах центру з ремонту бурильних труб, на наплавному комплексі, без реалізації попереднього підігріву, під плавленим флюсом 48ОФ–10 та керамічним флюсом ЕЛЗ–ФКН–1/55(Б) окремо, а також у різних співвідношеннях наплавальним дротом Нп-30ХГСА. Також було проведено дослідне наплавлення в газовому середовищі без використання флюсів. Товщина наплавлення регулювалася за допомогою зміни технологічних параметрів процесу, а також варіюванням діаметра наплавного дроту і становила не більше 9-10 мм на діаметр (4-5мм на бік) за один прохід. Зовнішній вигляд об'єктів дослідження представлено рисунку 3.1.

На рисунку 3.1 (а) наведено зразок, відновлений у середовищі плавленого флюсу 48ОФ–10 (наплавка 1), а також у середовищі суміші плавленого флюсу 48ОФ–10 та керамічного флюсу ЕЛЗ–ФКН–1/55(Б) у співвідношенні :1 (наплавлення 2).

На рисунку 3.1 (б) наведено зразок, відновлений у середовищі суміші плавленого флюсу 48ОФ–10 та керамічного флюсу ЕЛЗ–ФКН–1/55(Б) у відношенні 3:1 (наплавка 3), а також середовищі суміші плавленого флюсу 48ОФ -10 і керамічного флюсу ЕЛЗ-ФКН-1/55(Б) у співвідношенні 2:1 (наплавлення 4).

На рисунку 3.1 (в) наведено зразок, відновлений у середовищі суміші

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

плавленого флюсу 48ОФ-10 і керамічного флюсу ЕЛЗ-ФКН-1/55(Б) у со-  
відношенні 1:1 (наплавка 5), а також серед суміші плавленого флюсу 48ОФ-  
10 і керамічного флюсу ЕЛЗ-ФКН-1/55(Б) у співвідношенні 1:4 (наплавлення  
6).

На рисунку 3.1 (г) наведено зразок, відновлений у середовищі суміші  
плавленого флюсу 48ОФ-10 та керамічного флюсу ЕЛЗ-ФКН-1/55(Б) у  
відношенні 1:3 (наплавка 7), а також у середовищі суміші плавленого  
флюсу 48ОФ-10 і керамічного флюсу ЕЛЗ-ФКН-1/55(Б) у співвідношенні  
1:2 (наплавлення 8).

На рисунку 3.1 (д) наведено зразок, відновлений у середовищі  
керамічного флюсу ЕЛЗ-ФКН-1/55(Б) (наплавлення 9), а також у  
середовищі вуглекислого газу (наплавлення 10).



Наплавлення 1 (Б)



Наплавлення 2 (Б4)

(Б1)  
а)

Наплавлення 3 (Б2/С1)

б)



Наплавлення 5 (Б1/С1)

Наплавлення 6 (Б

1/С2)  
(Б1/С  
в)



Наплавлення 7 (3)

Наплавлення 8 (Б1/С4)

г)



Наплавка 9 (С)

Наплавлення 10 (УГ)

д)

Рисунок 3.1 – Зразки, відновлені у різних захисних середовищах

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Результати проведення хімічного аналізу основного металу наведено у таблиці 3.1. З таблиці 3.1 видно, що за хімічним складом метал всіх зразків відповідає сталі марки 40ХМФА, тобто. досліджувані замки відповідають вимогам щодо ремонтпридатності.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад металу досліджуваних зразків

№ п/п	Захисне середовище	Вміст елементів, %									
		C	Mn	Si	Cr	Mo	V	Ni	Cu	S	P
1	Б	0,38	0,57	0,28	0,91	0,25	0,12	0,17	0,12	0,008	0,016
2	Б4/С1	0,40	0,48	0,27	0,95	0,25	0,17	0,15	0,13	0,008	0,015
3	Б3/С1	0,38	0,52	0,23	1,02	0,25	0,18	0,17	0,14	0,009	0,014
4	Б2/С1	0,40	0,56	0,25	1,02	0,23	0,15	0,13	0,14	0,007	0,016
9	З	0,42	0,51	0,22	1,00	0,28	0,12	0,17	0,14	0,009	0,016
10	УГ	0,44	0,46	0,24	0,96	0,22	0,12	0,05	0,16	0,008	0,014
<b>Сталь 40ХМФА</b>		<b>0,37-0,44</b>	<b>0,40-0,70</b>	<b>0,17-0,37</b>	<b>0,80-1,10</b>	<b>0,20-0,30</b>	<b>0,10-0,18</b>	<b>&lt;0,30</b>		<b>&lt;0,025</b>	

Дослідження впливу захисного середовища проводилося шляхом порівняння експериментально отриманих даних за механічними властивостями та металографічними параметрами структури відновлених замкових з'єднань між собою та з даними нормативних документів на нову продукцію (ГОСТ 27834–95). Результати оцінки технологічності процесу наплавлення наведено у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Оцінка технологічності процесу

№ п/п	Захисне середовище	Твердість наплавлення, од. НВ (300-355)	Виявлені зауваження
1	Б	252	Шлакова кірка видаляється в повному обсязі і тільки після застигання. Твердість наплавлення нижче регламентованої
2	Б4/С1	263	
3	Б3/С1	270	Шлакова кірка складно видаляється у процесі наплавлення. Твердість наплавлення значно нижча за регламентовану
4	Б2/С1	282	
7	Б1/С3	383	Шлакова кірка не потребує примусового видалення. Наплавлений шар має високу поверхневу твердість, механічна обробка скрутна.
8	Б1/С4	395	
9	З	405	
10	УГ	295	Сильне розбризкування металу в процесі наплавлення. Твердість наплавлення нижче за регламентований рівень

З даних таблиці 3.2 видно, що підвищення концентрації у суміші керамічного флюсу ЕЛЗ–ФКН–1/55(Б) супроводжується значним зростанням твердості поверхневого шару металу наплавлення. Найкращі показники щодо забезпечення технологічності процесу нанесення наплавки були отримані при використанні суміші флюсів 48ОФ–10 та ЕЛЗ–ФКН–1/55(Б) у співвідношеннях 1:1 та 1:2. При використанні в якості захисного середовища вуглекислого газу необхідність видалення шлакової кірки відпадає, проте процес наплавлення супроводжується інтенсивним розбризкуванням металу. Результати проведення хімічного аналізу металу наплавлення наведено у таблиці 3.3. та на рисунку 3.2.

Таблиця 3.3 – Хімічний склад металу наплавлення досліджуваних зразків

№ п/п	Захисне середовище	Вміст елементів, %									
		C	Mn	Si	Cr	Mo	V	Ni	Cu	S	P
1	Б	0,34	0,67	0,50	0,56	0,02	0,01	0,28	0,18	0,020	0,017
2	Б4/С1	0,34	0,73	0,55	0,67	0,02	0,01	0,65	0,12	0,020	0,010
3	Б3/С1	0,31	0,74	0,54	0,77	0,02	0,01	0,75	0,11	0,010	0,010
4	Б2/С1	0,34	0,77	0,56	0,79	0,03	0,01	0,79	0,13	0,010	0,010
5	Б1/С1	0,32	0,78	0,58	0,80	0,03	0,01	0,80	0,13	0,010	0,010
6	Б1/С2	0,33	0,84	0,56	0,80	0,03	0,01	0,78	0,12	0,020	0,010
7	Б1/С3	0,32	0,86	0,58	0,85	0,06	0,01	0,85	0,12	0,010	0,010
8	Б1/С4	0,32	0,90	0,70	0,89	0,10	0,02	0,91	0,10	0,010	0,020
9	З	0,39	0,99	0,60	0,90	0,13	0,02	1,1	0,13	0,010	0,010
10	УГ	0,29	0,95	0,50	0,79	0,00	0,00	0,11	0,05	0,007	0,005
<b>Сталь 30ХДСА</b>		<b>0,28 – 0,34</b>	<b>0,8 – 1,10</b>	<b>0,90 – 1,20</b>	<b>0,80 – 1,10</b>	-	-	<b>&lt;0,30</b>	<b>&lt;0,025</b>		

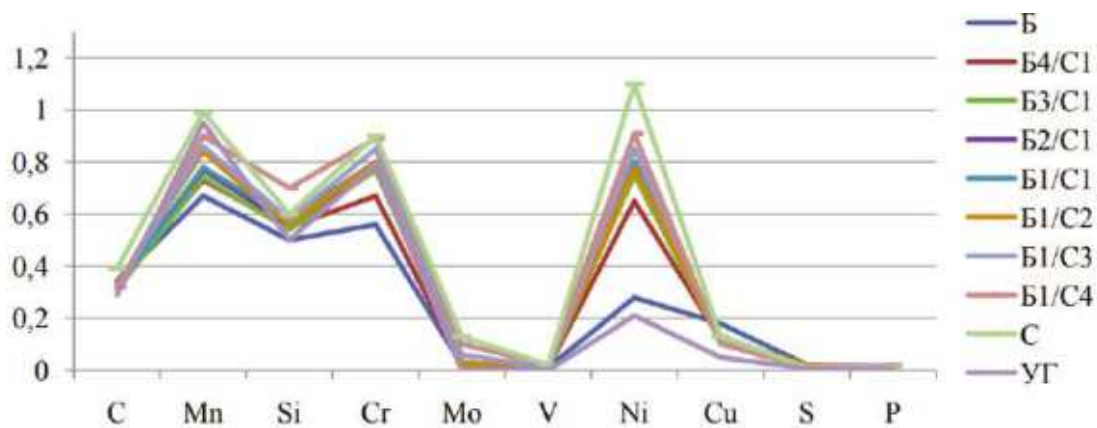


Рисунок 3.2 – Зміст легуючих елементів у поверхневому шарі наплавлення

З даних таблиці 3.3 та рисунка 3.2 можна зробити висновок, що найбільшу легуючу здатність має керамічний флюс ЕЛЗ-ФКН-1/55(Б), чим і пояснюється зростання поверхневої твердості наплавленого шару з підвищенням концентрації даного флюсу в суміші. Результати визначення механічних характеристик металу досліджуваних зразків представлені у таблиці 3.3.

Таблиця 3.4 – Механічні характеристики металу зразків, відновлених наплавкою у різних захисних середовищах

№ п/п	Захисне середовище	Випробування на одновісне розтягування			Випробування на ударний вигин, кДж/м <sup>2</sup> , KCV	Твердість, НВ	
		$\sigma^R$ , $\text{с} \notin \diamond$	$\sigma^J$ , $\text{с} \notin \diamond$	$\delta$ , %		Тіло замку	Поверхня наплавлення
1	Б	830	671	<b>21</b>	378	256	252
2	Б4/С1	839	682	<b>21</b>	420	245	263
3	Б3/С1	892	718	<b>19</b>	491	246	270
4	Б2/С1	899	642	<b>18</b>	559	246	282
5	Б1/С1	905	734	<b>16</b>	<b>738</b>	271	<b>298</b>
6	Б1/С2	919	754	<b>14</b>	<b>674</b>	260	<b>300</b>
7	Б1/С3	927	688	<b>14</b>	543	262	383
8	Б1/С4	927	667	12	454	265	395
9	С	961	733	11	330	272	405
10	УГ	848	651	<b>20</b>	417	277	295
<b>ГОСТ 27834-95</b>		<b>≥981</b>	<b>≥832</b>	<b>≥13</b>	<b>≥589</b>	<b>300–355</b>	

Дані таблиці 3.4 свідчать про те, що жоден з об'єктів дослідження не відповідає повною мірою всім вимогам ГОСТ 27834–95 щодо механічних властивостей, проте дещо кращі показники порівняно з іншими зразками були відзначені у зразка з маркуванням Б1/ С1, відновленого під сумішшю флюсів ЕЛЗ-ФКН-1/55(Б) та 48 ОФ-10 у співвідношенні 1:1. У разі ЦРБТ контролюється лише твердість наплавленого шару. Важливим фактором є те, що контрольована твердість поверхні наплавленого шару не відображає фактичних значень із перерізу стінки замкової сполуки. Згідно з отриманими даними, кілька зразків відновлених замкових з'єднань, за умов ЦРБТ, можуть пройти контроль та бути допущені до експлуатації. При цьому твердість основного металу значно нижча за контрольовану твердість поверхні, що знаходить підтвердження в результатах решти механічних випробувань [98]. Результати аналізу структурних параметрів та забрудненості металу об'єктів дослідження неметалевими включеннями наведено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 - Металографічний аналіз досліджуваних зразків

№ п/п	Захисне середовище	Оксиди точкові	Оксиди рядкові	Сульфіди	Ширина ЗТВ, мм	Мікроструктура
1	Б	4б.	3б.	5б.	9–10	Лита дендритна структура
2	Б4/С1	4б.	3б.	5б.	8–9	Лита дендритна структура
3	Б3/С1	3б.	3б.	4б.	7–8	Сорбіт, ферит та перліт
4	Б2/С1	3б.	2б.	2б.	6–7	Сорбіт, ферит та перліт
5	Б1/С1	3б.	1б.	2б.	6–7	<b>Сорбіт і бейніт</b>
6	Б1/С2	2б.	1б.	2б.	<b>5–6</b>	<b>Сорбіт і бейніт</b>
7	Б1/С3	2б.	1б.	3б.	<b>5–6</b>	<b>Сорбіт і бейніт</b>
8	Б1/С4	2б.	1б.	2б.	<b>5–6</b>	Бейніт та сорбіт
9	З	2б.	1б.	2б.	<b>5–6</b>	Бейніт та сорбіт
10	УГ	<b>1б.</b>	<b>2б.</b>	<b>1б.</b>	6–7	Сорбіт, ферит та перліт

З таблиці 3.5 видно, що метал усіх об'єктів дослідження забруднений неметалевими включеннями, причому ступінь забрудненості підвищується зі збільшенням кількості плавленого флюсу 48–ОФ–10 у суміші, що може бути пов'язане з неякісним видаленням шлакової корки. Найкращі

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

показники в частині чистоти металу наплавлення були зафіксовані у зразку, відновленому в газовому середовищі. Ширина зони термічного впливу варіюється від 5 до 10 мм. Найменша ширина зони термічного впливу була зафіксована у зразку, відновленому у середовищі керамічного флюсу ЕЛЗ–ФКН–1/55(Б). Мікроструктура всіх об'єктів дослідження складається переважно з сорбіту з окремими ділянками бейніту, фериту та пластинчастого перліту. Найбільш наближена до вихідної мікроструктура наплавлення, що складається з сорбіту та нижнього бейніту, була виявлена у зразку з маркуванням Б1/С1. Зразок з маркуванням Б має литу мікроструктуру наплавлення з яскраво вираженою дендритною будовою, зразок з маркуванням має мікроструктуру нижнього бейніту та сорбіту. Зразок з маркуванням УГ має мікроструктуру сорбіту, бейніту та перліту та відрізняється високою пористістю. Фотографії мікроструктур, що описуються, представлені на рисунках 3.3–3.6.

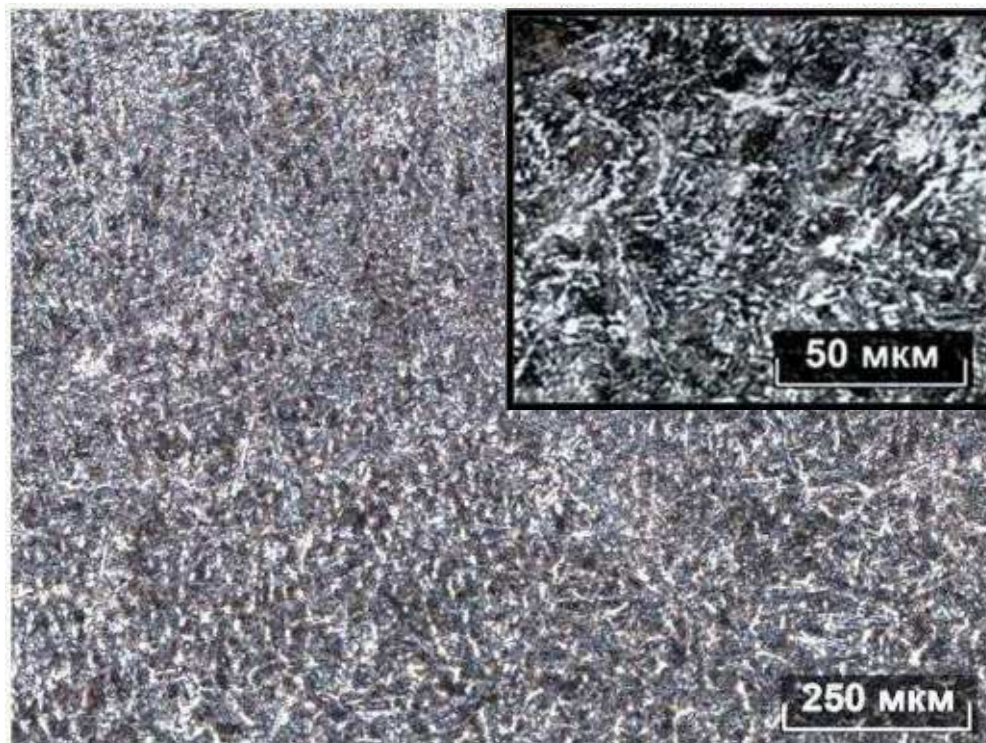


Рисунок 3.3 – Мікроструктура наплавлення зразка з маркуванням Б1/С1

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

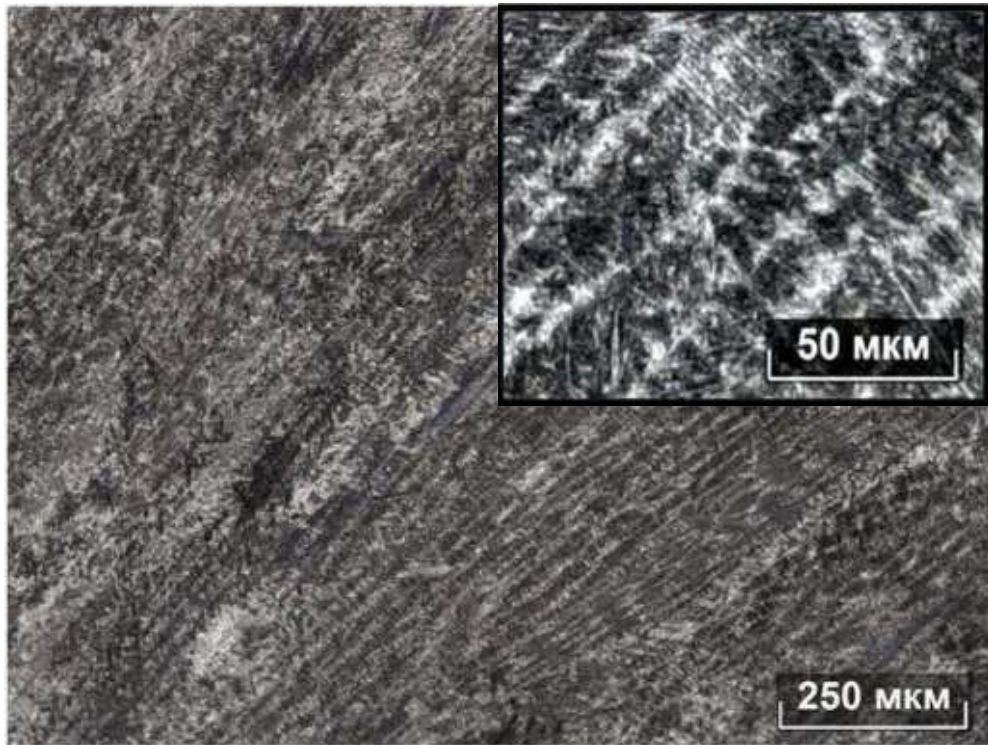


Рисунок 3.4 – Мікроструктура наплавлення зразка з маркуванням Б

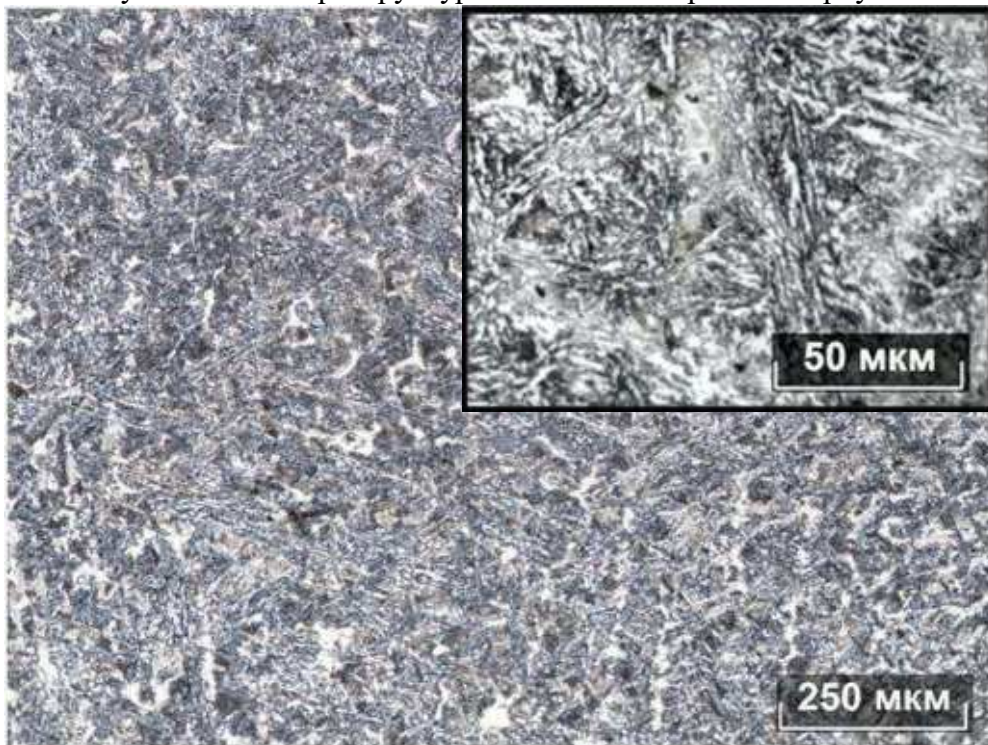


Рисунок 3.5 – Мікроструктура наплавлення зразка з маркуванням С

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

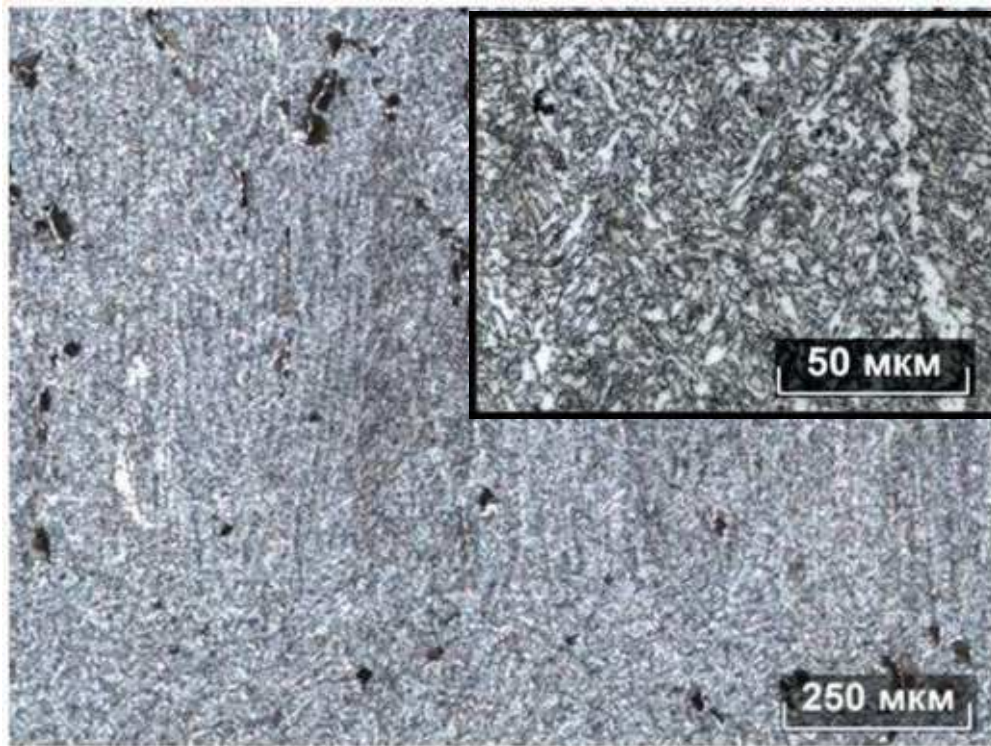


Рисунок 3.6 – Мікроструктура наплавлення зразка з маркуванням УГ

За сукупністю досліджених характеристик з урахуванням умов та запропонованої товщини наплавленого шару, що становить 9–10 мм, було встановлено, що найкращі результати показав зразок наплавлення з маркуванням Б1/С1, відновлений під сумішшю керамічного флюсу ЕЛЗ–ФКН-1/55(Б) за ТУ 1718-051-11142306-2007 і флюсу 48 ОФ-10 за ОСТ 5 Р.9206-75 у співвідношенні 1:1 [99].

### **3.2. Вплив температури попереднього підігріву при відновленні замкових з'єднань бурильних труб**

Для дослідження впливу режимів попереднього підігріву на комплекс фізико-механічних властивостей та мікроструктурний стан було відібрано шість зразків (три замкові з'єднання бурильних труб, утворених ніпелем та муфтою) групи міцності “Д”, виготовлених відповідно до ГОСТ 27834– 95 із сталі 40ХМФА. Ремонт проводився під сумішшю флюсів ЕЛЗ-ФКН-1/55(Б), 48 ОФ-10 у співвідношенні 1:1, наплавальним дротом Нп-30ХГСА. Наплавлення проводилося в умовах центру з ремонту бурильних труб

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(ЦРБТ), на наплавному комплексі, без реалізації, а також з реалізацією попереднього підігріву до 150оС, 250оС та 350оС. Підігрів виробів проводився двома способами – за допомогою ручного газового пальника та за допомогою індуктора. При цьому безперервно здійснювався моніторинг температури прогрівання фотопірометром виробів.

У ході роботи дослідним шляхом було встановлено, що підігрів виробу до температури 350оС значно знижує в'язкість флюсу, що робить його рідкотекучим. В результаті флюс стікає по замку, що утворює, що унеможлиблює його використання. Крім того, процес попереднього підігріву до 350оС у ручному режимі відрізняється високою енергоємністю та низькою продуктивністю через високу тепловіддачу до приміщення цеху, у зв'язку з чим було вирішено відмовитися від проведення цього досвіду. Таким чином, дослідження були проведені на зразках, відновлених

при температурі цеху, а також з попереднім підігрівом до 150оС та 250оС у ручному режимі газовим пальником та з використанням індуктора. Товщина наплавлення регулювалася за допомогою зміни технологічних параметрів процесу, а також шляхом варіювання діаметра наплавного дроту і становила не більше 9-10 мм на діаметр (4-5мм на бік) за один прохід. У всіх випадках флюс піддавали попередньому прокалюванню при температурі 350 оС видалення вологи. Зовнішній вигляд випробувальних зразків після наплавлення та обробки представлений на рисунку 3.7 (а-е).

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.7 – Зразки після відновлення геометричних параметрів, виконаних на різних режимах

Зразки з умовним маркуванням Мбп та Нбп було відновлено без застосування попереднього підігріву. Зовнішній вигляд зразків поданий на рисунку 3.7 (а, б).

Зразки з умовним маркуванням М150 та Н150 були відновлені із застосуванням попереднього підігріву до температури 150 оС. Підігрів здійснювався як в ручному режимі (індекс маркування «р»), так і в індукторі (індекс маркування "і"). Зовнішній вигляд зразків подано на рисунку 3.7 (в, г).

Зразки з умовним маркуванням М250 та Н250 були відновлені із застосуванням попереднього підігріву до температури 250 оС. Підігрів здійснювався як у ручному режимі (індекс маркування «р»), так і в індук-

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

торі (індекс маркування «і»). Зовнішній вигляд зразків подано на рисунку 3.7 (д, е).

Дослідження впливу захисного середовища проводилося шляхом порівняння експериментально отриманих даних за механічними властивостями та металографічними параметрами структури відновлених замкових з'єднань між собою та з даними ГОСТ 27834–95 на нову продукцію. Результати хімічного аналізу металу наведено у таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Хімічний склад металу досліджуваних замкових з'єднань бурильних труб

№ п/п	Об'єкт	Вміст елементів, %									
		C	Mn	Si	Cr	Mo	V	Ni	Cy	S	P
1	M <sub>6п</sub>	0,40	0,56	0,25	1,02	0,23	0,15	0,13	0,14	0,012	0,014
2	H <sub>6п</sub>	0,39	0,54	0,28	1,03	0,20	0,10	0,12	0,15	0,008	0,010
3	M <sub>150</sub>	0,40	0,52	0,22	0,99	0,18	0,01	0,02	0,05	0,010	0,012
4	H <sub>150</sub>	0,38	0,60	0,28	0,97	0,20	0,02	0,07	0,10	0,009	0,006
5	M <sub>250</sub>	0,39	0,61	0,27	0,98	0,21	0,11	0,12	0,12	0,009	0,010
6	H <sub>250</sub>	0,38	0,58	0,24	1,05	0,23	0,12	0,11	0,14	0,012	0,012
<b>Сталь 40ХМФА</b>		<b>0,37-0,44</b>	<b>0,40-0,70</b>	<b>0,17-0,37</b>	<b>0,80-1,10</b>	<b>0,20-0,30</b>	<b>0,10-0,18</b>	<b>&lt;0,30</b>		<b>&lt;0,025</b>	

З таблиці 3.6 видно, що у хімічному складі метал всіх зразків відповідає сталі марки 40ХМФА, тобто. досліджувані замки відповідають вимогам щодо ремонтпридатності та можуть брати участь у дослідженні. Результати визначення механічних характеристик металу замкових з'єднань бурильних труб представлені у таблиці 3.7. Дані таблиці 3.7 свідчать, що жоден зразок повною мірою відповідає вимогам ГОСТ 27834–95 у частині механічних властивостей. Найкращі показання були отримані на зразках, відновлених із попереднім підгрівом в індукторі до 250°C.

Таблиця 3.7 – Механічні характеристики металу замкових з'єднань бурильних труб, відновлених наплавкою за різних режимів

№ п/п	Захисне середовище	Випробування на одновісне розтягування			Випробування на ударний вигин, кДж/м <sup>2</sup> , KCV	Твердість, НВ	
		$\sigma^R$ , $\text{с} \notin \diamond$	$\sigma^J$ , $\text{с} \notin \diamond$	$\delta$ , %		Тіло замку	Поверхня наплавлення
1	M <sub>6п</sub>	925	682	15	818	276	305
2	H <sub>6п</sub>	931	798	17	865	280	320
3	M <sub>150-р</sub>	978	754	15	610	290	300
4	H <sub>150-р</sub>	890	732	17	534	280	332
5	M <sub>150-і</sub>	925	765	16	763	290	295
6	H <sub>150-і</sub>	956	823	16	844	288	305
7	M <sub>250-р</sub>	878	725	15	482	261	295
8	H <sub>250-р</sub>	888	738	16	425	265	288
9	M <sub>250-і</sub>	946	820	16	634	281	325
10	H <sub>250-і</sub>	995	883	18	715	295	315
ГОСТ 27834-95		≥981	≥832	≥13	≥589	300–355	

Декілька занижені механічні властивості муфтових частин замкових з'єднань порівняно з ніпельними можна пояснити меншою товщиною основного металу, тобто. швидкість прогріву муфти вища. Для того, щоб нівелювати вплив товщини основного металу на результат відновлення бурильного замку, необхідно обмеження товщини шару, що одночасно наплавляється до значення, що дозволяє максимально продуктивно і, в той же час, без ризику перегріву проводити його відновлення як на ніпельної, і на муфтовий частинах [100].

Для оцінки мікроструктурного стану з області наплавлення були вирізані і виготовлені мікрошліфи і зроблено їх фотозйомку. Результати аналізу структурних параметрів та забрудненості металу досліджуваних зразків неметалевими включеннями представлені в таблиці 3.8. З таблиці 3.8 видно, що мікроструктура всіх наплавок складається переважно з сорбіту з окремими ділянками фериту та пластинчастого перліту. Ширина ЗТВ варіюється від 5 до 9 мм і підвищується зі зростанням температури підігріву. Слід зазначити, що ширина ЗТВ у зразках, відновлених із ручним

підігрівом, вища, ніж у зразках із індукційним.

Таблиця 3.8 – Металографічний аналіз металу замкових з'єднань бурильних труб після відновлення

№ п/п	Захисне середовище	Оксиди точкові	Оксиди рядкові	Сульфіди	Ширина ЗТВ, мм	Мікроструктура
1	М <sub>бп</sub>	3б.	1б.	3б.	5–6	Сорбіт, перліт, ферит
2	Н <sub>бп</sub>	3б.	1б.	2б.	5–6	Сорбіт, перліт, ферит
3	М <sub>150-р</sub>	2б.	1б.	3б.	7–8	Сорбіт, перліт, ферит
4	Н <sub>150-р</sub>	2б.	1б.	1б.	7–8	Сорбіт, перліт, ферит
5	М <sub>150-і</sub>	2б.	1б.	2б.	6–7	Сорбіт, перліт, ферит
6	Н <sub>150-і</sub>	3б.	2б.	2б.	6–7	Сорбіт, перліт, ферит
7	М <sub>250-р</sub>	1б.	1б.	3б.	8–9	Сорбіт, перліт, ферит
8	Н <sub>250-р</sub>	2б.	1б.	2б.	8–9	Сорбіт, перліт, ферит
9	М <sub>250-і</sub>	2б.	1б.	1б.	7–8	Сорбіт, перліт, ферит
10	Н <sub>250-і</sub>	2б.	1б.	1б.	7–8	Сорбіт, перліт, ферит

Панорамні фотографії зони термічного впливу зразка відновленого без попереднього підігріву, а також з індукційним підігрівом до 250 оС представлені на рисунку 3.8 (а, б).



наплавлення  
основний метал

а)



наплавлення

Основний метал

б)

Рисунок 3.8 – Панорами зон термічного впливу зразків відновлених за різних режимів (а – без попереднього підігріву, б – із застосуванням індукційного підігріву до 250 оС)

### 3.3.Оцінка впливу попереднього підігріву на величину залишкових напруг у металі замків після наплавлення

Експериментальна оцінка впливу попереднього підігріву на величину залишкової напруги проводилася за методикою Давиденкова. В основі методики лежить порівняльний аналіз величини розбіжності кромки кілець, виготовлених з дослідних зразків замкових з'єднань після відновлення при різних температурних режимах (із застосуванням попереднього підігріву до 150 оС, до 250 оС і без нього). Залишкові напруження всередині кілець до розрізки перебувають у рівновазі: суми сил і моментів дорівнюють нулю. Після розрізання рівновага сил і моментів порушується, і кромки кілець деформуються (у цьому випадку розходяться). Аналіз проводився на п'яти кільцях, виготовлених із ніпельних частин замкових з'єднань. Геометричні параметри кілець представлені у таблиці 3.9.

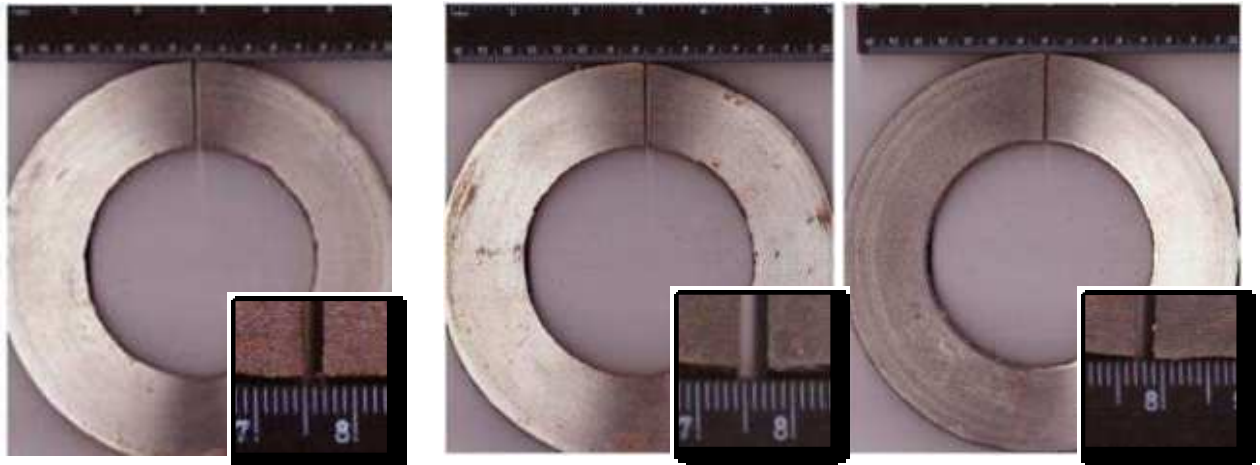
Таблиця 3.9 - Геометричні параметри кілець

Маркування	Контрольовані параметри				
	Товщина стінки, t (мм)	Ширина кільця, b (мм)	Зовнішній діаметр, D (мм)	Ширина розкриття, z (мм)	Площа розрізу, F0 (мм <sup>2</sup> )
<b>НБП25</b>	35,63	14,97	162,0	3,46	533
<b>НВП<sub>150-p</sub></b>	34,86	14,77	160,5	3,28	515
<b>НВП<sub>150-i</sub></b>	34,35	14,74	160,0	3,12	506
<b>НВП<sub>250-p</sub></b>	34,67	14,67	161,2	2,47	509
<b>НВП<sub>250-i</sub></b>	34,07	14,12	161,6	2,25	481

Зовнішній вигляд кілець після розрізання представлений рисунку 3.10. Кільце №1 вирізане з відновленого без попереднього подогрівання ніпеля замкового з'єднання. Зразку присвоєно маркування НБП25.

Кільця №2 та №3 вирізані з відновленої з попереднім підігрівом до 150оС ніпельної частини замкового з'єднання. Відновлення проводилося як у ручному (індекс маркування "р"), так і в індукційному (індекс маркування "і") режимі. Зразкам присвоєно маркування НСП150-р та НСП150-і.

Кільця №5 та №6 вирізані з відновленої з попереднім підгрівом до 250оС ніпельної частини замкового з'єднання. Відновлення проводилося як у ручному (індекс маркування "р"), так і в індукційному (індекс маркування "і") режимі. Зразкам присвоєно маркування НСП250-р та НСП250-і.



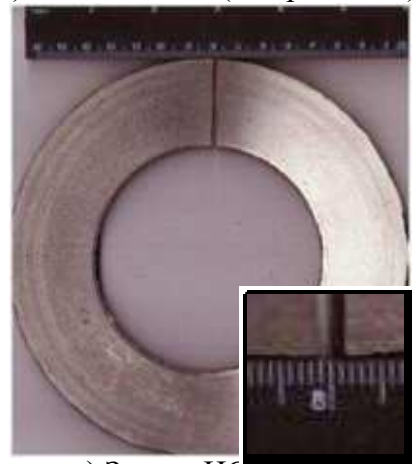
а) Зразок НСП25  
(зазор 3,46 мм)

б) Зразок НСП150-р  
(зазор 3,28 мм)

в) Зразок НСП150-і  
(зазор 3,12мм)



г) Зразок НСП250-р  
(зазор 2,47 мм)



д) Зразок НСП250-і  
(зазор 2,25мм)

Рисунок 3.10 – Зовнішній вигляд кілець, до та після розрізання

Завдання щодо визначення залишкових напруг зводиться до визначення навантаження, яке відновлює цілісність кілець. Такими

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

навантаженнями в даному випадку є осьова сила  $Q$  і момент  $M_0$ , що згинає, при сумісній або роздільній дії, що стискають кільце в області розрізу до дотику кромок.

За результатами обчислень було встановлено, що залишкові напруги з введенням попереднього підігріву падають, що знаходиться в якісній відповідності до результатів розрахунку градієнта температури в тепловій моделі наплавлення.

### **3.4. Вплив товщини наплавленого шару при відновленні замкових з'єднань бурильних труб**

Для досліджень впливу товщини наплавлення на комплекс фізико-механічних властивостей та мікроструктурний стан було відібрано шість зразків (три замкові з'єднання бурильних труб утворених ніпелем та муфтою), групи міцності “Д”, виготовлених відповідно до ГОСТ 27834-95 зі сталі 40ХМФА. Ремонт проводився наплавальним дротом Нп-30ХГСА під шаром суміші флюсів ЕЛЗ-ФКН-1/55(Б), і 48 ОФ-10 у відношенні 1:1 з попереднім підігрівом ремонтного виробу в індукторі до температури 250 оС та прокалюванням флюсу до 350оС. Температура замку під час наплавлення контролювалася фотопірометром. Товщина наплавлення регулювалася за допомогою зміни технологічних параметрів процесу, а також шляхом варіювання діаметра наплавного дроту та співставила разом не більше 20 мм на діаметр (9-10 мм на бік). Наплавлення виробів проводилося трьома способами [98]:

– в один прохід, товщиною наплавлення 9-10 мм на бік;

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– у 2 проходи, товщиною наплавлення 5-6 мм на бік;

– у 3 проходи, товщиною наплавлення 2-3 мм на бік.

Зовнішній вигляд об'єктів дослідження представлено рисунку 3.15.



а) Зразок з маркуванням М9



б) Зразок з маркуванням Н9



в) Зразок з маркуванням М6



г) Зразок із маркуванням Н6



д) Зразок з маркуванням М3



е) Зразок з маркуванням Н3

Рисунок 3.15 – Зразки після відновлення

Зразки з умовним маркуванням М9 та Н9 були відновлені в один прохід, товщиною наплавлення 9–10 мм на бік. Зовнішній вигляд зразків представлений рисунку 3.15 (а, б).

Зразки з умовною маркуванням М6 та Н6 було відновлено у 2 проходи, товщиною наплавлення 5–6 мм на бік. Зовнішній вигляд зразків подано на рисунку 3.15 (в, г).

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зразки зумовним маркуванням МЗ та НЗ було відновлено у 3 проходи, товщиною наплавлення 2–3 мм на бік. Зовнішній вигляд зразків подано на рисунку 3.15 (д, е).

Дослідження впливу захисного середовища проводилося шляхом порівняння експериментально отриманих даних за механічними властивостями та металографічними параметрами структури відновлених замкових з'єднань між собою та з даними ГОСТ 27834–95 на нову продукцію. Результати хімічного аналізу металу наведено у таблиці 3.11.

Таблиця 3.11 – Хімічний склад металу досліджуваних замкових з'єднань бурильних труб

№ п/п	Об'єкт	Вміст елементів, %									
		C	Mn	Si	Cr	Mo	V	Ni	Cu	S	P
1	Н9	0,4	0,50	0,27	1,08	0,22	0,10	0,15	0,15	0,002	0,010
2	М9	0,38	0,52	0,25	1,09	0,20	0,10	0,14	0,14	0,006	0,006
3	Н6	0,41	0,58	0,20	1,09	0,16	0,05	0,06	0,12	0,004	0,009
4	М6	0,37	0,61	0,28	0,95	0,22	0,09	0,09	0,11	0,009	0,008
5	НЗ	0,38	0,57	0,26	0,97	0,20	0,11	0,12	0,15	0,009	0,008
6	МЗ	0,36	0,50	0,25	1,00	0,25	0,14	0,10	0,19	0,011	0,010
<b>Сталь 40ХМФА</b>		<b>0,37-0,44</b>	<b>0,40-0,70</b>	<b>0,17-0,37</b>	<b>0,80-1,10</b>	<b>0,20-0,30</b>	<b>0,10-0,18</b>	<b>&lt;0,30</b>		<b>&lt;0,025</b>	

Дані таблиці 3.11 свідчать, що за хімічним складом метал усіх зразків відповідає сталі марки 40ХМФА, тобто. досліджувані замки відповідають вимогам ТУ щодо ремонтпридатності.

Результати визначення механічних характеристик металу наведено в таблиці 3.12. За результатами механічних випробувань було встановлено позитивний вплив зменшення товщини наплавлення на властивості досліджуваних зразків. Дані таблиці 3.12 свідчать про те, що найкращі значення механічних властивостей були отримані на зразках з маркуванням НЗ та МЗ, відновлених у 3 проходи, товщиною наплавлення 2–3 мм набік [101]. Зразки, відновлені в один і два проходи наплавками більшої ширини, не витримали випробування.

Таблиця 3.12 – Механічні характеристики металу замкових з'єднань бурильних труб, відновлених наплавленням різної товщини

№ п/п	Маркування зразків	Випробування на однісіне розтягування			Випробування на ударний вигин, кДж/м <sup>2</sup> , KCV	Твердість, НВ	
		$\sigma_{0.2}$ , МПа	$\sigma_{0.1}$ , МПа	$\delta$ , %		Тіло замку	Поверхня наплавлення
1	Н9	823	630	9,5	520	242	294
2	М9	950	835	10,5	496	280	305
3	Н6	954	875	12,5	563	280	290
4	М6	998	884	11,7	578	296	302
5	Н3	<b>1050</b>	<b>952</b>	<b>13,9</b>	<b>620</b>	<b>310</b>	<b>335</b>
6	М3	<b>1089</b>	<b>980</b>	<b>14,5</b>	<b>654</b>	<b>320</b>	<b>342</b>
<b>ГОСТ 27834-95</b>		<b>≥981</b>	<b>≥832</b>	<b>≥13</b>	<b>≥589</b>	<b>300–355</b>	

Для оцінки мікроструктурного стану були виготовлені мікрошліфи і зроблено їх фотозйомку. Результати аналізу структурних параметрів та забрудненості металу досліджуваних муфти та ніпелю неметалевими включеннями наведено в таблиці 3.13.

Таблиця 3.13 – Металографічний аналіз металу замкових з'єднань бурильних труб після відновлення

№ п/п	Захисна середа	Оксиди точкові	Оксиди рядкові	Сульфідні	Ширина ЗТВ, мм	Мікроструктура
1	Н9	3б.	3б.	2б.	7–8	Сорбіт, ферит, перліт
2	М9	2б.	2б.	3б.	7–8	Сорбіт, ферит, перліт
3	Н6	<b>1б.</b>	2б.	2б.	5–6	Сорбіт, ферит, перліт
4	М6	2б.	1б.	<b>1б.</b>	5–6	Сорбіт, ферит, перліт
5	Н3	2б.	<b>1б.</b>	2б.	2–3	Сорбіт, ферит, перліт
6	М3	2б.	<b>1б.</b>	2б.	<b>2–3</b>	Сорбіт, ферит, перліт

З таблиці 3.13 видно, що метал усіх об'єктів дослідження забруднений неметалевими включеннями. Найкращі показники в частині чистоти металу наплавлення були зафіксовані у зразках, відновлених у два проходи, трохи вищі за забруднення зразків, відновлення яких проходило в три проходи, наплавками товщиною не більше 3 мм.

Мікроструктура наплавок складається переважно з сорбіту з

окремими ділянками фериту, перліту та, в окремих випадках, бейніту. Ширина зони термічного впливу зростає при підвищенні товщини наплавлення на бік до 7–8 мм. Панорамні фотографії зони термічного впливу зразка, відновленого в один і три проходи з індукційним підігрівом до 250 оС, представлені на рисунку 3.16 (а, б).

**Основний метал**

**Основний метал**



а)

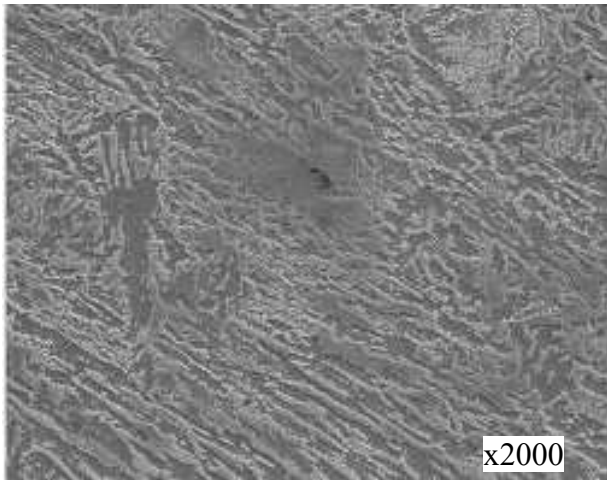


б)

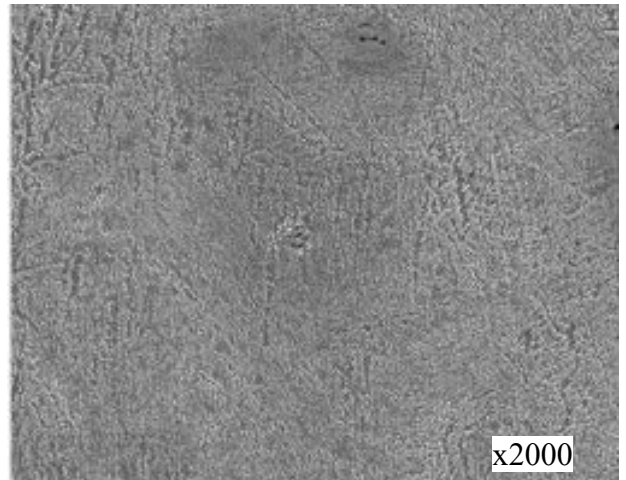
Рисунок 3.16 – Панорами зон термічного впливу зразків, відновлених із застосуванням індукційного підігріву до 250 оС за різних режимів (а – в один прохід, товщиною 9–10 мм, б – у три проходи, товщиною 2,5–3мм кожен)

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

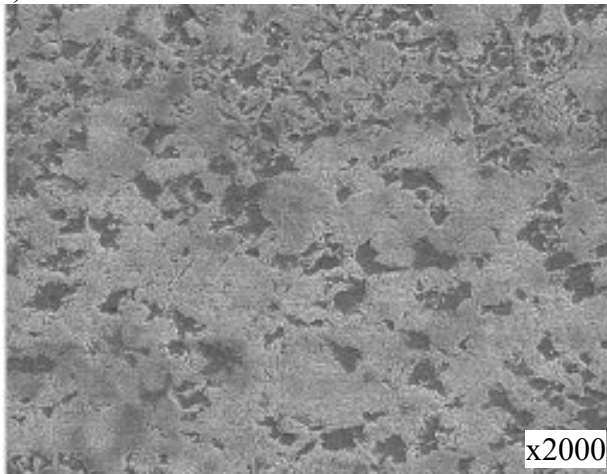
На рисунку 3.17 представлені фотографії мікроструктур наплавлення, зони термічного впливу та основного металу цих зразків.



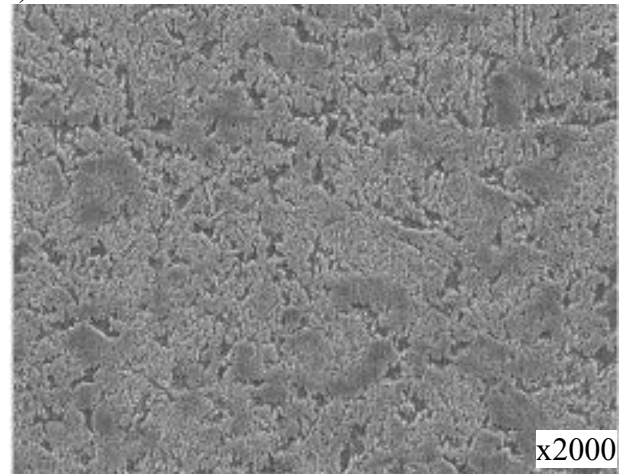
а) область наплавлення



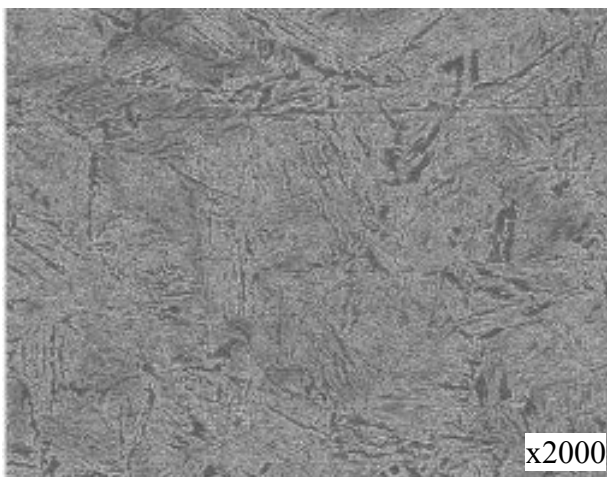
г) область наплавлення



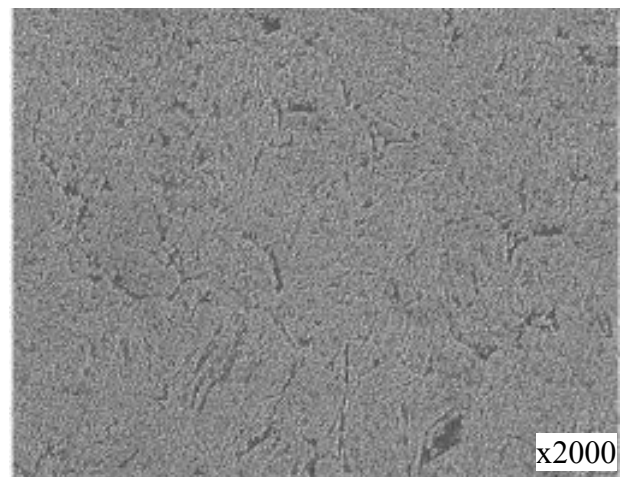
б) зона термічного впливу з боку наплавлення



д) зона термічного впливу з боку наплавлення



в) зона термічного впливу з боку основного металу



е) зона термічного впливу з боку основного металу

Рисунок 3.17 – Мікроструктура зразків, відновлених при різних режимах (а, б, в – в один прохід 9–10 мм; г, д, е – у три проходи по 2,5–3 мм)

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З малюнка 3.17 видно, що мікроструктура зразка, відновленого в один прохід, значно грубіша порівняно з мікроструктурою зразка, відновленого в три проходи. Слід зазначити той факт, що рівень механічних характеристик, встановлених для нових замкових сполук ГОСТ 27843, було досягнуто тільки після отримання в металі замкових сполук, що відновлюються, мікроструктури сорбіту. При цьому режим наплавлення включав застосування захисного середовища із суміші флюсів ЕЛЗ-ФКН-1/55(Б) і 48 ОФ-10 у співвідношенні 1:1, попередній підігрів ремонтного виробу в індукторі до температури 250 оС, прокалювання флюсу при температурі 350оС перед наплавленням, а також обмеження по максимальній товщині шару, що одноразово наплавається, 3 мм на користь збільшення кількості шарів до трьох.

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 4.СТЕНДОВІ ВИПРОБУВАННЯ ВІДНОВЛЕНИХ НАПЛАВКОЮ ЗАМКОВИХ З'ЄДНАНЬ

### 4.1.Стендові випробування замкових з'єднань бурильних труб на осьове навантаження, що розтягує.

Стендові випробування замкових з'єднань бурильних труб на осьове навантаження, що розтягує, проводилися з метою визначення ступеня термічного впливу наплавленого металу на можливе розміщення в зоні висадки і зварного шва по відношенню до міцності металу тіла труби на розтяг. Випробування зразків проводилися на універсальному стенді УС-600 для випробувань труб та спуско-підйомного інструменту на розтягування та стиснення. Зовнішній вигляд стенду представлений рисунку 4.1.



Рисунок 4.1 – Стенд УС-600

Для випробувань на осьове навантаження було відібрано:

- від бурильних труб ПК 127×9 мм групи міцності «Д» три ніпельні кінці (ідентифікаційні номери 8Н, 7Н, 20Н);
- від бурильних труб ПН 89×9 мм групи міцності «Д» три муфтових кінця (ідентифікаційні номери 1М, 2М та 3М).

Підготовка зразків до випробувань та самі випробування проводилися

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відповідно до розробленої «Програми та методики проведення стендових випробувань бурильних труб із привареними замками після ремонту в частині відновлення замкових деталей методом наплавлення на розтяг».

За результат випробування приймалося дотримання критерію достатності міцності труб із замками приварними, тобто. міцність тіла труби повинна бути вищою за міцність зварного з'єднання. Експериментальні результати випробувань на розтягування бурильних труб у вигляді навантаження, при якому відбулося руйнування натурального зразка, наведено в таблиці 4.1. У ній представлені також теоретичні розрахункові характеристики навантаження, знайдені аналітично за межами плинності та міцності та площі перерізів зони зварного з'єднання та тіла труби.

Таблиця 4.1 – Експериментальні та розрахункові значення навантаження руйнування розтягненням зразків бурильних труб

Маркування	Значення навантажень до руйнування, т		
	Розрахункові		Експериментальні
	Зварний шов	Тіло труби	
Значення характеристик міцності зразків бурильних труб ПК 127 x 9 мм "Д"			
8Н	423,5	238,8	298
7Н	425,6	210,4	303
20Н	426,8	217,3	301
Значення характеристик міцності зразків бурильних труб ПН 89 × 9 мм "Д"			
2М	265,8	167,5	210
1М	268,9	173,2	196
3М	273,8	178,1	204

З даних таблиці 4.1 випливає, що всі випробувані зразки витримали випробування. Фотографії зразків після випробувань наведено на рис. 4.2, 4.3. З малюнків 4.2, 4.3 видно, що руйнування зразків усіх досліджуваних замкових з'єднань від бурильних труб відбувалося по тілу бурильної труби, в області віддаленої від зони термічного впливу зварного шва. Перший зразок замкового з'єднання від труби ПК 127x9,2 мм зруйнувався при

навантаженні 298 т, другий – 313 т, третій – 301 т. Перший зразок замкового з'єднання від труби ПН 89×9,2 мм зруйнувався при навантаженні 210 т, другий – 204 т, третій – 196 т.



Рисунок 4.2 – Зразки труб ПК 127×9 після випробувань на розтягування



Рисунок 4.3 – Зразки труб ПН 89×9мм після випробувань на розтягування

Слід зазначити, що експериментально одержані значення навантаження руйнування у всіх випадках перевищували розрахункові, що характеризує високий рівень запасу міцності бурильної труби.

#### **4.2.Стендові випробування замкових з'єднань бурильних труб на втомну міцність**

Стендові випробування замкових з'єднань бурильних труб на втому проводилися з метою визначення ступеня термічного впливу наплавленого металу на метал висадженої частини, зварне з'єднання, а також

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

характеристику міцності втоми. Випробування зразків проводилося на стенді СТ–20 для визначення межі витривалості зразків бурильних труб при знаковому згинанні. Зовнішній вигляд стенду поданий на рисунку 4.4.



Рисунок 4.4 – Випробувальний стенд СТ–20

Для випробувань на втому було відібрано сім зразків від бурильних труб ПК 127×9 мм групи міцності «Д» у вигляді компоновок ніпельного та муфтового кінця, що згвинчуються надалі між собою в процесі випробувань. Випробуванням піддавалися компонування зразків з наступними ідентифікаційними номерами 1Н – 3М, 9Н – 10М, 13М – 14Н, 6М – 11Н, 16М – 12Н, 17М – 4Н, 19М – 14Н, у яких першим вказується , М - муфтовий). Підготовка зразків до випробувань і самі випробування проводилися відповідно до розробленої

«Програмою та методикою проведення стендових випробувань бурильних труб із привареними замками після ремонту в частині відновлення замкових деталей методом наплавлення на знаковмісний вигин».

Перед проведенням стендових випробувань методом кінцевих елементів було виконано аналітичне дослідження напруженого стану в умовах проведення стендових випробувань на втому. Схема навантаження випробуваного зразка представлена на рисунку 4.4. З малюнка 4.5 видно, що у конструкції випробувального зразка виділяється два небезпечні перерізи,

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

якими імовірно може статися руйнування:

ОС1 – розташоване під коренем першого витка ніпелю, що знаходиться в зачепленні  $\square 94,91 \times 14,905$ ,

ОС2 – розташовано у точці переходу висадки труби до регулярного тіла труби  $\square 88,9 \times 13,64$ .



Рисунок 4.5 – Випробувувальний зразок та схема його навантаження

Відповідно до методики, тестове навантаження слід вибирати таким чином, щоб напруга по небезпечному перерізу складала 15–20% від межі плинності. Без урахування попереднього навантаження перерізу при силовому складанні замку отримуємо:

$$\sigma_{\perp 1} = 0,15 \cdot \sigma \quad (4.2)$$

Згинальний момент необхідний для отримання такого рівня напруги:

$$M = \sigma_{\perp 1} \cdot J_x \cdot 2 / y_{\max} \quad (4.3)$$

Потім визначаємо необхідну величину поперечної сили:

$$P_{oc1} = M / L, \text{ де} \quad (4.4)$$

L – плече сили.

Межа плинності замку 828 МПа. Без урахування попереднього навантаження перерізу при силовому складанні замку отримуємо:

$$\sigma_{\perp 1} = 0,15 \cdot 828 = 124,2 \text{ (МПа)}$$

Згинальний момент необхідний для отримання такого рівня напруги:

$$M_{oc1} = 124,2 \cdot 3101423 \cdot 2 / 94,91 = 8117095 \text{ (Н}\cdot\text{мм)}.$$

Визначаємо необхідну величину поперечної сили:

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{oc1} = 8117095/1533 = 5300 \text{ (H)}$$

Для оцінки впливу попереднього навантаження замка крученням, а також для визначення фактичної величини прогину від розрахованої величини навантаження, проведемо розрахунок моделі зразка методом кінцевих елементів.

Схема розподілу осьових напруг представлена рисунку 4.6.

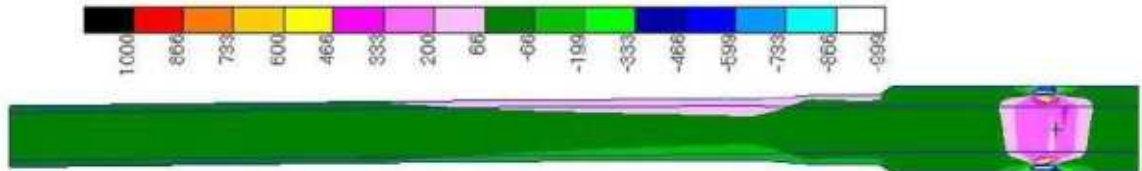


Рисунок 4.6 – Осьова напруга, МПа

Схема розподілу еквівалентної напруги представлена на рисунку 4.7.

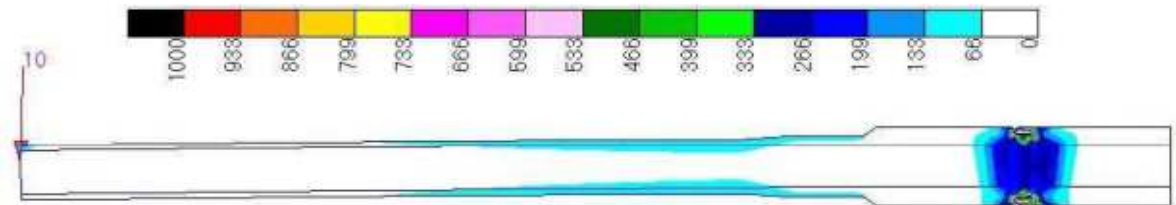


Рисунок 4.7 – Еквівалентна напруга, МПа

Схеми розподілу осьових напруг за внутрішнім та зовнішнім діаметрами представлені на рисунках 4.9 та 4.10 відповідно.

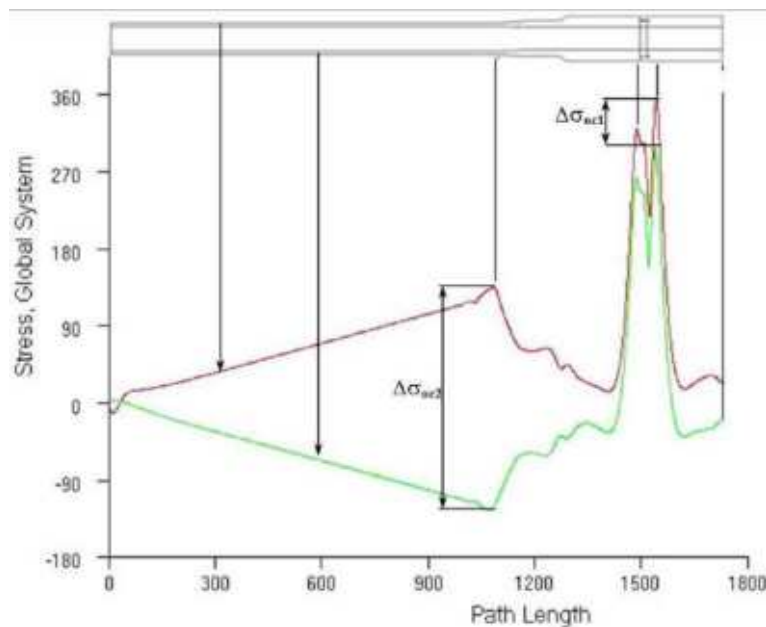


Рисунок 4.9 – Осьова напруга по зовнішньому діаметру труби, МПа

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

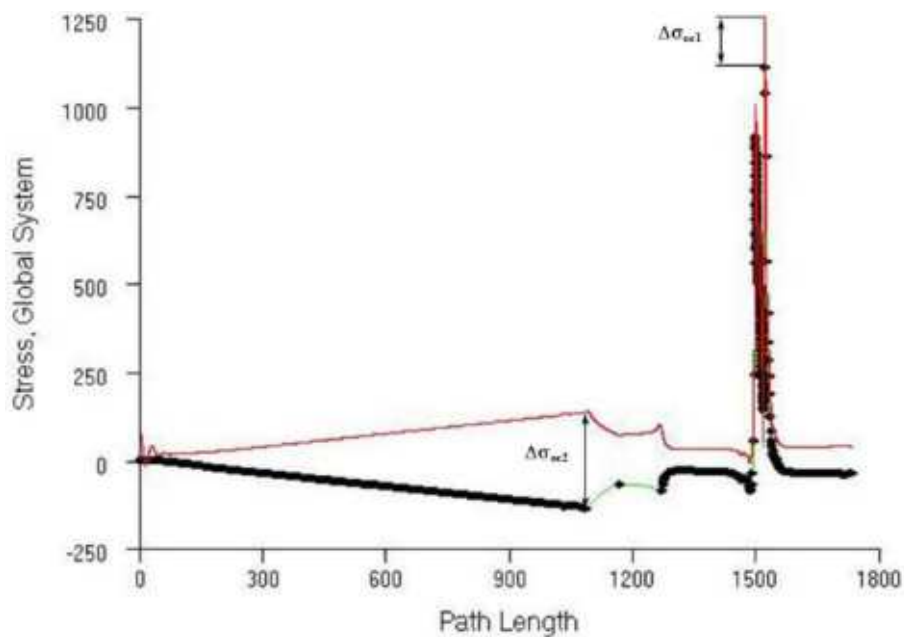


Рисунок 4.10 – Осьова напруга за внутрішнім діаметром труби, МПа

З рисунків 4.9 та 4.10 видно, що незважаючи на підвищені напруження в області перерізу ОС1, амплітуда напруги по перерізу ОС2 значно перевищує амплітуду за ОС1. Таким чином, при зазначеній схемі навантаження, найбільш ймовірно втомне руйнування відбудеться в районі перерізу ОС2. Дане припущення знаходить своє відображення у формулі Парижа для швидкості зростання тріщини. Результати стендових випробувань на знакозмінний вигин бурильних труб ПК 127×9 наведено в таблиці 4.2 та на рисунках 4.11–4.13. З даних таблиці 4.2 видно, що три зразки (13М–14Н, 6М–11Н та 19М – 14Н) із семи витримали базове число циклів навантаження для сталі ( $10 \times 10^6$  циклів) при додатку напруг знакозмінного вигину в діапазоні 10...13 кг/мм<sup>2</sup>. Чотири зразки зруйнувалися достроково по основному тілу (поза зоною наплавлення) внаслідок наявності дефектів у вигляді прихованих тріщин (два зразки), зон нагріву в місці контакту струмознімання наплавної машини з тілом труби (два зразки). Руйнів зразків по зоні впливу наплавлення не відбувалося.

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.2 - Результати стендових випробувань зразків бурильних труб ПК 127×9мм групи міцності "Д" на знакозмінний вигин (втома)

№ п/п	Компонування зразків	Додана напруга вигину $\zeta$ -1, кг/мм <sup>2</sup>	Число циклів, яке витримав зразок	Результат випробувань
1	1Н - 3М	16	0,8 × 10 <sup>6</sup>	Злам за дефектом (тріщиною) у стінці труби
2	9Н - 10М	15	1,3 × 10 <sup>6</sup>	Злам за дефектом (тріщиною) у стінці труби
3	13М - 14Н	10	10 × 10 <sup>6</sup>	Випробування витримав
4	6М - 11Н	12	10 × 10 <sup>6</sup>	Випробування витримав
5	16М - 12Н	13	0,9 × 10 <sup>6</sup>	Злам за дефектом (тріщиною) у стінці труби



Рисунок 4.11 – Руйнування зразка 1Н бурильної труби ПК 127×9 «Д» із привареним замком ЗП-162-95-2 за дефектом у тілі труби

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 4.12 – Руйнування зразка 9Н бурильної труби ПК 127×9 «Д» із привареним замком ЗП-162-95-2 за дефектом у тілі труби



Рисунок 4.13 – Руйнування зразків 16М та 17М бурильної труби ПК 127×9 «Д» за дефектом у тілі труби

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

1. Побудована найпростіша теплова модель процесу нагрівання стінки замка при наплавленні, що враховує теплопередачу від розплаву шару, що наплавляється до стінки, а потім від закристалізованого наплавленого шару до стінки.

2. Найкращі результати щодо забезпечення надійного захисту від окислення та підстуджування, механічних властивостей для гарної оброблюваності виходять при використанні суміші керамічного флюсу ЕЛЗ–ФКН–1/55(Б) та плавленого флюсу 48 ОФ– 10 у співвідношенні 1:1.

3. Встановлено позитивний вплив попереднього підігріву зниження їх рівня. Рекомендовано застосування підігріву до температури  $250\pm 50^{\circ}\text{C}$ .

4. Встановлено, що товщина шару, що одночасно наплавляється, не повинна перевищувати 2–3 мм, і тому для отримання наплавленого шару товщиною 10 мм (при максимальному зносі замку) повинно послідовно наплавлятися 3–4 шари.

5. У наплавленому шарі та зоні термічного впливу (ЗТВ) була отримана мікроструктура сорбіту, найбільш близька до мікроструктури металу замку в стані постачання. Ширина ЗТВ при цьому була зменшена більш ніж утричі порівняно із шириною ЗТВ до введення рекомендацій.

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Глазов, В. А. Відновне наплавлення замків бурильних труб [Електронний ресурс] / В. А. Глазов // Engineer & technological service SPF-CSC. – 2013. – № 4. – Режим доступу:<http://burneft.ru/archive/issues/2013-04/16> (Дата звернення: 25.03.2014).
2. Середа, Н. Г. Буріння нафтових і газових свердловин / Н. Г. Середа, Є. К. Соловійов. - К.: Надра, 1974. - 456с.
3. Коржик Н. Ф. Основні закономірності тертя та зношування елементів бурильної колони в свердловині / Н. Ф. Коржик, Я. В. Коржик, А. Р. Косів. - ІФІНГ - Івано-Франківськ, 1989. - 17 с. - Деп. В УкрНДІНТІ 18.05.89, № 1283-Ук.89.
4. Якушин Б. Ф. Отримання швів зі змінним фазовим складом за перерізом / Б. Ф. Якушин, В. П. Тихонов // Зварювальне виробництво, 1978. № 5. - С.3-6.
5. Хасу А., Наплавлення та напилення / Пер. з яп. Х12 В.К. Попова; за ред. В. С. Степіна, Н. Г. Шестеркіна. - К.: Машинобудування, 1985. - 240с.
6. Якушин Б. Ф. Вплив режиму зварювання на високотемпературну деформацію металу шва. / Б. Ф. Якушин, Д. К. Чернавський // Зварювальне виробництво, 1975. - №6. С.9-11.
7. Александров А. Г. Експлуатація зварювального обладнання / А. Г. Александров, І. І. Заруба, І. В. Пеньковський. - Київ.: Будівельник, 1992. - 212с.
8. Завалинич Д. А. Аналіз застосування сучасних електродів вітчизняного та імпортного виробництва при капітальному ремонті магістральних нафтопроводів /Д. А. Завалініч, О. І. Стеклов, О. В. Дзюба//Зварювальне Виробництво. - 2007. - № 4 (869). -С. 32–39.
9. Hertig H. Thermisches Metal beschichteneine moderne Technologie // Technische Rundschau. 1986. - vol 78. - № 4. - p. 22 - 25.

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10. Характеристики plasma arc welding with wire addition / T. Hiroya, M. Misuaki, I. Shaji, S. Itsuhiko // Trans. Sap. Welding Sos. - 1978. - № 1. - p. 35-40.
11. Щіцин Ю. Д. Можливості плазмової обробки металів струмом зворотної полярності / Ю. Д. Щіцин, О. А. Косолапов, В. Ю. Щіцин // Зварювання. Діагностика - 2009. - № 2. - С. 42-45.
12. Вайнерман А. Е. Плазмова наплавка металів / А. Є. Вайнер-ман, К. Х. Шоршоров, В. Д. Веселков, В. С. Новосадов. - Л.: Машинобудування, 1969. - 192 с.
13. Гладкий П. В. Плазмова наплавка / П. В. Гладкий, Є. Ф. Палітурників, І. А. Рябцев Київ: Екотехнологія, 2007. – 292 с.
14. Коротєєв А. С. Плазмотрони / А.С. Коротєєв. - К.: Машинобудування, 1993. - 296 с.
15. Cler S., Ducos M. Le plasma a arc transfer / // Souder. 1987, 11, - № 2. p. 31 -41.
16. Zuchowski RS, Culbertson RP Plasma arc weld surfacing // Welding Journal. 1962. Vol. 41. N 6. P. 548-555.
17. Гончаров В. С. Зміцнення довгомірних протяжок в іонно-плазмових установках типу ННВ-6.6-ІІ / В. С. Гончаров, Є. В. Васильєв // Зміцнюючі технології та покриття. 2013. № 6 (102). С. 3-6.
18. Мустафін Ф. К. Зварювання трубопроводів / Ф. К. Мустафін, Н. Г. Блехерова, О. П. Квятковський. - К.: Надра, 2002. - 350 с.
19. Колубаєв Є. А. Особливості формування структури зварного з'єднання, отриманого зварюванням тертям з перемішуванням / О.О.Колубаїв //Сучасні проблеми науки та освіти- 2013. - № 6.
20. Котлишев Р. Р. Розрахунок температур при зварюванні тертям з перемішуванням алюмінієвих сплавів /Р. Р. Котлишев,К. Г. Шучов,А. В. Крам-ський//Вісник ДДТУ.-2010. -Т. 10, № 5. -С. 648-654.
21. Полетика І. К. Формування зміцнювальних покриттів методом

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

наплавлення в пучку релятивістських електронів / І. К. Полетика, К. Г. Голковський, К. Д. Борисов, Р. А. Салімов, К. В. Перовська // Фізика та хімія обробки матеріалів. - 2005. - № 5. - С. 29-41.

22. Полетика І. К. Структура та механічні властивості металу позавакуумної електроннопроменевої наплавки до і після термічної обробки / І. К. Полетика, Т. А. Крилова, К. В. Перовська, Ю. Ф. Іванов, С. Ф. Гню - сов, К. Г. Голковський // Зміцнюючі технології та покриття. - 2008. - № 4. - С. 44-53.

23. Haggag FM, Nastad RKEфекти thermal aging and neutron irradiation on the mechanical properties of three-wire stainless steel weld overlay cladding//Nureg-GR-6363 ORNL-TM-13047.

24. Tong X., Zhou H., Chen WW, Jiang W., Li XZ, Ren LQ, Zhang ZH Optics and Laser Technology, 2009, v. 41, p. 671 - 678.

25. Cojocaru M., Taca M. Applied Surface Science, 1996, v. 106, p. 258 – 262.

26. S. Bremen, D. Buchbinder, W. Meiners, i K. Wissenbach: Mit Selective Laser Melting auf dem Weg zur Serienproduction, Laser Technik Journal, vol. 8, no. 6, pp. 24-28, 2011.

27. Kozyrev NA, Krukov RE, Kolmogorov DE Новий карбон-fluorine поєднує сприятливі для вологих плодів//Mechanics of Materials. -2014. -Vol. 682. -P. 495-498.

28. Діяльність карбон-і fluorine-залишення позицій у складі fluxes на вміст неметалічних inclusions and properties of welded joints/NA Kozyrev, VF Iigushev, RE Krukov, ZV Goldun, IN Kvalsky // Welding International. - 2013. -Vol. 27, N 12. -P. 963-965.

29. Tvergaard V. Material failure by void growth to coalescence//Adv. в Appl. Mech. -1990. -№ 27. -P. 83–151

30. Neue Verfahren zum Schweiss-plattieren dickwandiger Stahlbleche und-behalter/F. Neff, P. Scherl, K. Winter, H. Ornig // Berg-und

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Huttenmannische Monatshefte. 1973. Bd. 118, 119. S. 286-294.

31. Seldel G., Hess H. Untersuchungen zur Elektroschlackeschweißplattieren mit Bandedelektrode//Schweißen und Schneiden. 1971. Heft 10. S. 410-411.

32. Литовченко Н. Н. Вібродугове наплавлення графітовим електродом нанометалокерамічних композиційних матеріалів / Н. Н. Литовченко, В. К. Куликов, Н. В. Титов // Зварювальне виробництво, 2013. № 2. С. 51–53.

33. Kazakov YN, Lyasnikov VN New Methods building-up Metal/Journal of Advanced Materials. Cambridge Interscience Publishing. 1997. V. 3. N 1. P. 80-84.

34. Файрушин А.К., Дослідження впливу вібраційної обробки сталі 09Г2С у процесі зварювання на метал зварного шва / О.К. Файрушін, Р. Г. Різванов, Д. В. Каретніков, Б. А. Гасімзянов // Розплави. -2017. -№ 2. – С. 162-170.

35. Криштал К. А. Механізм дифузії у залізних сплавах / К. А. Криштал. - К.: Металургія, 1972. - 400 с.

36. Sabapathy PN, Wahab MA, Painter MJ The prediction of burn-through during in-service welding of gas pipelines J. Press. Vess. Piping. - 2000. - № 11. -P. 669-677.

37. Тарасов Н. К. Енергетичний розрахунок процесу відриву краплі електродного металу при впливі імпульсу зовнішнього електромагнітного поля / Н. К. Тарасов // Автомат. зварювання. - 1984. - № 6. - С. 21-25.

38. Калачов І. Ф. Нове покоління бурильних труб / І. Ф. Калачов // Буріння та нафта. 2011. № 5. С. 51-52.

39. РД 39–2–930–83 Типові технологічні інструкції з підготовки до експлуатації та ремонту бурильних труб у цехах центральних трубних баз виробничих об'єднань Міннафтопрому.

40. Біргер І. А. Залишкові напруження / І. А. Біргер. - К.: МАШГІЗ,

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1963. 232 с.

41. Rossini NS Methods of measuring residual stresses in components // Materials & Design. 2012. Т. 35. С. 572-588.

42. Sachs G. Визначення residual stresses in rods and tubes // Z. Metallkunde. 1927. Т. 19 №. 9. С. 352-357.

43. Давиденков Н. Н. Про вимір залишкових напруг / Н. Н. Давиденков // Заводська лабораторія. 1950. Т. 16 № 2. С. 188.

44. Grum JJ A comparison of tool-repair methods using CO2 laser surfacing and arc surfacing / JJ Grum JM, Slabe. – Applied Surface Science 208–209, ГОСТ 9013-59. Метали. Метод вимірювання твердості за РоквеллоК. - К.: Стандартінформ, 2001. - 6с.

					ДРБМТВА 23.20107.000. ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		