

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ, ТРАНСПОРТУ ТА АРХІТЕКТУРИ
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

магістра

Освітньо-кваліфікаційний рівень

Галузь знань 13 Механічна інженерія

Шифр спеціальності

Напрямок підготовки (спеціальність): 132 «Матеріалознавство,
Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

Шифр і назва напрямку підготовки (спеціальності)

на тему: **«Дослідження біметалевих покриттів системи
алюміній – залізо отриманих методом напилення»**

Шифр **MPTAM 23.18041.000 ПЗ**

Виконав: *студент 2-го курсу,
група МТВАм-22-1*



V. S. Юрєвич
Ініціали, прізвище

Керівник *к.т.н., доц. каф. ТАМ.*



С. Ф. Посонський
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
Зав. кафедри ТАМ д.т.н., проф.



О. В. Диха
Ініціали, прізвище

16 12 2023 р.

Хмельницький, 2023

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет *інженерії, транспорту та архітектури*
Кафедра *трибології, автотехніки та матеріалознавства*
Освітній рівень *магістр*

Спеціальність *132 «Матеріалознавство».*

Спеціалізація *«Відновлення та технічний сервіс автомобілів»*

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ТАМ


Диха О.В.
16 жовтня 2023 року

ЗАВДАННЯ

НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Юхневичу Владиславу Сергійовичу

Прізвище, ім'я, по батькові

1. Тема роботи: *Дослідження біметалевих покриттів системи алюміній – залізо отриманих методом напилення.*

керівник роботи: Посонський Сергій Феліксович, доцент каф. ТАМ.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом університету від *1.03.2023 р. № 5 (Д 26)*

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру *16.12.2023 р.*

3. Вихідні дані до проекту (роботи) *Матеріали курсових проектів та переддипломної практики.*

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

1) Біметали сталь-алюміній та способи їх отримання.

2) Методика дослідження алюмінієвих покриттів.

3) Дослідження формування алюмінієвих покриттів газополуменевим напиленням.

4) Висновки, рекомендації

5. Перелік графічного матеріалу (презентація):

Розробити презентацію у вигляді слайдів з розкриттям питань відповідно до мети роботи.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

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

Дата видачі завдання 16 жовтня 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Біметали сталь-алюміній та способи їх отримання.	30.10.23	вик
2	Методика дослідження алюмінієвих покриттів.	15.11.23	вик
3	Дослідження формування алюмінієвих покриттів газополуменевим нагівленням.	23.11.23	вик
4	Висновки, рекомендації	4.12.23	вик
5	Оформлення пояснювальної записки	6.12.23	вик
6	Допуск до захисту	12.12.23	вик
7	Захист дипломної роботи	23.12.23	

Студент


Підпис

Юхневич В. С.
Ініціали, прізвище

керівник роботи


Підпис

Посонський С. Ф.
Ініціали, прізвище

РЕФЕРАТ

Студент групи МТВАм-22-1 Юхневич Владислав Сергійович.

Структура та обсяг пояснювальної записки. Дипломна робота на тему *«Дослідження біметалевих покриттів системи алюміній – залізо отриманих методом напилення»* складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел, який налічує 21 найменування, розміщених на 2 сторінках, та __ додатків розміщених на __ сторінках. Роботу викладено на 87 сторінках, з них 80 сторінок основного тексту, на яких розміщено 54 рисунки і 5 таблиць.

З усіх захисних покриттів на сталевих виробах, великий інтерес представляють біметали на основі сталь - алюміній. При різних механічних та експлуатаційних властивостях, зведені в єдине ціле, вони здатні успішно конкурувати з дорогими високолегованими сталями. Тим самим багаторазово знизивши вартість виробів, без зниження якості виробу та терміну експлуатації.

Провівши аналіз отримання біметалів, порівнявши всі показники та економічну ефективність було вирішено для формування алюмінієвих покриттів використовувати газополуменеве напилення.





Проблема підвищення міцності зчеплення при напиленні покриттів газополуменевим напиленням ефективно вирішується створенням на поверхні деталі складної структури застосовуючи різні способи механічної та термічної обробки поверхні. А збільшення сфери застосування біметалу сталь-алюміній сприяє подальшому дифузійному відпалу, який сприяє утворенню інтерметалідних шарів, що надають сталевим деталям унікальні властивості корозійної стійкості, жаростійкості та зносостійкості.

Метою дипломної роботи є підвищення адгезійного зв'язку покриття з основним металом, шляхом дослідження процесів та розробки технології формування алюмінієвих та алюмінідних покриттів на сталях.

Ключові слова: БІМЕТАЛИ; ДИФУЗІЙНИЙ ВІДПАЛ; СТАЛЬ – АЛЮМІНІЙ; ГАЗОПОЛУМЕНЕВЕ НАПИЛЕННЯ; СТРУКТУРА; ТОВЩИНА ПОКРИТТЯ; ХІМІЧНИЙ СКЛАД

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. БІМЕТАЛИ СТАЛЬ-АЛЮМІНІЙ ТА СПОСОБИ ЇХ ОТРИМАННЯ.	8
1.1 Біметали сталь-алюміній.	8
1.2 Плакування.	9
1.3 Зварювання вибухом.	11
1.4. Рідкофазне алітування.	12
1.5 Напилення покриттів.	13
1.5.1 Металізація металів.	13
1.5.2 Плазмове напилення.	17
1.5.3 Високошвидкісне напилення.	21
1.5.4 Газополуменеве напилення.	24
1.6 Аналіз способів попередньої підготовки поверхні.	29
1.6.1 Абразивно-струменева обробка.	29
1.6.2 "Рване" різьблення.	34
1.6.3. Накатування поверхні.	37
1.6.4 Знежирення поверхні.	39
1.6.5 Попередній підігрів.	43
1.7 Дифузійний відпал.	45
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ АЛЮМІНІЄВИХ ПОКРИТТІВ.	53
2.1 Методика дослідження покриттів, нанесених методом газополуменевого напилення.	53

ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ				
Зм	Арк	№ Докум.	Підпис	Дата
Виконав		Юхневич		
Перевір.		Посонський		
Н.контр.		Бабак		
Затвер.		Диха		
Дослідження біметалевих покриттів системи алюміній – залізо отриманих методом напилення			Літера	Аркуш
			4	87
ХНУ МТВАм-22-1				

2.2	Методика дослідження алюмінієвих покриттів, отриманих рідкофазним алітуванням.	61
2.3	Методика дослідження алюмінієвих покриттів, отриманих газополуменевим напиленням з подальшим дифузійним відпалом	63
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ФОРМУВАННЯ АЛЮМІНІЄВИХ ПОКРИТТІВ ГАЗОПОЛУМЕНЕВИМ НАПИЛЕННЯМ.		65
3.1	Дослідження впливу підготовки поверхні підкладки на міцність зчеплення при газополуменевому напилюванні алюмінію на сталь.	65
3.2	Дослідження впливу попереднього підігріву основного металу на міцність зчеплення.	68
3.3	Дослідження процесів рідкофазного алітування.	76
3.4	Дослідження дифузійного відпалу алюмінієвих покриттів, отриманих газополуменевим напиленням.	78
ВИСНОВКИ		83
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ		84
ДОДАТКИ		87

						ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
							5
Змі.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

2.2	Методика дослідження алюмінієвих покриттів, отриманих рідкофазним алітуванням.	61
2.3	Методика дослідження алюмінієвих покриттів, отриманих газополуменевим напиленням з подальшим дифузійним відпалом	63
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ФОРМУВАННЯ АЛЮМІНІЄВИХ ПОКРИТТІВ ГАЗОПОЛУМЕНЕВИМ НАПИЛЕННЯМ.		65
3.1	Дослідження впливу підготовки поверхні підкладки на міцність зчеплення при газополуменевому напилюванні алюмінію на сталь.	65
3.2	Дослідження впливу попереднього підігріву основного металу на міцність зчеплення.	68
3.3	Дослідження процесів рідкофазного алітування.	76
3.4	Дослідження дифузійного відпалу алюмінієвих покриттів, отриманих газополуменевим напиленням.	78
ВИСНОВКИ		83
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ		84
ДОДАТКИ		87

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

ВСТУП

На сучасному етапі розвитку техніки, особливе значення приділяється підвищенню працездатності та довговічності деталей машин і особливо деталей вузлів, що працюють в агресивних середовищах.

Проблема підвищення надійності в умовах інтенсифікації виробництва, енерго - та ресурсозбереження ставить завдання створення нових технологічних процесів та застосування нових матеріалів. Але найчастіше найслабшим елементом у системі "матеріал - робоче середовище", визначальними умови експлуатації та ресурсу системи механізмів, є поверхня матеріалу. Тому важливу роль грають покриття, що оберігають деталі від руйнівного впливу робочих середовищ.

З усіх захисних покриттів на сталевих виробках, великий інтерес представляють біметали на основі сталь - алюміній. При різних механічних та експлуатаційних властивостях, зведені в єдине ціле, вони здатні успішно конкурувати з дорогими високолегованими сталями. Тим самим багаторазово знизивши вартість виробів, без зниження якості виробу та терміну експлуатації [1].

Відомо багато способів формування алюмінієвих покриттів на сталях: рідкофазний, наплавлення, зварювання вибухом, газотермічна металізація, плакування.

Провівши аналіз отримання біметалів, порівнявши всі показники та економічну ефективність було вирішено для формування алюмінієвих покриттів використовувати газополуменеве напилення.

При такому способі досягається максимальна продуктивність, незалежно від складності поверхні. Установка для газополуменевого напилення досить мобільна, що дозволяє наносити покриття на готових конструкціях, поза цеховими умовами. Також слід відзначити можливість отримання покриття різної товщини з широким спектром властивостей [2].

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Однак істотним недоліком даного способу є низька міцність зчеплення покриття з основою, що викликано відсутністю адгезійного зв'язку, а також наявністю в покритті залишкових напружень, що утворюються під час напилення.

Проблема підвищення міцності зчеплення при напиленні покриттів газополуменевим напиленням ефективно вирішується створенням на поверхні деталі складної структури застосовуючи різні способи механічної та термічної обробки поверхні. А збільшення сфери застосування біметалу сталь-алюміній сприяє подальшому дифузійному відпалу, який сприяє утворенню інтерметалідних шарів, що надають сталевим деталям унікальні властивості корозійної стійкості, жаростійкості та зносостійкості [1].

Метою дипломної роботи є підвищення адгезійного зв'язку покриття з основним металом, шляхом дослідження процесів та розробки технології формування алюмінієвих та алюмінідних покриттів на сталях.

Таким чином, завданнями роботи є:

- 1) Розробка методики дослідження процесів газополуменевого напилення та дифузійного відпалу сталі з алюмінієвим покриттям.
- 2) Дослідження процесів газополуменевого напилення алюмінію на сталь та властивостей покриття.
- 3) Дослідження процесів рідкофазного алюмініювання сталі.
- 4) Дослідження процесів дифузійного відпалу сталей із алюмінієвим покриттям.

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

РОЗДІЛ 1. БІМЕТАЛИ СТАЛЬ-АЛЮМІНІЙ ТА СПОСОБИ ЇХ ОТРИМАННЯ.

1.1 Біметали сталь-алюміній.

Біметалом прийнято називати двошаровий або багатшаровий матеріал, що складається з двох і більше різних металів або сплавів, міцно з'єднаних між собою по всій площині зіткнення, і є монолітним цілим (рисунок 1.1) [1].

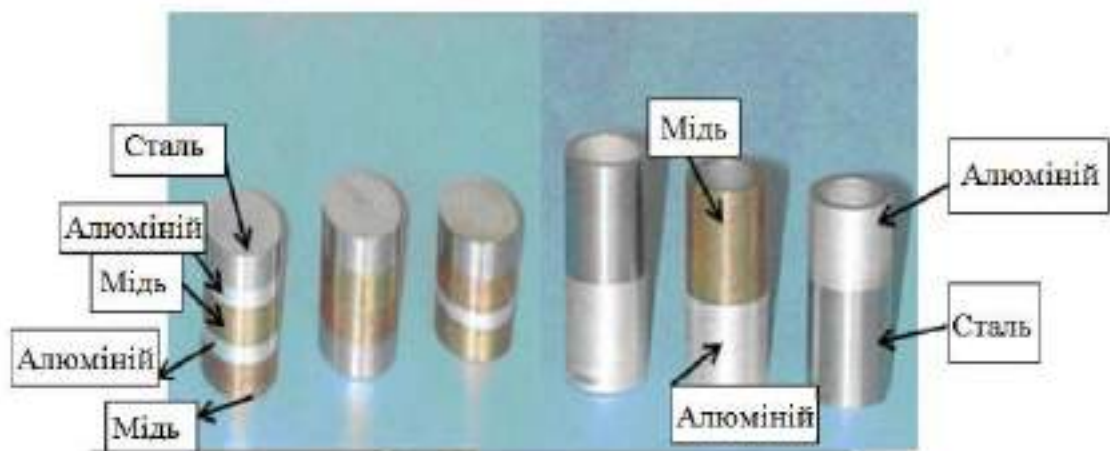


Рисунок 1.1 – Біметали

В даний час біметали широко використовуються в різних галузях промисловості, особливо популярний у хімічній та нафтохімічній промисловості, у машинобудуванні та суднобудуванні.

У композиції біметалу від вибору плакуючого шару залежать його властивості. Переважна більшість корозійностійкого біметалу, що випускається, припадає на випуск біметалу в якому в якості основи використовується вуглецева або низьколегована сталь. А як плакувальний шар алюміній. Такі композити класифікуються як корозійностійкі, антифрикційні, провідникові [3].

Використання біметалу щодня збільшується, що призводить не тільки до економії дефіцитних і дорогих металів та сплавів, але й до безперервних розробок технологій їх виготовлення.

В основі всіх технологічних способів отримання біметалічних, багат шарових та композиційних матеріалів лежить процес утворення нероз'ємного з'єднання різнорідних компонентів з досить високою міцністю на відрив або зріз. У зв'язку з цим використовуються такі способи з'єднання сталей.

1.2 Плакування.

Зварювання плакуванням є різновидом зварювання тиском і здійснюється в умовах деформування при малій тривалості взаємодії. Зварювання може виконуватися при нагріванні металів, що з'єднуються (гаряче зварювання прокаткою) і в холодному стані при формуванні шаруватих матеріалів з пластичних металів (холодне зварювання прокаткою) [4].

Холодне зварювання прокаткою застосовують для отримання двох-або тришарових біметалів, що складаються зі сталеві основи і плакуючих шарів з кольорових металів або їх сплавів. Відсутність навіть невеликих кількостей органічних речовин, що важко розпалюються з поверхні металу [3]. Метод спільної холодної прокатки отримав широке застосування у низці країн, зокрема і у нашій країні. Цим методом, зокрема, у великих кількостях отримують смуговий антифрикційний біметал завтовшки від 2,2 до 6,2 мм [4].

Технологічна схема отримання біметалів холодним зварюванням прокаткою складається з наступних основних операцій:

1) підготовка контактних поверхонь складових біметалу (травлення, зачистка) та складання біметалічних пакетів з приміщенням між складовими

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тонкої фольги з чистого алюмінію для полегшення процесу утворення з'єднання;

2) холодна прокатка на двовалковому стані з обтисненням 45-50% 33 один прохід (рисунок 1.2);

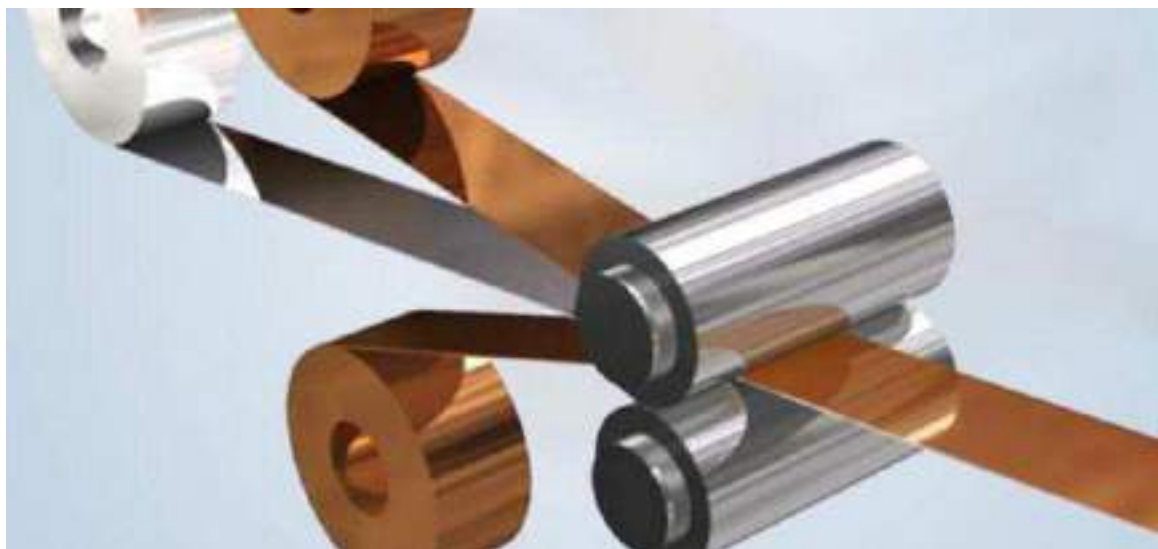


Рисунок 1.2 – Холодна прокатка тришарового біметалу

3) проміжний відпал біметалічного розкочування в електричних печах при 320 - 380°C протягом 1 год;

4) холодна прокатка смуг;

5) калібрування біметалічних смуг для отримання хорошої планшетності та забезпечення необхідних допусків за товщиною,

6) правка смуг на правильних машинах;

7) остаточний відпал біметалу в електричних печах при 450-460°C протягом 3 годин з подальшим повільним охолодженням з піччю;

8) різання біметалічних смуг на задані розміри;

9) випробування біметалу на міцність з'єднання шарів та на співвідношення шарів, твердість та контроль якості поверхонь.

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

1.3 Зварювання вибухом.

Зварювання вибухом - процес отримання сполук під дією енергії, що виділяється під час вибуху заряду вибухової речовини (ВР)". Принципова схема зварювання вибухом зображено на рисунку 1.3.

На рисунку наведено схему отримання біметалів зварюванням вибухом. Над нерухомою плитою (склябом) розміщують пластину, з матеріалу плакуючого шару. На цю пластину поміщають заряд вибухової речовини (в. р.); вибух ініціюється детонатором, розміщеним на краю пластини. У момент вибуху верхня пластинка з великою швидкістю стикається з нерухомим склябом. Внаслідок того, що фронт детонації переміщається вздовж заряду вибухової речовини з певною швидкістю, ділянки пластини, що метається, послідовно залучаються в рух і через деякий час ($10^{-3} \dots 10^{-6}$ с) співпадає з нерухомим склябом. У місці зіткнення розвивається тиск, що у багато разів перевищує динамічну міцність металів, що зварюються [5].

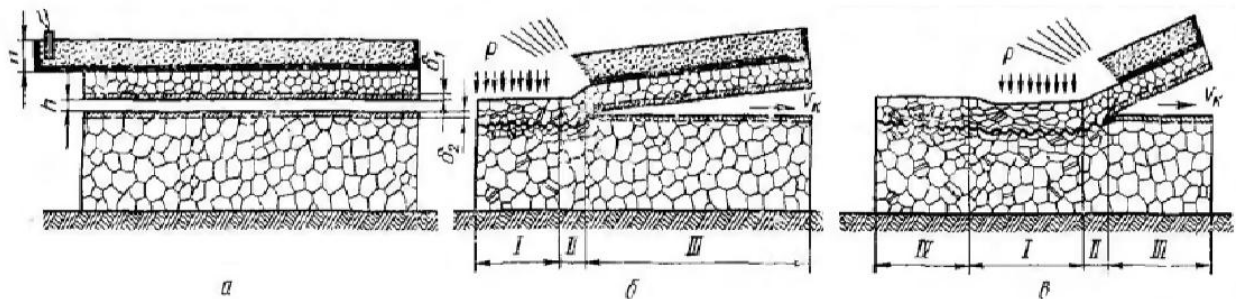


Рисунок 1.3 – Схема процесу зварювання вибухом під час виготовлення біметалів:

I – зона інтенсивного стиснення; II – зона інтенсивних пластичних зрушень;
III – зона дії кумулятивного струменя; IV – зона дії пружної хвилі розвантаження; висота заряду; h-зазор між пластинками перед зварюванням; товщини окисних плівок на плакуючому та основному шарах; v_k напрямок руху кумулятивного струменя [5].

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Зварену за допомогою вибуху дво - або багат шарову заготовку можна використовувати для виготовлення виробів безпосередньо після вибуху, або після гарячої або холодної прокатки заготовки на необхідні розміри. Нагрів, прокатку та обробку виробляють на звичайному устаткуванні.

Зварюванням вибухом можна з'єднувати метали та сплави у будь-яких поєднаннях. Найбільш доцільним і економічно виправданим є застосування такого зварювання для з'єднання композицій, які неможливо або дуже важко отримати іншими методами.

1.4. Рідкофазне алітування.

Сутність способу полягає у зануренні сталевого виробу з чистою металеву поверхнею в рідкий алюміній або його сплав і витримки в ньому протягом певного часу (рисунк 1.4). При цьому поверхневий шар металу розчиняється в алюмінії, вступає з ним у взаємодію, утворюючи інтерметалічні з'єднання типу Fe_nAl_m . Подальше зростання перехідного шару інтерметалідів йде в результаті дифузії алюмінію в залізо [4].

При цьому реакція та дифузія протікають дуже швидко, завдяки чому шар завтовшки 0,02-0,10 мм утворюється протягом 1-15 хв. Процес алітування ведуть при 700-800 °С, тобто за температури нижчою, ніж алітування методом калоризації [6].

Алітування зануренням має й недоліки:

- 1) наявність крихкої складової;
- 2) роз'їдання занурюваних виробів, так як алюміній у рідкому стані дуже легко вступає в реакцію з іншими металами;
- 3) досить висока температура процесу, що знижує стійкість тиглів;
- 4) місцеве налипання алюмінію на шари алітування;
- 5) нерівномірність насичення заліза алюмінієм;
- 6) окислення заліза під час занурення;

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

7) налипання плівки окису алюмінію.



Рисунок 1.4 – Рідкофазне алітування балок сталевих конструкцій

Для активування поверхні і кращого змочування рекомендується наносити на вироби флюси, а також на поверхню ванни з рідким алюмінієм. Деякі з цих флюсів, наприклад фториди титану і цирконію, дорогі, тому застосування їх економічно не вигідно, інші флюси є не стійкими і швидко збіднюються, втрачаючи свою реакційну (флюсну) здатність. а нанесення їх на поверхню алюмінієвого розплаву ускладнює подальше обливання арматури [6].

Адгезія розплавленого алюмінію до сталі забезпечується і за наявності на поверхні сталі пасивної плівки, оксидів заліза (Fe_3O_4) або хлоридів заліза певної товщини.

Під час знаходження деталі у розплавленому алюмінії поверхня виробів у контакті з рідким алюмінієм підправляється та відбувається утворення інтерметалідного шару. Що значно впливає на міцність зчеплення двох металів. Він стає більш крихким.

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

1.5 Напилення покриттів.

1.5.1 Металізація металів.

Металізація металів або напилення це процес нагрівання до рідкого стану матеріалу, що наноситься, і його перенесення у вигляді частинок на поверхню деталі [1].

Першим винахідником способу металізації розпорошенням є М. Шооп. Він мав патенти в Німеччині, Швейцарії, Франції та Англії (1900 – 1912 рр.). пістолетом (рисунок 1.5).

Спостерігаючи постріл із мисливської рушниці, він помітив, що свинцева куля виявлялася щільно втиснутою в кам'яну стіну. Там, де дві кулі попадали поруч, вони з'єднувалися. Далі дослідним шляхом він встановив, що, якщо замість твердих металевих частинок застосувати розплавлені, то зчеплення краще. У цих дослідах розпорошення ще було досконалим, тому подальші досліді він проводив з кільцевими соплами [6].

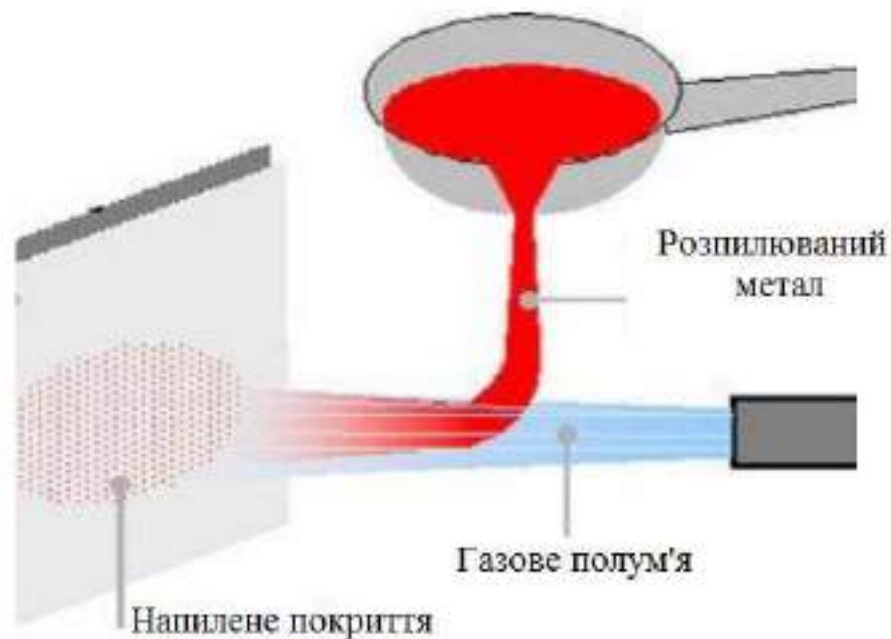


Рисунок 1.5 – Перший спосіб металізації, запропонований М. Шоопом.

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

М. Шооп перший запропонував електричну дугу як джерело тепла для розплавлення металу. У 1917 р. був виготовлений дротяний дуговий апарат" [6].

У 1900 р. в США був виданий патент на перший апарат для порошкової металізації. Однак щільного і міцного покриття отримати не вдавалося, так як порошок розпорошувався тільки в холодному стані. Кращих результатів досягли при підігріву частинок металевих порошків, що напилювалися. М. Шооп також пішов". шляхом напилення металевих порошків й у 1921 р. створив апарат моделі PG, який став прототипом сучасних металізаційних апаратів [6].

До закінчення терміну дії основного патенту, взятого М. Шоопом, фундаментальних досліджень з розробки технології та встановлення меж застосування процесу не проводили. Внаслідок цього процес дуже мало застосовували у промисловості. У перші роки після появи способу фахівці часто відхиляли цей процес загалом. Очевидно, це викликалося здебільшого незнанням меж його застосування, відсутністю обґрунтованих технологічних режимів та недостатньо надійною (безпечною) роботою газових металізаційних апаратів. У перших апаратах змішання пального газу та кисню відбувалося безпосередньо після виходу газів із сопла. Горючий газ та кисень подавали під рівним тиском. При неточній роботі редукторів відбувалося перетікання кисню до ацетиленових шлангів і навпаки. Зворотні удари полум'я часто спричиняли спалах шлангів і навіть вибухи балонів. Для зменшення цієї небезпеки створювали різні пристрої, що дозволяють регулювати тиск, але використовували це тільки для зварювальних пальників, а не для металізаційних апаратів.

З 1952 р. випускаються тільки інжекторні газові апарати, безпечні від зворотних ударів полум'я. Спосіб напилення металів спочатку застосовували для захисту від корозії. У Франції, наприклад, вже в 1920 р. більші сталеві

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

конструкції напиляли цинком. Для підвищення зносостійкості можливе напилення сталлю опорних частин валів. Вперше таку роботу провели в 1936 р. Металізація втулок і підшипників ковзання була здійснена в 1941 р. Нанесення металевих покриттів для декоративних цілей і екранування застосовувалося вже з моменту появи процесу. Керамічні ізолятори високої напруги вже в 1918 р. покривалися міддю та алюмінієм. Після 1945 р. було проведено багато фундаментальних досліджень, сконструйовано нові безпечні в роботі та продуктивні апарати та розроблено технологічні режими.

На даний момент формування покриття напиленням є сучасним високотехнологічним способом нанесення металів широкого спектру. В основі цього методу лежить нагрівання металу, що напилюється, і перенесення на поверхню. Оскільки принципова схема напилення всіх способів однакова, вона зображено на рисунку 1.6, їх поділяють на дві основні категорії.

Перша категорія включає процеси, в яких для створення теплової плазми використовується електрична дуга, яка використовується для нагрівання матеріалу, коли він рухається до підкладки, що підлягає покриттю. Друга категорія включає згоряння суміші пального газу (пропан, ацетилен, водень або азот) і кисню або повітря, щоб забезпечити необхідну теплову та кінетичну енергію, необхідну для розплавлення та перенесення частинок матеріалу до підкладки. Процеси згоряння можуть бути уривчастими, такими як процес детонаційної гармати, або безперервними, як у разі процесів високошвидкісного термічного напилення [7].

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

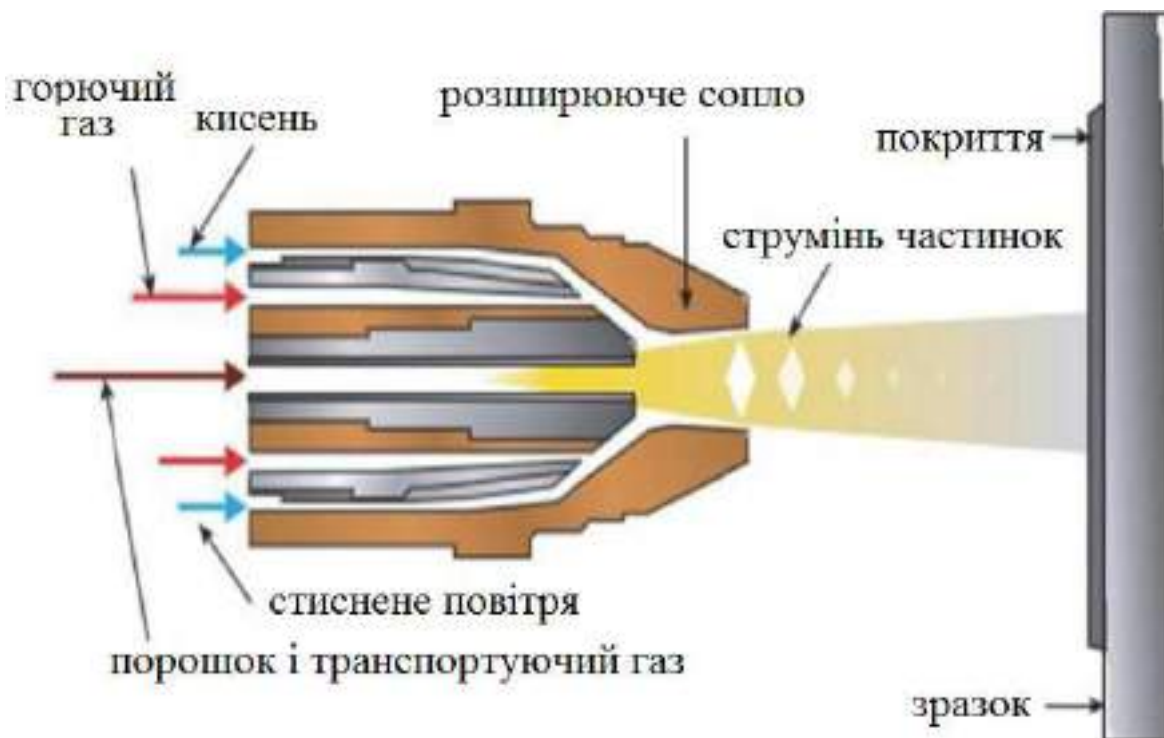


Рисунок 1.6 – Схема термічного напилення матеріалів.

1.5.2 Плазмове напилення.

Процеси плазмового напилення можна поділити на три основні категорії; звичайна повітряна плазма, високо енергетична плазмова та плазмова обробка у вакуумі. Всі ці процеси засновані на тому самому принципі, хоча вибір процесу зміни параметрів процесу можуть вплинути на отриману структуру і властивості покриття [7]. Схематичне зображення типового повітряного плазмового металізатора представлено рисунку 1.7.

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17



Рисунок 1.7 – Схема плазмового напилення матеріалів

Металізатор працює за принципом підвищення енергетичного стану газу, пропускаючи його через електричну дугу постійного струму, що зазвичай створюється між анодом з вольфраму і мідного катода. Коли молекули газу (такі як H_2 або N_2) проходять через дугу, дисоціюють та іонізуються, звільняючи вільні електрони. Ці електрони і позитивні іони, що залишилися, прискорюються у напрямку до анода і катода відповідно. Отримані прискорені частинки стикаються з нейтральними атомами або молекулами в газі, дисоціюючи молекули та іонізуючи окремі атоми, внаслідок чого процес продовжується. В результаті виходить іонізований газ, в якій енергія електронів перетворюється на плазмове полум'я [8]. Саме в цей момент матеріал покриття, суспендований в газі-носії, впорскується в плазму і потім нагрівається і рухається з високою швидкістю заготівлі. Наголошують, що на практиці невелика кількість вторинного газу, такого як

										Арк.
										18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ					

водень або гелій, змішується з первинним плазмовим газом для збільшення робочої напруги та теплової енергії.

Гази виходять із пістолета зі швидкостями від 200 до 500 м/с, залежно від прохідного отвору сопла, рівня потужності та витрати газу, а швидкість удару частинок, як відомо, залежить від цих складових. Температури, досяжні в плазмовому полум'ї, залежить від використовуваних газів, від 4000- 8000 К з воднем і азотом, до 15000 К з аргоном, 20000 К з гелієм. Відомо, що азот і водень є дуже ефективними нагрівальними середовищами, але набагато вищий зношування сопла компенсує їх хороші термічні властивості і низьку вартість. Дуговий газ, що найчастіше використовується - це 90 % Ar / 10 % H₂, який забезпечує достатній теплообмін для більшості матеріалів без надмірного зносу сопла. Однак для дуже високих температур використовується суміш 60 % Ar / 40 % He [8].

У будь-якому випадку, ясно, що досяжні температури значно перевищують температуру плавлення будь-яких відомих матеріалів, найбільш важливі робочі параметри, які визначають щільність покриття та адгезію, включають; тип сопла, тиск та витрата газу, рівень потужності, швидкість подачі порошку та відстань розпилення. Іншою важливою змінною є тип матеріалу матеріалу покриття, а також розмір і форма частинок, що переносяться. Наприклад, дрібніший розмір часток зазвичай призводить до більш щільного покриття і більш гладкого поверхневого шару, що напильється, але занадто маленький розмір до перегріву частинок і, можливо, навіть до випаровування. Дрібні порошки можуть розпорошуватися тільки з низькою швидкістю, а у випадку оксидів і карбідів можуть наноситися тільки у вигляді відносно тонких покриттів без втрати міцності зв'язку, тоді як занадто грубі частинки не ефективно нагріваються плазмою і можуть впасти від полум'я або відскочити від підкладки. Розмір часток зазвичай знаходиться в діапазоні від 12±5 мкм для дрібних порошоків до 60±15 мкм для грубих порошоків [8].

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Високоенергетичне плазмове напилення.

Цей спосіб дозволяє досягти значно більш високих температур нагріву матеріалу завдяки більш стабільній, довшій дузі і вищій щільності, потужності в соплі. Додаткова потужність (втричі вища за потужність звичайного плазмового процесу) і витрата газу (у два рази вища) забезпечують велику область металізованого струменя з більш високою температурою та зменшеним вмістом повітря. Це призводить до покращення плавлення матеріалу, зменшення кількості нерозплавлених частинок та високої швидкості удару частинок з підкладкою [8].

Плазмове напилення у вакуумі.

При вакуумному плазмовому напиленні звичайний плазмовий металізатор знаходиться у вакуумній камері (рисунок 1.8) при тиску в діапазоні 10-50 кПа (0,1-0,5 атм). При цих знижених тисках плазма збільшується в діаметрі, довша і має більш високу швидкість. Поєднання вищої швидкості частинок, відсутності кисню і здатність працювати при більш високих температурах підкладки призводить до отримання більш щільних, міцніших адгезійних взаємодій покриттів з підкладкою, з більш низьким вмістом оксиду. Плазма також може бути використана для очищення підкладки на місці, покращуючи цим адгезію шару покриття. Основним недоліком вакуумного плазмового напилення є висока вартість [6, 8].

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.8 – Встановлення плазмового наплення у вакуумній камері

1.5.3 Високошвидкісне наплення.

Процес згоряння високошвидкісного кисневого палива розширює принцип процесу детонаційного металізатора, забезпечуючи безперервне осадження покриттів. Винайдений Браунінгом у середині 1980-х років, процес металізації заснований на внутрішньому згорянні паливної рідини (газ або розпорошена рідина) та кисню, що створюють полум'я з максимальною температурою між 2500-3000 °С, залежно від змінних згорянь. Цей процес відбувається при дуже високому тиску в камері згоряння, і полум'я виходить із пістолета через сопло малого діаметра, створюючи гіперзвукові швидкості газу, що більш ніж у п'ять разів перевищують швидкість звуку [9].

Через притаманні проблеми в матеріалах для плазмового наплення, таких як схильність до реакцій зневуглицювання, великий інтерес був виявлений до використання процесів з нижчою температурою та вищою швидкістю наплення, які зменшують ймовірність небажаного утворення

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

оксиду. Цей інтерес призвів до розробки та вдосконалення високошвидкісних процесів напилення, що забезпечують покриття з дуже високою щільністю, низькою напругою. Є два основних типи високошвидкісних процесів напилення, детонаційне напилення та безперервне напилення [9].

Високошвидкісне напилення полягає в утворенні покриття шляхом динамічного осадження на основному матеріалі розплавлених або оплавлених крапель або частинок матеріалу, що напилюється, що утворюються при нагріванні матеріалу прутка або дроту різними джерелами нагріву. Різноманітність способів напилення забезпечує отримання покриттів, що значно відрізняються за своїми властивостями.

Детонаційне розпилення.

Детонаційне розпилення було розроблено та реалізовано компанією Union Carbide на початку 1960-х років. Процес був названий D-Gun і схематично проілюстровано рисунку 1.9.

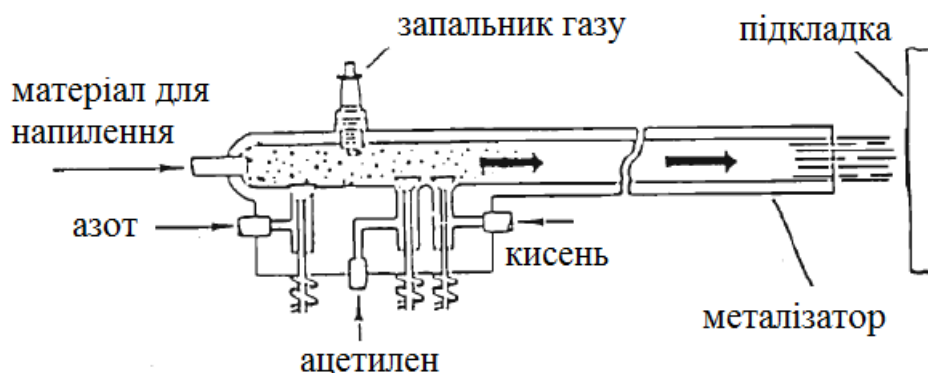


Рисунок 1.9 – Металізатор для детонаційного розпилення

Принцип цього процесу - змішування кисню та ацетиленового палива в детонаційній камері, циклічне впорскування палива, подача матеріалу та подальше займання газу/порошку. Запалення виробляє фронт полум'я, яке прискорюється до надзвукової хвилі детонації, нагріваючи і просуваючи частинки до матеріалу підкладки зі швидкістю приблизно 750 м/с. Такі

високі швидкості та відносно низькі температури призводять до більш високої щільності покриттів з меншим розкладанням карбіду [10].

Розпорошення горінням (HVOF та HVOF).

Процес згоряння високошвидкісного кисневого палива розширює принцип процесу детонаційного напилення, забезпечуючи безперервне нанесення покриттів. Винайдений Браунінгом в середині 1980-х років, процес заснований на внутрішньому згорянні горючої рідини (газ або розпорошена рідина) та кисень, що створюють полум'я з максимальною температурою від 2500 °C до 3000 °C. Цей процес відбувається при дуже високому тиску в камері згоряння, і полум'я виходить із металізатора через сопло малого діаметра, створюючи гіперзвуковий потік газу, що більш ніж у п'ять разів перевищують швидкість звуку. Розпилюваний матеріал може подаватися пристрій у осьовому напрямку або в радіальному напрямку через сопло, розплавлені частинки прискорюються слабкими газами до швидкостей, що наближаються до 1400 м/с. Подібно до покриття для детонаційних пістолетів, покриття отримані способом високошвидкісного напилення зазвичай мають більш високу щільність і містять менше ознак окислення в порівнянні зі звичайними покриттями для плазмового напилення [10].

Порошковий матеріал може подаватися в осьовому напрямку пристрій або в радіальному напрямку в сопло, і частинки прискорюються полум'яними газами до швидкостей, що наближаються до порівняння процесів HVOF, Торп і Ріхтер описують ряд конструкцій пальників HVOF і пов'язані з ними переваги і недоліки. Це порівняння також служить приблизним хронологічним посібником для розробки методів HVOF. Одним з ранніх розробок був пальник з водяним охолодженням горла, розроблений Смітом. Цей блок не мав окремої камери згоряння як такої, але працював за принципом підтримки зони згоряння в задній частині пальника. У цю ділянку порошок впорскують в осьовому напрямку і потім прискорюють у потоці

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

згоряння. Переваги були відзначені як зниження втрат тепла та висока теплова ефективність (приблизно 80%). Недоліки включали обмежений тиск у камері та, отже, швидкість частинок порошку [11].

1.5.4 Газополуменеве напилення.

Газополуменевий спосіб напилення є найстарішим з перерахованих, але досі не втратив своєї популярності через свою простоту. Для забезпечення роботи немає необхідності використовувати дорогі установки, необхідне лише підведення суміші пального газу та стисненого повітря. На відміну від інших способів він мобільний і має найвищі показники продуктивності та товщини покриття.

Газополуменеве напилення - це процес нагрівання металу, у вигляді дроту або порошку, до рідкого стану, і його перенесення струменем стисненого повітря на поверхню деталі. Напилюваний матеріал розплавляється в полум'ї газового пальника при спалюванні пального газу (зазвичай це ацетилен або пропано киснева суміш). Перенесення розплавлених частинок здійснюється повітряним струменем високого тиску. При перенесенні металу відбувається ударне зіткнення та деформація. Після чого переносні частинки металу набувають форми поверхні деталі і з'єднуються з нею [6].

Формування покриття послідовним напиленням розплавлених частинок, з високою швидкістю деформації та охолодження призводить до утворення між частинками, шарами, покриттям та підкладкою порожнин (Рисунок 1.10). Товщина покриття складає 1-2 мм. На поверхні металу, що захищається, утворюється пористе покриття, пористість може бути відкритою або закритою (локалізованою) [1].

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24



Рисунок 1.10 – Структура покриття отриманого газополуменевим напиленням

Відкрита пористість характеризується злиттям окремих пір, що пронизують всю товщину покриття, закрита пористість має замкнутий характер, не впливає на проникність покриття. Локалізація пористості досягається збільшенням товщини покриття. Зростання товщини покриття пов'язане зі збільшенням у ньому внутрішніх напружень і внаслідок цього зі збільшенням товщини покриття знижується міцність адгезійне зчеплення його з основою.

Газотермічне напилення найбільше раціонально застосовувати для нанесення захисних покриттів на великогабаритні вироби та конструкції в зібраному вигляді. Як матеріал покриття найчастіше застосовують цинк і алюміній, проте можна напилювати будь-які метали на підкладку з будь-якого матеріалу. Захисні властивості алюмінієвих покриттів, нанесених методом газотермічного напилення, визначаються наявністю наскрізної пористості, адгезійної міцністю зчеплення з основою, видом і ступенем агресивності середовища та здатністю металу покриття утворювати в умовах експлуатації важкорозчинні та щільні продукти корозії. У багатьох

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

агресивних середовищах (наприклад, у морській воді) електрохімічний потенціал алюмінію більш електронегативний, ніж сталь. Тому спочатку кородує покриття, його продукти корозії забивають пори і значною мірою уповільнюють процес корозії [6].

Значна шорсткість і поверхнева пористість покриттів, нанесених методом газотермічного напилення, призводить до накопичення на поверхні агресивних агентів, що сприяє прискоренню його руйнування. У зв'язку з цим такі покриття практично не застосовуються без додаткового просочення лакофарбовими матеріалами. Ці покриття забезпечують досить високу довговічність за рахунок великої товщини та гарної адгезії [11].

Кожен із способів унікальний, і дозволяє вирішувати певні завдання отримання покриттів на деталях різних призначень. Наприклад застосування плазмового та електродугового напилення дозволило технологіям зробити крок далеко вперед, завдяки можливості отримання на багатьох матеріалах тонких чистих шарів. Широке застосування вони знайшли у виробництві дискретних напівпровідникових приладів, мікросхем та іншої продукції електроніки, а також у космічній галузі (рисунок 1.11). Також даним способом можливо проводити модифікацію властивостей поверхні, використовуючи різні методи обробки [11].



Рисунок 1.11 – Деталі з покриттям, отриманим плазмовим напиленням.

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

При напиленні способом високочастотної металізації немає вигорання легованих елементів. Як енергія, що розплавляє матеріал, для нанесення покриття, використовується високочастотний індуктор, живлення якого здійснюється струмом 200-300 кГц. Переваги цього методу дозволили закріпитися в ремонтних відділеннях, так як мала пляма контакту струменя металізатора дозволяє точно наносити матеріал у дефекти або задираки з невеликою швидкістю. Таким способом відновлюють поверхні головок клапанів автомобілів, радіатори охолодження та ін (рисунок 1.12) [10, 11].



Рисунок 12 – Відновлення Г.Б.Ц. високошвидкісним напиленням

Переваги:

1. Напиленням можна наносити різні покриття на вироби із найрізноманітніших матеріалів.
2. Струмись металізатора має пляму напидання великої площі, що дозволяє значно збільшувати продуктивність при нанесенні покриттів на деталі великих площ. Крім того, металізатор знаходиться на відстані 100-200 мм від деталі, що дозволяє отримати покриття на поверхнях зі складними формами.
3. Напилення є найбільш ефективним способом відновлення поверхні зношених чи пошкоджених деталей. Максимально допустима товщина при цьому способі 2 мм.

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

4. При напиленні покриття деталь не зазнає значних змін температури, що зберігає її геометричні та механічні властивості на відміну від інших способів відновлення [12].

Процес напилення значно перевищує за продуктивністю та незначною трудомісткістю аналогічні способи отримання покриттів.

Провівши аналіз зазначених вище способів, було встановлено, що наносити алюмінієве покриття можливо всіма з перерахованих вище способами. Нанесення алюмінієвого покриття плакуванням та зварюванням вибухом, як було зазначено, має ряд істотних переваг перед іншими способами, це насамперед висока продуктивність та однорідність властивостей покриття. Промисловістю у повному обсязі освоєно виробництво біметалів, даним методом, проте, недолік плакування та зварювання вибухом – це обмежена номенклатура виробів.

Метод рідкофазного алітування досить продуктивний, але обмежується розмірами ванни, в яку необхідно помістити деталі.

Зважаючи на особливості кожного способу був обраний найбільш доцільний за економічними показниками, а також виходячи з продуктивності спосіб. Враховувалися і такі характеристики як: міцність зчеплення покриття з основним металом, наявність пористості в нанесеному покритті, однорідність хімічного складу покриття та якість покриття, простота нанесення покриття, можливість нанесення покриття на готові деталі.

Як способи нанесення були обрані газополуменеве напилення та алітування зануренням у розплавлений метал. Використання різних способів нанесення покриттів обумовлено порівнянням двох способів оскільки якісні визначальні для двох способів є однаковими.

Однак для широкого застосування газополуменевого напилення необхідно підвищити міцність зчеплення покриття з підкладкою і знизити відсоток пористості покриття. Для цього проведено аналіз способів попередньої та подальшої обробки поверхні та отриманого покриття.

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

1.6 Аналіз способів попередньої підготовки поверхні.

1.6.1 Абразивно-струменева обробка.

Забезпечення міцної взаємодії покриття з основним металів проводиться найрізноманітнішими способами. Використання обмежується лише геометричними параметрами самих деталей. Найпоширенішим методом підготовки поверхні стала абразивно - струменева обробка.

Сутність даного способу очищення поверхні від різних забруднень полягає в обробці поверхні струменем дрібних частинок (абразив), що подаються на деталь із сопла піскоструминного апарату (рисунок 1.13).



Рисунок 1.13 – Принципова схема абразивно-струминної обробки.

Абразив володіючи кінетичною енергією, що передається від тиску стисненого повітря, створеним в камері абразивно-струминного апарату при зіткненні з оброблюваною поверхнею знімає забруднень. Залежно від тиску

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

апарата можна проводити регулювання ступеня очищення поверхні. Дія абразивних зерен на поверхню нетривала і завдає ударно імпульсного характеру, що призводить не тільки до знімання забруднень, але і пластичної деформації елементарних ділянок поверхні. При сумарному взаємодії відбувається збільшення дифузії атомів поверхні чи її активація, і відбувається як механічне а й молекулярне зчеплення частинок [13].

Застосування абразивно - струменевої обробки знайшло досить широкий діапазон у найрізноманітніших галузях машинобудування. З його допомогою проводиться очисні роботи, видалення слідів механічної обробки (такі як точіння, фрезерування) і шліфування і полірування (рисунок 1.14).



Рисунок 1.14 – Очисна абразивно-струминна обробка

Не маловажним фактором великої популярності цього способу є збереження геометричних розмірів деталі після обробки

Деталі, що пройшли обробку абразивом, мають на своїй поверхні залишкову напругу стиснення від поверхневого наклепу після зіткнення з абразивом. Однак слід зазначити, що в напиленому покриття присутні залишкові напруження розтягування. Тим самим напруги стиску знижують фактор впливу втомної міцності. Причому при збільшенні значення залишкових напружень стиснення поверхні після обробки абразивом, тим

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

вище втомна міцність підкладки і покриття. Тому попередня підготовка абразивно - струменевим методом необхідна для підвищення міцності зчеплення при газополуменевому напиленні.

Використання різноманітних абразивних матеріалів дозволяє створювати на поверхні індивідуальний рельєф. Що складається в основному з рисок спрямованих в різні сторони або перетинають один одного, западин різної глибини (рисунок 1.15). У сумі вони дозволяють отримати шорсткість необхідну для міцного зв'язку частинок напилюваних газополуменевим методом.

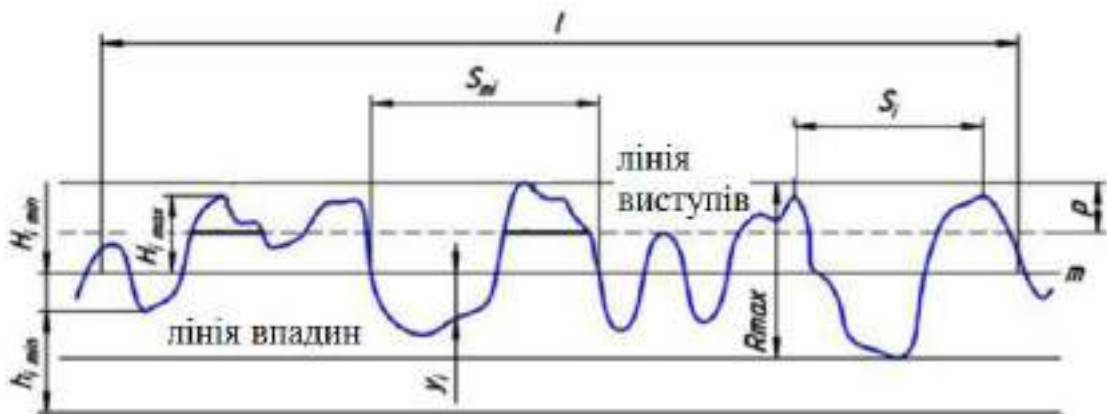


Рисунок 1.15 – Профіль деталі після абразивної обробки

Для активації поверхні перед напиленням рекомендується використовувати наступні абразиви.

Кварцовий пісок (рисунок 1.16) - найпоширеніший абразив у світі. Його переваги доступність і дешевизна. Однак для його використання необхідно застосовувати спеціальні системи пилоподавлення або виконувати роботи в камерах закритого типу. Недоліком даного абразиву є значна витрата, і неможливість повторного використання.

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31



Рисунок 1.16 – Кварцевий пісок.



Рисунок 1.17 – Нікель шлак

Нікельшлак (рисунок 1.17) – абразивний порошок, отриманий як результат переробки шлаку нікелеплавильного виробництва. Наслідком є його низька ціна. Нікельшлак на відміну від кварцового піску можна використовувати до 3 разів.

Електрокорунд (рисунок 1.18) - належить до надтвердих матеріалів. Склад електрокорунду на 99 % виконаний з оксиду алюмінію та лише 1 % домішок. За твердістю електрокорунд поступається на 1 одиницю за шкалою Моосу, лише алмазу. Його зерна мають ріжучі кромки гострої форми, що дозволяє їм самозаточуватись під час роботи, а отже дозволяє

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

використовувати його неодноразово. Крім того електрокорунд значно підвищує час обробки.



Рисунок 1.18 – Електрокорунд



Рисунок 1.19 – Сталевий дріб

В абразивно - струменевій обробці також знайшов застосування сталевий дріб (рисунок 1.19). При такій обробці, на поверхні відбувається не тільки очищення а й нанесення яскраво виражених насічок, за рахунок того, що гранули дробу мають форму ламаного багатогранника з гострими краями забезпечуючи тим самим високу адгезію частинок, що наносяться на неї.

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Висока твердість і форма граней дозволяє використовувати його багаторазово.

Однак висока вартість таких абразивів як електрокорунд та сталевий дріб не дозволяє використовувати їх повсюдно. І економічно не вигідно використовувати цей абразив у відкритих камерах чи майданчиках, без можливості використати вдруге.

1.6.2 "Рване" різьблення.

Ще одним не менш часто використовуваним методом підготовки поверхні під наплення покриттів є механічна обробка в токарному або фрезерному верстаті, з метою отримання на поверхні, складного профілю - "рваного" різьблення. Нарізання "рваного" різьблення дозволяє забезпечити достатню міцність зчеплення при низьких значеннях міцності втомі, одержуваних після утворення концентраторів напруги на поверхні. Виходячи з цього деталі схильні до умов циклічних навантажень необхідно додатково пластично деформувати, застосовуючи спосіб абразивної обробки. Так як воно надає виробам велику втомну міцність. А при спільній обробці, зниження міцності зчеплення компенсуватиметься за рахунок збільшення площі контакту частинок покриття та основного металу у профілі рваного різьблення. Нарізання "рваного" різьблення здійснюють для підготовки поверхні переважно деталей циліндричної форми. Однак невеликі плоскі поверхні також можна обробити в патроні токарного верстата, застосовуючи при цьому нарізання канавки з різьбовим профілем по спіралі Архімеда.

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

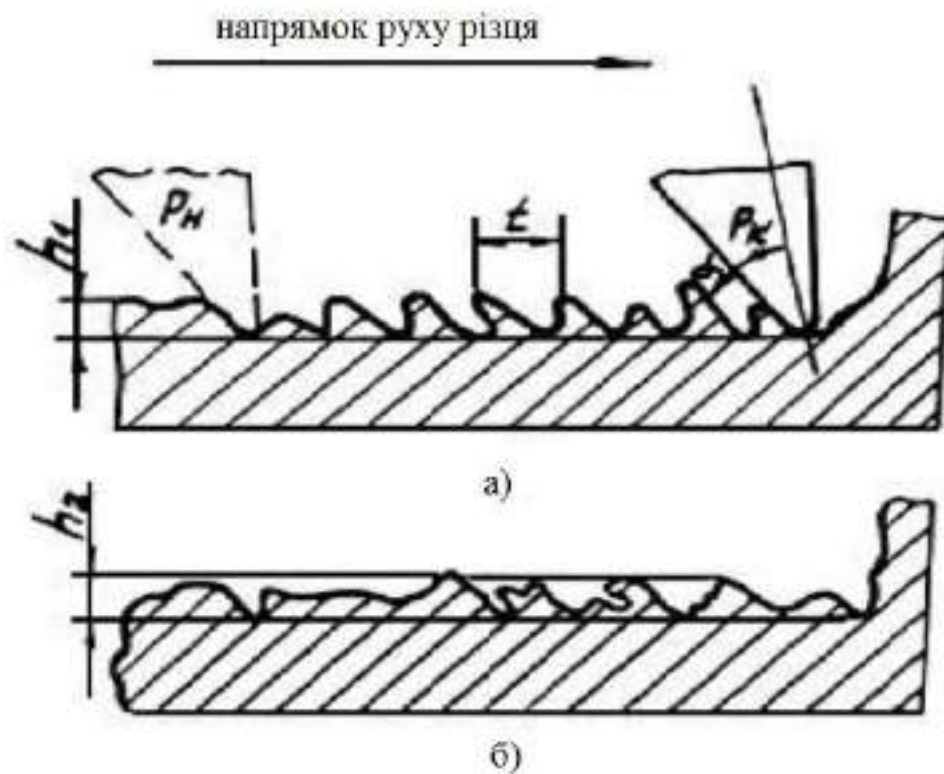


Рисунок 1.20 - Профілі "рваного" різьблення:

а-профіль, що забезпечує хороше зчеплення напиленого шару з основним металом; б-незадовільний профіль; P_n -становище різця на початку обробки; P_k - положення різця в кінці обробки; t - крок різьблення; α -кут нахилу осі різця щодо осі деталі; h_1, h_2 - глибина різьблення

Вибірка металу з метою одержання профілю "рваного" різьблення здійснюється різьбонарізним різцем основні геометричні параметри якого: кут при вершині - $55-60^\circ$, передній кут - 0° . Різець необхідно закріпити в різцетримач так що лінія ріжучої кромки була нижче осі оберткової деталі. Виліт різця забезпечити з максимально можливим, що дозволяє надійну фіксацію в пазі різцетримача. Тіло різця при значному вильоті не справляється з навантаженнями діючими на нього під час різання внаслідок чого вібрує різець і поверхня виходить не рівна з наявністю на ній задир (рисунок 1.21). Обробка проводиться за один раз на необхідну глибину, яка залежить від товщини шару, що напилюється і дорівнює $0,3-0,5$ мм. Крок

						ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			35

різьблення береться не більше 0,75-1,50 мм. Основні параметри нарізання "рваного" різьблення наведено у таблиці 1.1 [14].

Таблиця 1.1 – Основні параметри нарізування "рваного" різьблення.

Діаметр деталі, мм	Зміщення різця нижче центру, мм	Частота обертання шпинделя, хв. ⁻¹
10	1,0	31,4
15	1,5	22,0
20	2,0	15,7
25	2,5	14,0
30	3,0	10,0
40	3,0	7,8
45	3,0	7,3
50	3,5	6,3
75	4,0	4,7
100	4,5	3,2
150	5,0	2,1
250	7,5	1,4
300	9,0	1,0
350	11,0	0,9
400	13,0	0,7
450	15,0	0,6

Для запобігання забрудненню профілю обробленої поверхні нарізування проводиться без охолодження та мастила.

У місці з нарізанням "рваного" різьблення на поверхню рекомендується наносити насічки застосовуючи накатні ролики.

1.6.3 Накатування поверхні.

Накатка це процес формування на поверхні деталі, що обертається, певного профілю. Накатка здійснюється вдавлюванням жорсткішого ролика (рисунок 1.21) в тіло м'якшого, і внаслідок поверхневої деформації відбувається формування рисок, сітки, насічки або різьблення. У ході токарної накатки на поверхні відбуваються деформації, що сприяють утворенню наклепу і як наслідок збільшення втомної міцності.



Рисунок 1.21 – Накатка з двома косозубими роликами

Виконуючи послідовно дві операції буде проводитися накочування вершин різьблення, тим самим отримуючи замковий профіль (рисунок 1.22), і збільшуючи механічну міцність зчеплення покриття з основним металом. Для напилення найбільше підходить коса сітчаста накатка, крім того вона є найпростішою за виконанням. Врізання роликів здійснюється за два обороти деталі, при цьому рух поздовжньої подачі не здійснюється.

Крім цього розроблений досить перспективний метод попередньої обробки поверхні в якому спочатку нарізається рване різьблення, а потім за

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

допомогою накатного ролика проводиться формування напівзгинальної ділянки.

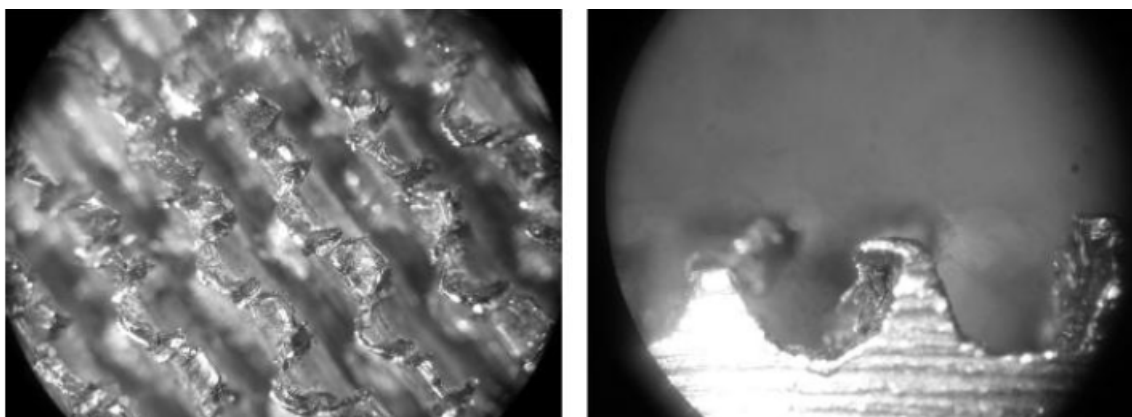


Рисунок 1.22 – Зовнішній вигляд профілю рваного різьблення після накатки

У цьому виконанні накатка являє собою цільний диск, на якому виконані конічні виступи в шаховому порядку, а по центру розташований наскрізний паз (рисунок 1.23).

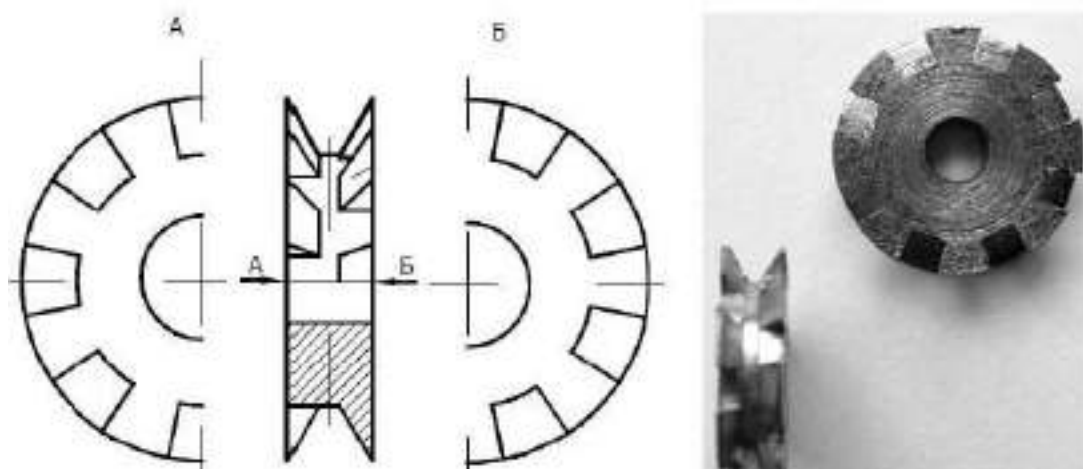


Рисунок 1.23 – Зовнішній вигляд накатки

Завдяки такій конфігурації, диск, розташовують на різьбленні так що профіль різьблення знаходився між виступами. У такому разі диск під час обертання деталі проходить у всій довжині профілю різьблення і з певним кроком утворюватиме напівгрибоподібні ділянки (рисунок 1.24).

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

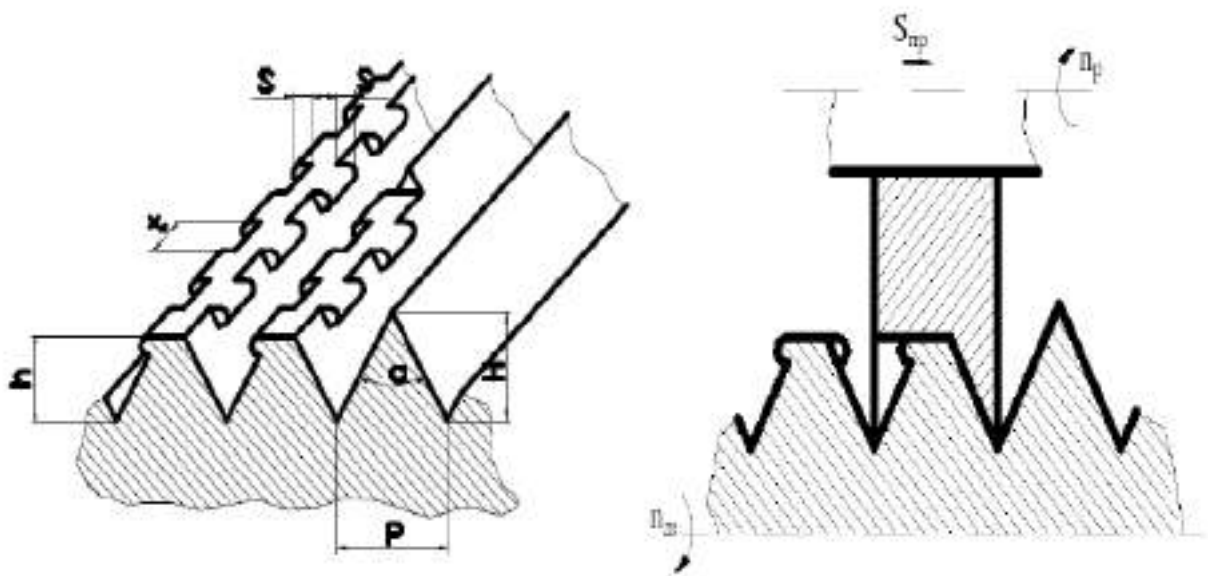


Рисунок 1.24 – Профіль рваного різьблення після накатки

Особливу увагу слід приділити установці подібної оправки з описаним вище диском в різцетримач токарного верстата, строго перпендикулярно до осі деталі, а прокатку необхідно виконувати на тих же режимах що і рвану різьблення. Значне підвищення міцності зчеплення відбувається тому, що вершини профілю різьблення пластично деформуються підвищуючи цим втомну міцність [15].

Усі перелічені способи ставилися до механічних, тобто процеси у яких різноманітним чином змінюється поверхню деталі.

1.6.4 Знежирення поверхні.

Знежирювачі вирішують чотири завдання:

1. Вони мають проникнути через поверхню забруднень.
2. Змочити поверхню металу.
3. Допомогти спливити, емульгувати або диспергувати жири та олії.
4. Піти і створити чисту поверхню, на якій водна плівка не розривається.

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

При цьому вони мають:

1. Не атакувати поверхню металу.
2. Не створювати небезпечних виділень чи аерозолів.
3. Бути легко змивається.

В даний час використовується в основному два типи знежирювачів - лужні та кислотні. Лужні знежирювальні склади в даний час розроблені досить добре і застосовуються в значній кількості технологічних процесів, де потрібне попереднє отримання чистої поверхні. За своїм хімічним складом всі лужні знежирювальні склади поділяються на три категорії: [15].

- на основі чистих лугів, при рН понад 12;
- високолужні, рН 10-13;
- низьколужні, рН 8-10.

Лужне знежирення.

Метод заснований на тому, що жири тваринного та рослинного походження в лужних розчинах розщеплюються за ефірними зв'язками, утворюючи розчинні у воді мила, а самі луги сильно знижують поверхневий натяг розчинів (підвищують змочуваність поверхні). Мінеральні жири (нафтові олії) не беруть участь у реакціях омилення, але за певних умов під впливом лужних розчинів можуть утворювати водні емульсії, і це полегшує їхнє подальше відокремлення від поверхні металу. Лужне знежирення також проводять при підвищеній температурі. Під впливом гарячого лужного розчину, що містить емульгатори та речовини, що знижують міжфазний натяг на межі розчин-жир і розчин-метал, відбувається розрив жирової плівки, зменшення її товщини, утворення окремих крапель олії та відрив їх від поверхні металу. При цьому одночасно відокремлюються дрібні механічні забруднення.

Знежирюючі лужні розчини зазвичай містять два-чотири лужні компоненти (джерела лужності), поверхнево-активні агенти, кондиціонери

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

води, інгібітори корозії. Як лужні компоненти застосовуються їдкий луг, аміни, кальцинована сода, фосфати та силікати [15].

Однак перевага лужних розчинів, пов'язана з швидким перетворенням на мила рослинних і тваринних жирів та ефективним емульгуванням мінеральних масел, зниженням міжфазного натягу, є і їх недоліком. Лужні розчини проникають глибоко під корозійні шари, дефекти зварного шва та інші місця; силікати можуть утворювати на металу тонкі плівки. Тому після стадії знежирення лужними розчинами обов'язково потрібно промивання. Звідси - проблема переробки великих обсягів розведених стічних вод, що робить підготовку поверхні значно громіздкішим процесом [12].

Травлення.

Основне завдання цієї технологічної операції - повне видалення з поверхні металу, що обробляється, навіть слідів оксидів. Хоча способи видалення жирових відкладень і мастил, що використовуються при знежиренні, дозволяють видалити і частину оксидів, все ж хімічні методи є основними методами отримання чистої поверхні. Кислоти для травлення металу зазвичай застосовуються у вигляді розчину, складеними на основі сірчаної, соляної, азотної або плавикової кислоти.

Травлення відбувається у чотири етапи:

Етап 1. Просочування окалини кислотою, незначне розчинення оксидів, анодне розчинення поляризованого металу на дні пор. Кислота проникає в несплошності та тріщини шару окалини і викликає розчинення нижнього шару окалини, найбільш збідненого киснем.

Етап 2. Поряд із повільним хімічним та електрохімічним розчиненням оксидів (за цей період видаляється лише 2-6 % оксидів) продовжується просочування окалини. Роль гальванічної пари сталь - окалина ще менша. Наприкінці етапу можливий початок відкладень продуктів корозії у порах та тріщинах оксидного шару.

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Етап 3 (головний). Він характеризується швидким електрохімічним розкладанням окалини. У середині етапу починає виділятися водень внаслідок взаємодії кислоти з металом, який розпушує та відриває окалину. За цей період видаляється переважна більшість окалини (68-72 %). Сталь розчиняється переважно внаслідок роботи пари 160 метал-окалина. Корозія сталі протікає з водневою деполяризацією макро катодів її поверхні. Інгібітори уповільнюють цей процес, але не процеси розчинення окалини.

Етап 4. Відбувається електрохімічне розчинення залишків окалини при значній катодній поляризації та відшаровуванні воднем магнетиту та гематиту.

Метал розчиняється переважно внаслідок роботи електрохімічних мікропор на його поверхні. Видаляються 25-30 % окалини, що залишилися [16].

Промивка.

Промивання після травлення є обов'язковою операцією, оскільки операція закінчує підготовку поверхні перед нанесенням покриттів, а поверхня дуже чутлива до кислотності розчину. Тому необхідно звести до мінімуму надходження речовин, що псують поверхню, а також постійно або періодично зменшувати вміст основних речовин, що заважають, проникають з ванн травлення (соляної кислоти та іонів двовалентного заліза). Основним методом боротьби з ними є організація ефективного промивання.

Також промивання може використовуватися як окрема процедура підготовки поверхні в тому випадку, коли поверхня деталі вже очищена, від окалини, вогнищ корозії та інших забруднень. Для цього використовуються різні розчинники такі як метил ацетат, амілацетат, ацетон, а також розчинники 646 і 647 [16].

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

1.6.5 Попередній підігрів.

Попередній підігрів це проводиться перед будь-яким процесом нанесення покриття підвищення температури основного металу до необхідного значення, що називається температурою попереднього підігріву. При цьому температура підвищується локально чи всього виробу. Підігрів може проводитись як перед нанесенням покриття. Так і одночасно, як правило, це застосовується для масивних деталей, там де місце нанесення покриття має невелику ділянку взаємодії і низьку швидкість переміщення по периметру деталі. З іншого боку зберігається міжшарова температура, тобто. температура основного металу в проміжок часу між першим і останнім проходом не повинна опускатися нижче температури попереднього підігріву [17].

Забезпечує термічну активізацію поверхні деталі перед напиленням або металізацією. Напилення на поверхню деталі близького за складом металу, наприклад сталь на сталь, обмежує кількість теплоти, що передається поверхневому шару частиною, що напилюється. Отримана при цьому міцність зчеплення часто невисока, оскільки в зоні контакту необхідна температура нагрівання не досягається. Для збільшення тепlopокладання в зоні контакту поряд з нагріванням присадочного матеріалу використовують додатковий попередній нагрівання поверхні деталі. Слід враховувати той фактор, що підігрів вуглецевих сталей без захисного середовища сприяє активному окисленню поверхні. Це відбувається і при кімнатних температурах, проте процес протікає досить довго, тому людське око не здатне відразу помітити зміни. Шар оксидної плівки який можна розглянути без спеціальних пристроїв дорівнює 2-5 нм.

Оксидні плівки на поверхні ускладнюють процес взаємодії частинок розплавленого металу, перенесеного металізатором. І на поверхні деталі вони можуть бути наслідком сильного перегріву, оскільки перевищення критичної

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

температури призводить до активного розвитку оксидної плівки. До такої поверхні розплавлені частки не приєднуються. Тому що активувати поверхню з оксидного шару необхідно витратити значно більше енергії, ніж при активації чистого металу, а отже, необхідно в багато разів збільшувати температуру в контактi. Тому термічна активація у звичайних умовах напилення (без захисної атмосфери) за рахунок підігріву підкладки обмежена вузьким діапазоном температур.

Використання супутнього або подальшого оплавлення, що забезпечує одержання деякого обсягу розплавленого металу напиленому шарі. При напиленні контакт частинок між собою та з поверхнею деталі здійснюється на відносно невеликих за площею ділянках, що є однією з головних причин пористості отриманого шару. Вплив на такий шар навіть порівняно низьких динамічних навантажень може призводити до його відшарування. Для поліпшення зчеплення напилених покриттів і підвищення їх міцності до рівня, близького до міцності наплавлених шарів, напилену поверхню можна додатково оплавити як в процесі нанесення шару, так і після його формування [13].

Вибір способу попереднього підігріву суворо індивідуальний і розглядається з таких показників як товщина деталі, її габарити, максимальна температура підігріву та економічна ефективність від використання наявного обладнання.

Наприклад, невеликі вузли найефективніше нагрівати в печі. Однак великі конструкційні компоненти часто вимагають застосування рядів нагрівальних пальників, електричних радіаторів пластинчастих або індукційних або променистих нагрівачів.

Під час підігріву вуглецевої сталі висока точність зазвичай не потрібна. Хоча, як і раніше, важливо, щоб виріб досяг мінімальної температури, цю температуру можна без шкоди перевищити приблизно на 40 °С.

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Як відомо, для створення міцного адгезійного зв'язку покриття, що напилюється, і основного металу, з поверхні деталі необхідно видалити всі види забруднень. Вони поділяються на два основні види; органічні та неорганічні. Для видалення більшості забруднень застосовується механічне очищення, щіткою або тканиною в миючому розчині.

На даний момент існує велика кількість способів і засобів для очищення поверхні, вибір якого залежить часто від економічної складової і необхідної чистоти одержуваної поверхні.

1.7 Дифузійний відпал.

Алюмінієві покриття нанесені на сталь газополуменевим способом, містять близько 25-30 % пор та оксидних включень.

Термічна обробка дозволяє значно зменшити або повністю виключити небажані включення. Однак у процесі термічної обробки сталей з нанесеним на них покриттям алюмінію, крім перебудови покриття, так само відбувається проникнення алюмінію в залізо. Цей процес називається розчинністю, і залежно від температури нагрівання відбуваються фазові перетворення. Розчинність заліза в алюмінії незначна (0,03 ат. % при евтектичній температурі 654 °С), розчинність алюмінію в залізі в 600 разів вище і становить приблизно 32 %. 5 ат. % Al) При вмісті до 1,8 % заліза і температурі 654 °С утворюється евтектика Al + FeAl₃. FeAl₂ (67,59 ат. % Al), FeAl (45,2 ат. % Al) та інші [18].

Механізм появи та зростання інтерметалідного прошарку можна розділити на кілька етапів (рисунок 1.25):

– взаємна дифузія контактуючих металів з різною швидкістю; виникнення локально пересичених твердих розчинів навколо дефектів кристалічної будови з боку алюмінії;

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

– утворення перших центрів нової фази у дефектних ділянках з підвищеною концентрацією дифузного елемента з боку алюмінію (рисунок 1.25, б);

- Поперечне зростання інтерметалідної фази вздовж площини стику з боку алюмінію (рисунок 1.25, в);

– змикання та нормальне зростання першого шару інтерметалідного прошарку з боку алюмінію (рисунок 1.25, г);

- утворення перших центрів другого інтерметалічного прошарку, продовження нормального зростання першого інтерметалічного прошарку з боку сталі (рисунок 1.25, д)

- Змикання другої інтерметалічної фази в результаті поперечного зростання з боку сталі (рисунок 1.25, е).

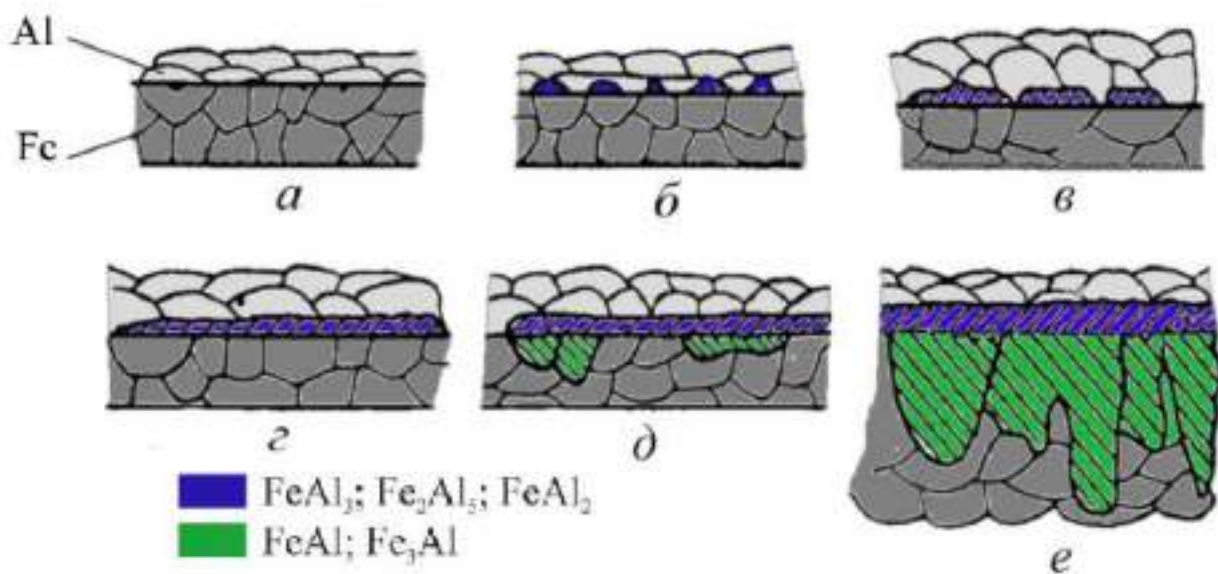


Рисунок 1.25 – Схема утворення та зростання інтерметалідів при взаємодії Al з Fe

Компоненти системи Fe-Al мають найпростіші структури: α -Fe – кубічна об'ємно-центрована, $a = 2,8664 \text{ \AA}$; γ -Fe – кубічна гранецентрована, $a = 3,656 \text{ \AA}$.

Незважаючи на порівняно близькі величини періодів, ізоструктурні компоненти не утворюють безперервний ряд твердих розчинів. На α -модифікації заліза базується обмежений ряд твердих розчинів з максимальним вмістом алюмінію, рівним приблизно 53 ат. в результаті перетворення, що полягає в упорядкуванні розподілу атомів заліза і алюмінію, утворюються дві найбагатші залізом сполуки (рисунок 1.26) - FeAl і Fe³Al з наступними структурами: FeAl - кубічна примітивна структура типу CsCl, $a = 2,903 \text{ \AA}$; Fe₃Al - кубічна гранецентрована DO₃ (BiFe₃), $a = 5,78 \text{ \AA}$. При 552 °C і 26,8 ат. % Al реалізується вироджене перитектоїдне перетворення $\alpha + \alpha_2 \leftrightarrow \text{Fe}_3\text{Al}$; [18].

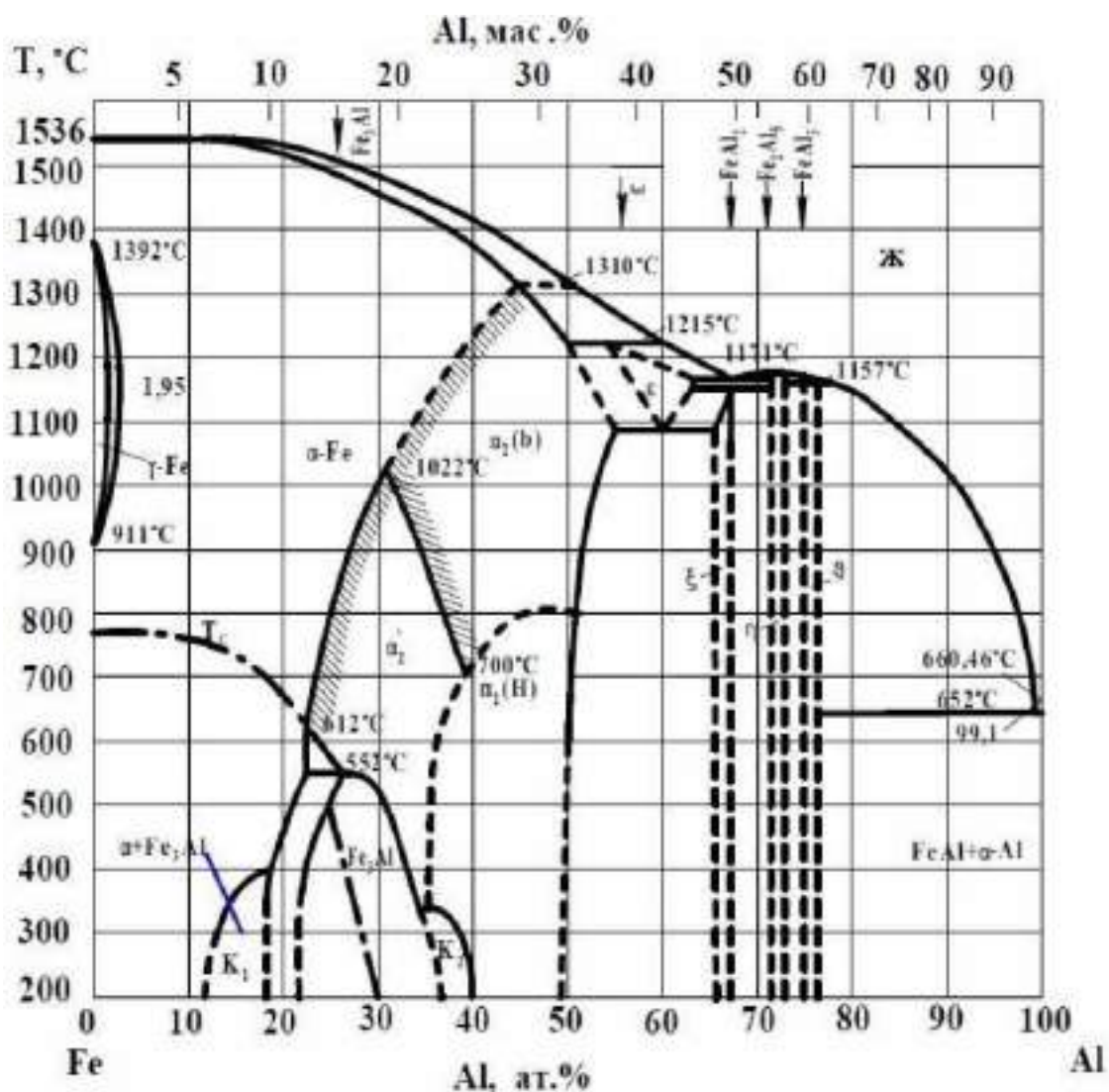


Рисунок 1.26 – Діаграма стану залізо - алюміній

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За даними [19], упорядкована структура типу Fe_3Al утворюється в сплавах, що містять від 25 до 34 ат. % Al, після повільного охолодження. Після загартування цих сплавів від температури 600 °C і вище виникає структура $FeAl$. Процес упорядкування характеризується зміною ряду фізичних властивостей, зокрема нижчим значенням точки Кюрі, зміною періоду кристалічної решітки при кімнатній температурі в залежності від вмісту алюмінію. в області невисокого вмісту алюмінію утворюється також нестабільна фаза Fe_2Al з гексагональною структурою типу $MgZn_2$ (фаза Лавеса), $a = 4,76 \text{ \AA}$; $b = 7,70 \text{ \AA}$; $a/c = 1,62$.

При вмісті алюмінію, що перевищує 50 ат. %, в системі Al-Fe утворюються фази $FeAl_2$, Fe_2Al_5 , $FeAl_3$ (Fe_4Al_3) і метастабільні сполуки $FeAl_6$. Структура $FeAl_6$ - ромбічна з періодами решітки $a = 7,440 \text{ \AA}$; $b = 6,464 \text{ \AA}$. Структура Fe_4Al_3 ($FeAl_3$) – одна з найскладніших структур інтерметалевих сполук, що має моноклінну елементарну комірку з періодами $a = 15,489 \text{ \AA}$; $b = 8,0834 \text{ \AA}$; сполуки Fe_2Al_5 , що містить більше заліза, ніж $FeAl_3$, ромбічна з параметрами $a = 7,68$, $b = 6,40$, $c = 4,20$ [19].

Особливості будови і параметрів кристалічної решітки багато в чому визначають механічні та експлуатаційні властивості сполук системи Fe-Al. Так, при відношенні числа валентних електронів до атомів у решітці, що дорівнює 3/2, інтерметалічні сполуки утворюють β -фази з ОЦК структурою або зі складними кубічними ґратами. До таких сполук відноситься сплав $FeAl$, який має металеві властивості, проте участь d-електронів у міжатомному зв'язку зумовлює появу ковалентної складової.

Інтерметаліди цього типу характеризуються високою стійкістю проти окислення та газової корозії, що дозволяє використовувати їх як жаростійкі матеріали та покриття [19].

Присутнє в алюмінії залізо знаходиться у вигляді хімічних сполук, що визначає механічні властивості сплавів залізо-алюміній. Залізо призводить до

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підвищення твердості та міцності сплаву та різкого зниження його пластичності (рисунок 1.27). Залізоалюмінієві сплави із вмістом заліза 8...10 мас. % мають незначну пластичність, а ще більш леговані залізом дуже крихкі.

Властивості сплавів системи алюміній-залізо дуже різні (рисунок 1.28).

Мікротвердість сплавів системи Fe-Al незалежно від їх фазового складу значно вища, ніж у алюмінію та заліза. Максимальну мікротвердість мають фази $FeAl_3$; $FeAl_2$; Fe_2Al_7 ; Fe_2Al_5 . Значення мікротвердості цих фаз коливається в інтервалі 9,6...11,5 ГПа. Для фази $FeAl$ значення мікротвердості сягає 6 ГПа, а фази Fe_3Al – 2,7 ГПа.

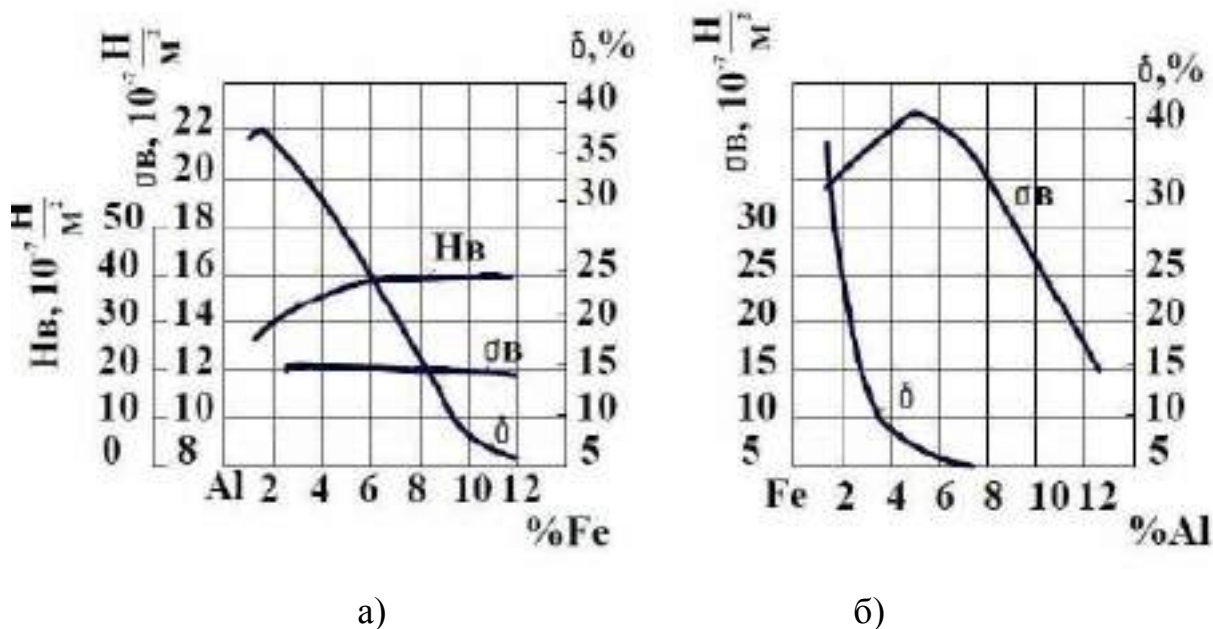


Рисунок 1.27 – Зміна механічних властивостей алюмінієво-залізних сплавів:
 а) механічні властивості залежно від вмісту заліза; б) механічні властивості залежно від вмісту алюмінію.

Найбільшою твердістю 11,5 ГПа при кімнатній температурі має з'єднання Fe_2Al_5 . Твердість всіх інтерметалідних фаз зменшується зі зростанням вмісту заліза. Зі збільшенням температури мікротвердість сполук падає. Точка перегину у значеннях мікротвердості лежить у межах

(0,3...0,5)тпл. Для фаз $FeAl_3$ і $FeAl_2$ втрата міцності настає при 0,5 тпл., фаза Fe_2Al_5 втрачає міцність при 0,45 тпл, фаза $FeAl$ - при 0,33тпл. А Fe_3Al відбувається поступове зниження твердості. Наведені дані (рисунок 1.28) пояснюють хорошу деформованість досліджуваних матеріалів за підвищених температур. Висока твердість деяких фаз характеризує їхню високу абразивну зносостійкість.

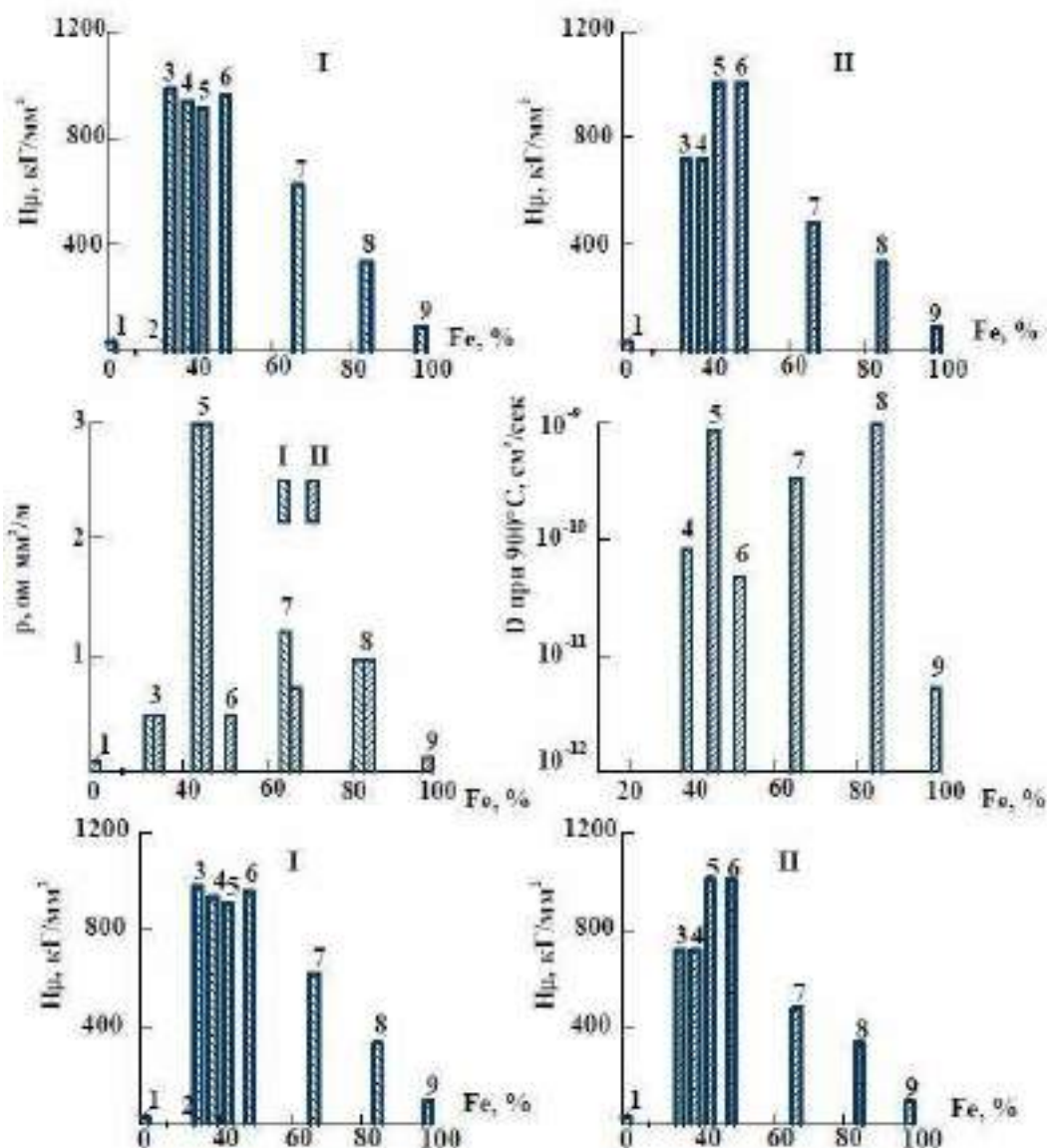


Рисунок 1.28 – Властивості інтерметалевих фаз системи залізо-алюміній:
 I – литий стан; II – стан після відпалу; 1 – Al; 2 - Al + FeAl₃; 3 – Fe₂Al₇; 4 – FeAl₃; 5 – Fe₂Al₅; 6 – FeAl₂; 7 – FeAl; 8 – Fe₃Al; 9 – Fe

Міцнісні властивості цих фаз змінюються практично протилежно твердості. Найбільшою міцністю при розтягуванні володіють фази Fe_3Al ; $FeAl$, а найменшої - фази $FeAl_3$; $FeAl_2$; Fe_2Al_7 ; Fe_2Al_5 . Міцність Fe_2Al_7 ; $FeAl_3$ і Fe_2Al_5 становить відповідно 18, 15 і 17.

Таблиця 1.2 – Основні види інтерметалідних з'єднань системи Feх-Alу та їх властивості

Інтерметалід	Тип кристалічної ґратки	Вміст алюмінію, % ат.	Мікротвердість, НВ	σв, МПа	
				розтяг	стиск
$FeAl_3$	Моноклінна	74,5... 76,5	1050	15	45
Fe_2Al_5	Орторомбічна	70...73	1150	17	75
$FeAl_2$	Триклінна	66...66,9	910	45	60
Fe_2Al_3	Кубічна	58...65	-	-	-
$FeAl$	DO3	23...55	530	> 100	980
Fe_3Al	Кубічна об'ємно-центрована	23...34	400	> 100	90

Найменша міцність при стисканні спостерігається у з'єднання $FeAl_3$ - 16 МПа. Найбільш високою міцністю при стисканні мають фази Fe_3Al ; $FeAl$; Fe_2Al_7 . Висока міцність 190 МПа при стисканні фази Fe_2Al_7 пояснюється наявністю м'якого міжзеренного прошарку алюмінію. Однак руйнування з'єднання Fe_2Al_7 протікає тендітно – на діаграмі практично не реєструється майданчик плинності. Значно крихкі та фази $FeAl_3$, Fe_2Al_5 , $FeAl_2$ (таблиця

1.2). Зі збільшенням вмісту заліза у сплавах FeAl і Fe₃Al зерна набувають більш правильної форми і помітно збільшуються у вигляді [19].

Слід зазначити, що всім інтерметалідам системи залізо-алюміній притаманний крихкий характер руйнування. Крихкість цих сполук пояснюється їх складною кристалічною будовою, наявністю ковалентної та іонної зв'язків. При деформації подібних сполук ковзання швидко припиняється і не виникає при подальшій деформації смуг. викликає появу смуг ковзання, кристалографічно обмежено, що і призводить до тендітного руйнування.

Незважаючи на крихкість при низьких температурах, при високих температурах інтерметалеві з'єднання певною мірою стають пластичними.

Можливість промислового використання як спеціальних покриттів сплавів на основі алюмінію заліза багато в чому обумовлена наявністю у них при кімнатній температурі (у деяких випадках і при мінусових температурах) певної мінімальної пластичності, яка відповідає достатньому рівню їх в'язкості руйнування. Найбільшої уваги заслуговують упорядковані інтерметаліди на основі Fe₃Al, що відрізняються високою жаростійкістю, зокрема в сірковмісних середовищах.

В ході проведеного аналізу способів підвищення адгезійних показників алюмінієвих покриттів нанесених газополуменевим напиленням перевага надається таким способам, як абразивна обробка, нарізування рваної різьби та попередній підігрів, крім цього поверхню, так само необхідно знежирювати. Для усунення в покритті пор і для надання алюмінієвим покриттям підвищеної корозійної стійкості, окалиностійкості та зносостійкості вирішено піддавати сталь з алюмінієвим покриттям відпалу дифузійному що дозволить сформувати покриття на основі інтерметалідів алюмінію.

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ АЛЮМІНІЄВИХ ПОКРИТТІВ.

2.1 Методика дослідження покриттів, нанесених методом газополуменевого напилення.

Дослідження процесів газополуменевого напилення алюмінію на сталь, проводилися з використанням установки дротяного газополуменевого металізатора Плакарт FS-15 (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Металізатор Плакарт FS-15

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Для стабілізації просторового положення металізатор жорстко кріпився на спеціально сконструйованій колоні (рисунок 2.2), з можливістю переміщення у трьох площинах. Вертикальне переміщення здійснюється електроприводом через гвинтову пару. Переміщення у горизонтальній площині здійснюється вручну. Основа колони позиціонується на площі 1,5 м². Колона дає можливість переміщати металізатор по осі X-1200 мм, Y-1800 мм, Z-1200 мм, а також дозволяє надати необхідний кут напилення матеріалів шляхом нахилу металізатора. Таким чином, відбувається регулювання основних параметрів напилення: відстань до деталі, кут введення газо полум'яного потоку розплавлених частинок. Часткова механізація і жорстке закріплення металізатора дозволяє отримувати однорідніші за властивостями і рівномірні за товщиною покриття [20].



Рисунок 2.2 – Загальний вид установки для газополуменевого напилення з металізатором Плакарт FS-15.

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Подача необхідних газів для роботи, таких як пропан, кисень, стиснене повітря, здійснювалася в блоці газопідготовки. Що складається з:

- шланг пакету
- редукторів БКО-50-5-АЛ і БПО-5-СВ-АЛ, призначених для зниження та регулювання тиску газу, що надходить з балона, а також підтримки робочого тиску газу.
- ротаметра марки GTV, необхідних для регулювання об'ємної витрати пального газу та кисню
- редуктор осушувач Рнеумах, необхідний для відцентрового очищення повітря від парів вологи та компресорної олії, а також регулювання тиску стисненого повітря в системі.

Нагнітання та подача стисненого повітря здійснювалася високопродуктивним компресором гвинтового типу Comprac A-1108.

Нанесення алюмінієвого шару проводилося на зразки зі сталі 20. Зразки виконані двох типів і являють собою пластину розмірами 35x35 мм (Рисунок 2.3) і "шайбу" діаметром 70 мм (рисунок 2.4) товщина рівна для обох зразків 14 мм, в центрі виконано отвір , Діаметром 20 мм, для ковзної посадки циліндричного штифта, який згодом відривається в розривній машині для визначення зусилля відриву. Таке виконання необхідне для отримання найбільш точних даних про адгезійну взаємодію матеріалу підкладки (сталі 20) з алюмінієвим шаром, що напильюється.

Для напилення алюмінієвого шару використовувався дріт СвА5 згідно з ГОСТ 7871-75 діаметром 3,15 мм. Нанесення покриттів проводилося протягом 45 секунд. Металізатор при цьому розташований строго-перпендикулярно щодо центру деталей на відстані 130 мм від зрізу сопла. Напилення на всі зразки виконувалось в одному режимі (таблиця 2.1). Режим був встановлений експериментально, при якому основні критерії, такі як колір полум'я, довжина дроту виступає від зрізу сопла металізатора до зони

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

розплавлення, а так само перенесення розплавлених частинок відповідають рекомендаціям заводу виробника [20].



Рисунок 2.3 – Зовнішній вигляд зразка для дослідження міцності зчеплення покриття та основного металу

Таблиця 2.1 – Режим напилення алюмінію на сталь

Тиск повітря, МПа	Тиск кисню, МПа	Витрата кисню, л/хв	Тиск пропану, МПа	Витрата пропану, л/хв	Швидкість подачі дроту, м/сек
0,5	0,7	35	0,2	26	0,6

Підготовка зразків до нанесення на їх поверхню алюмінієвого шару є сукупністю різних технологічних операцій, що виконуються у певній послідовності. Для активації поверхні і створення розвиненого рельєфу використовувалися способи:

Нарізання "рваного" різьблення або спіралі Архімеда (залежно від геометричних параметрів оброблюваних зразків) (рисунок 2.4, в) Складну форму рельєфу поверхні деталі нарізали на токарно-гвинторізному верстаті 1К62, різьбонарізним різцем з маркою напаяної твёрдосплавної пластини. Різець розташовувався нижче за осю деталі на 2-3 мм, з максимальним

вильотом, можливим для його жорсткої фіксації в різцетримачі. Частота обертання відповідала 60-80 оборотів за хвилину, швидкість різання 8-10 метрів за хвилину. Різьблення нарізається за один прохід без рідини, що охолоджує, висота профілю 0.6-0.8 мм [16].

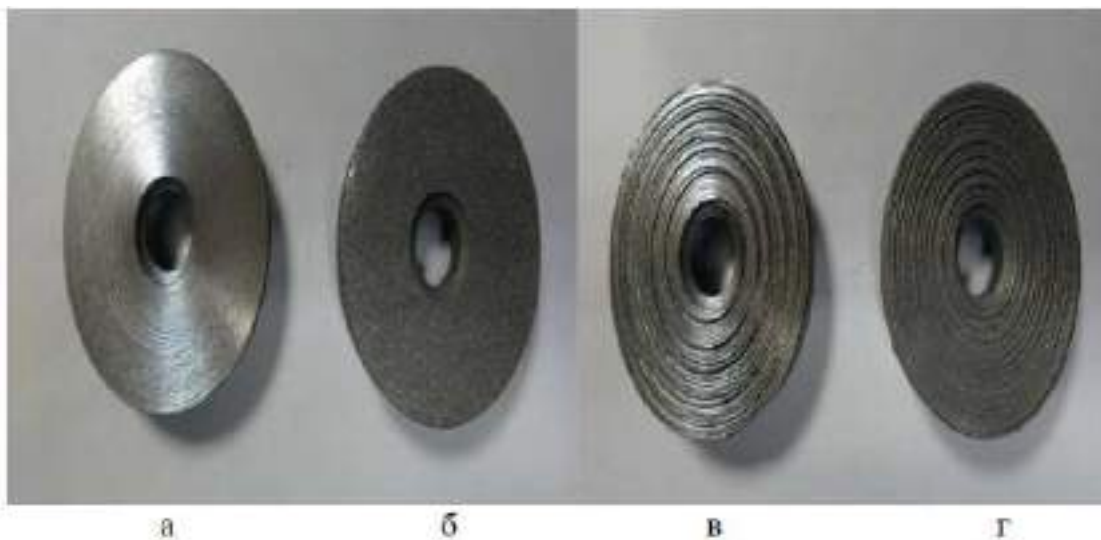


Рисунок 2.4 – Зразки із сталі 20 з різним характером підготовки поверхні:
 а) механічна обробка; б) абразивно-струминна обробка нікельшлаком; в) "рване різьблення", нарізана по спіралі Архімеда; г) з "рване різьблення" і подальша абразивно-струменева обробка нікельшлаком

Механічна обробка, за якої поверхня вважається умовно рівною. Вона виконувалася на зразках другого типу і здійснювалася на токарному верстаті.

Абразивно-струминна обробка. Як абразив використовувалися два матеріали. Кварцовий пісок має твердість за шкалою Моосу 5 одиниць, і нікельшлак (рисунок 2.4, б), з величиною фракції однієї гранули 0.5-1.5 і твердістю за шкалою Моосу 6-7 одиниць, яка дозволяє отримувати шорсткість поверхні $20-45\text{м}^3$. Обробка проводилася з використанням

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

піскоструминного апарату DBS-100, подача повітря здійснювалася компресором Comrag A-1108.

Хімічний спосіб для видалення зажирених і масляних шарів з поверхні. Поверхня зразків оброблялася щіткою змоченою поширеним знежирювачем металу-ацетоном.

Термічна обробка – попередній підігрів. Підвищення температури основного металу до необхідних значень, при яких залишкові напруження в покритті буде істотно меншою за внутрішні сили, що діють на нього, здійснювалося нагріванням у печі муфельної з вертикальним завантаженням Nabertherm Top 45 ECO (рисунок 2.5). Час витримки був однаковий всім зразків 1 годину, а температура витримки варіювалася від 100 до 500°C.

Міцність зчеплення нанесеного алюмінієвого покриття з основним металом оцінювалося у випробувальній установці компанії Time Group Inc (рисунок 2.5) у розривній машині Time WAW-1000C.



Рисунок 2.5 – випробувальна установка Time Group Inc

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Перед випробуванням на розрив, зразки, що пройшли нанесення покриття, необхідно підготувати. Так як виступаючої частини штифта недостатньо, для надійної фіксації в губках розривної машини, до тильного боку штифта кріпили Т подібний болт, від якого передавалося навантаження для випробування, від верхніх санчат із затиснутою в ній технологічній пластині, а пластина з нанесеним покриттям закріплювалася в нижніх через губки машини (рисунок 2.6). Фіксація захоплень відбувалася із зусиллям у 400 ньютонів.

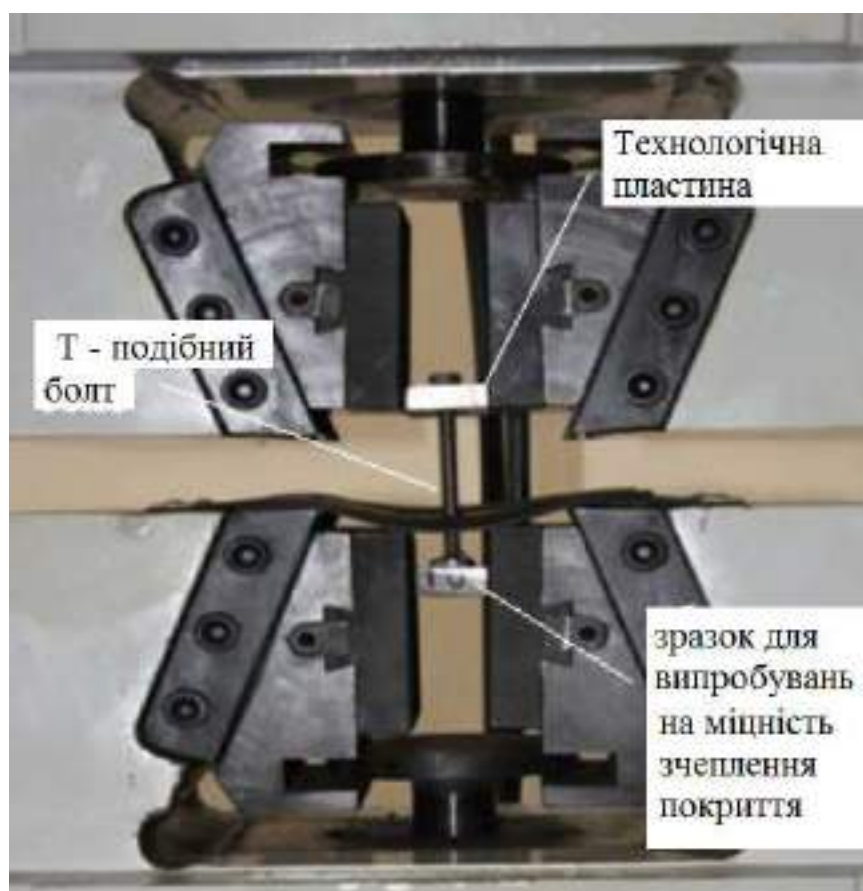


Рисунок 2.6 – Зразок у розривній машині

Фіксація та відображення даних забезпечується програмним забезпеченням установки. У ході випробування дані реєструються у вигляді графіка залежності (рисунок 2.7), навантаження (kN) від часу (с). Для подальшої оцінки в міцності зчеплення покриття з основою з графіка

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

використовувалися дані про пікове навантаження, при яких відбувається руйнування.

Розрахунки проводилися з виразу (2.1):

$$\sigma_c = F / (S_o - S_c) \quad (2.1)$$

де: F зусилля відриву напиленого шару від основного металу, Н; S_o - площа зразка, мм^2 ; S_c - площа напилюваної поверхні відривного стрижня, мм^2 .

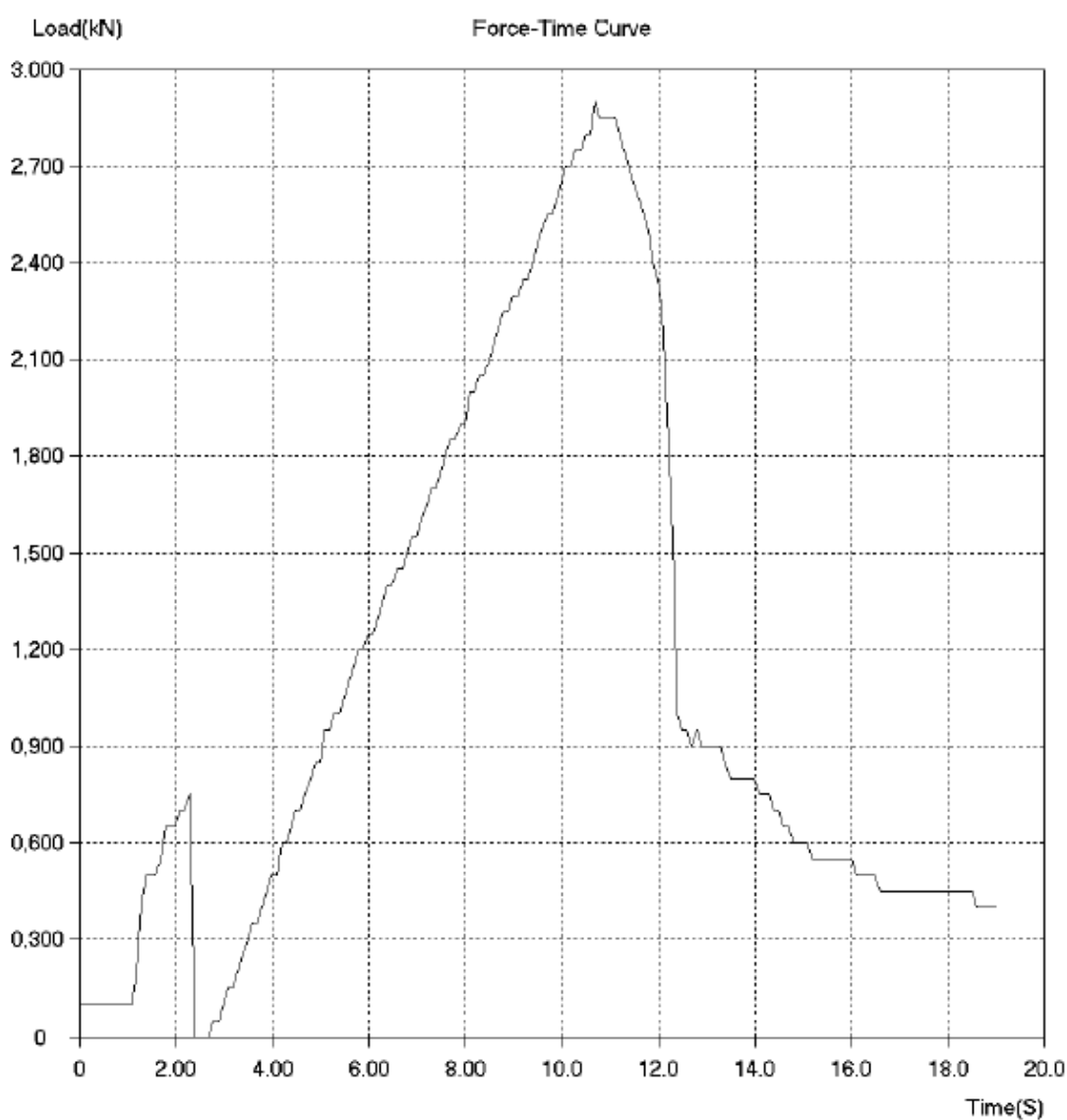


Рисунок 2.7 – Зовнішній вигляд графічного відображення даних.

2.2 Методика дослідження алюмінієвих покриттів, отриманих рідкофазним алітуванням.

Дифузійне алітування здійснювалося в тиглі (рисунок 2.8) з розплавленим алюмінієм наступного складу 99 % відсотків маси алюмінію технічної чистоти А85 ГОСТ11069-2001. Алюміній розплавляли печі в печі Nabertherm Top 45 ECO. Найбільш важливим технологічним фактором при алітуванні є температура, під час дослідження обраний діапазон від 700 до 900 °С. Так як саме від неї залежить структура матеріалу, час прогріву деталі. Перед зануренням у розплавлений алюміній, з поверхні забирається шлам до чистого дзеркала ванни, зразки завантажуються так, щоб вони не виступали над поверхнею.



Рисунок 2.8 – Пекти Nabertherm Top 45 ECO, тигель для плавки алюмінію.

Зразки для алітування є пластинами розмірами 40x40x1,5 мм, по краях яких виконані 4 отвори, для стягування болтами М5. По центру пластини

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

приварюється болт, необхідний подальшого дослідження міцності зчеплення, методом розриву (рисунок 2.9). Складання зразка здійснюється після підігріву заготовок у печі до 150 °С та нанесення на них активуючого флюсу "NOCOLOC" необхідного для активації поверхні, видалення оксидної плівки з розплавленого алюмінію. При складанні між зразками встановлюються пластини для регулювання зазору, товщиною 0,5 мм, він необхідний для заповнення порожній простір рідким алюмінієм. Під час занурення заготовок, їх положення строго вертикальне, воно зберігається під час виймання з тигля і деякий час після того, щоб розплавлений алюміній не витік із зазору між пластинами і встиг кристалізуватися, з'єднавши їх між собою. Після остигання зразків механічним шляхом обрізаються краї розмірів пластин відповідних 35x35 мм від центру. Далі проводиться випробування на розрив за технологією, описаною в пункті 2.1.

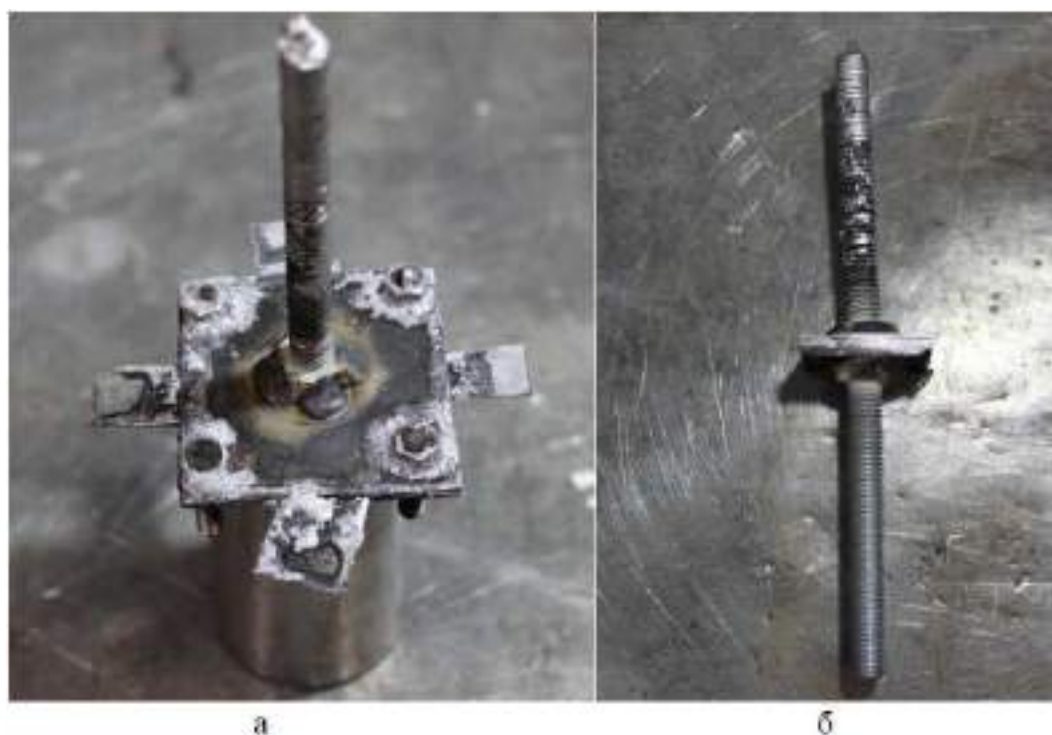


Рисунок 2.9 – Зовнішній вигляд зразків для алітування:
зразок а) після занурення; б) перед випробуванням на розрив.

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

2.3 Методика дослідження алюмінієвих покриттів, отриманих газополуменевим напиленням з подальшим дифузійним відпалом.

Для дослідження процесів формування інтерметалідних покриттів системи залізо алюміній було обрано підкладку. Підкладкою є труби діаметром 57 мм, з товщиною стінки 3,5 мм зі сталі 20 (рисунок. 2.10). Методом газополуменевого напилення виконували нанесення покриття. Попередньо труба проходила всі стадії підготовки поверхні і попереднього підігріву. Нанесення алюмінію проводилося на режимах зазначених у таблиці № 3.1. Після чого труба з покриттям розпилювалася на стрічково-пильному верстаті спочатку на кільця товщиною 10 мм, а потім на 4 рівні сегменти.



Рисунок 2.10 – Зразки після нанесення алюмінієвого покриття.

Отримані сегменти піддавалися термічній обробці, яка проводилася при різних температурах від 400 до 800 °С включно. Крім температури

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

змінювався також параметр тимчасового діапазону знаходження зразків у печі, він становив від 1, 2 і 5 годин.

Подальші дослідження структури та елементного складу металу зон напиленого шару виконувався на поперечному перерізі сегмента термообробки.

Для вивчення застосовувався метод растрової електронної мікроскопії (РЕМ), який ґрунтується на реєстрації різних типів сигналів, що генеруються у зразку при скануванні його поверхні сфокусованим електронним зондом. Вторинні, відбиті електрони, рентгенівське випромінювання та інші типи сигналів несуть інформацію про структуру, фазовий та хімічний склад зразка.

Рентгеноспектральний аналіз проводився на комплексі скануючого електронного мікроскопа LEO 1455 VP (ZEISS, Німеччина) з блоками рентгенівського енергетичного спектрометра INCAEnergy-300 і рентгенівського хвильового спектрометра INCASave-500 на комплексі, що складається з автоемісійного растрового мікроскопу високої роздільної здатності Zeiss SUPRA 55VP.

Послідовність проведення вимірювань була постійною для всіх зразків.

На першому етапі реєструвалися зображення досліджуваної поверхні у вторинних електронах при невеликих збільшеннях для того, щоб визначити особливості структурних змін металу за його товщиною.

Далі як загалом великих ділянках поверхні металу, і її локальних ділянках проводилося визначення елементного складу напиленого металу. Надалі, як від окремих ділянок поверхні "матриці", так і від ділянок поверхні будь-яких виділень (карбіди, інтерметаліди) отримували дифракційні картини. Одночасний аналіз елементного складу та дифракційної картини однієї й тієї ж ділянки поверхні дозволяє більш достовірно визначити належність якогось виділення до певного класу речовин [21].

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ФОРМУВАННЯ АЛЮМІНІЄВИХ ПОКРИТТІВ ГАЗОПОЛУМЕНЕВИМ НАПИЛЕННЯМ.

3.1 Дослідження впливу підготовки поверхні підкладки на міцність зчеплення при газополуменевому напилюванні алюмінію на сталь.

Попередня оцінка міцності зчеплення напилених зразків із сталі 20 порівнювалася між зразками діаметром 70 мм з різною поверхнею, після механічної обробки в токарному верстаті (поверхня умовно рівна), після нарізування рваного різьблення по спіралі Архімеда, після обробки абразивно-струменевим методом, до обробки фракцією 0,5-1,5. А також комбінування даних методів.

Проведені дослідження показали (таблиця 3.1), що рівна отримана поверхня після механічної обробки не підходить для напилення. Оскільки під час нанесення покриття краї покриття стали загинатися до центру, це наслідок залишкових напружень, значення яких істотно перевищує адгезію алюмінієвого шару до підкладки (рисунок 3.1).

Застосування абразивно-струминної обробки показало, що збільшення шорсткості поверхні дозволяє закріпитися алюмінієвому покриттю на деталі. Однак, міцність зчеплення при обробці кварцовим піском, незначна, покриття лягло на підкладку, але не мало механічного зчеплення по всій площині, що призвело до відшарування. Але покриття не загиалося як раніше (рисунок 3.2).

Абразивна обробка нікельшлаком за рахунок твердіших гранул створює більш грубу, хаотичну шорстку поверхню внаслідок чого міцність зчеплення становить 1.2 МПа.

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

Таблиця 3.1 – Залежність міцності зчеплення від характеру підготовки поверхні основного металу діаметром 70 мм.

Зразок	Матеріал зразка	Характер підготовки поверхні	Підігрів	Міцність зчеплення, МПа
1	Сталь 20	Токарна обробка	-	-
2	Сталь 20	Рване різьблення	-	2,1
3	Сталь 20	Абразивно-струминна обробка кварцовим піском	-	-
4	Сталь 20	Абразивно-струминна обробка нікель шлаком	-	1,2
5	Сталь 20	Рване різьблення. Абразивно-струминна обробка нікель шлаком	-	4,4
6	Сталь 20	Рване різьблення. Абразивно-струминна обробка нікель шлаком	350 °С, 50 хв.	7,4



Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд зразка №1 після нанесення покриття.



Рисунок 3.2 – Зовнішній вигляд зразка №2 після нанесення покриття.

Створена на поверхні складна структура "рваного" різьблення, дозволила частинкам алюмінію при перенесенні із сопла металізатора її заповнити забезпечивши тим самим підвищення міцності зчеплення до 2,1 МПа. Об'єднавши два найбільш результативні способи підготовки поверхні, нарізування "рваної" різьблення та активування поверхні нікельшлаком вдалося підняти значення міцності зчеплення на 33 %, що становить 4,4 МПа.

Проведений мікро рентгеноструктурний аналіз зразків з обробкою поверхні для зразка № 5 дозволив оцінити макро та мікроструктуру напилених покриттів та визначити хімічний склад. Аналіз проводили на зразках вирізаних із напилених трубних заготовок.

При напиленні на трубні зразки сталі з "рваним" різьбленням відшарування покриття не спостерігалось. Але на межі покриття та основного металу фіксується велика кількість дефектів: пір, протяжних ділянок з відсутністю механічного зв'язку (рисунок 3.3). [21]

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

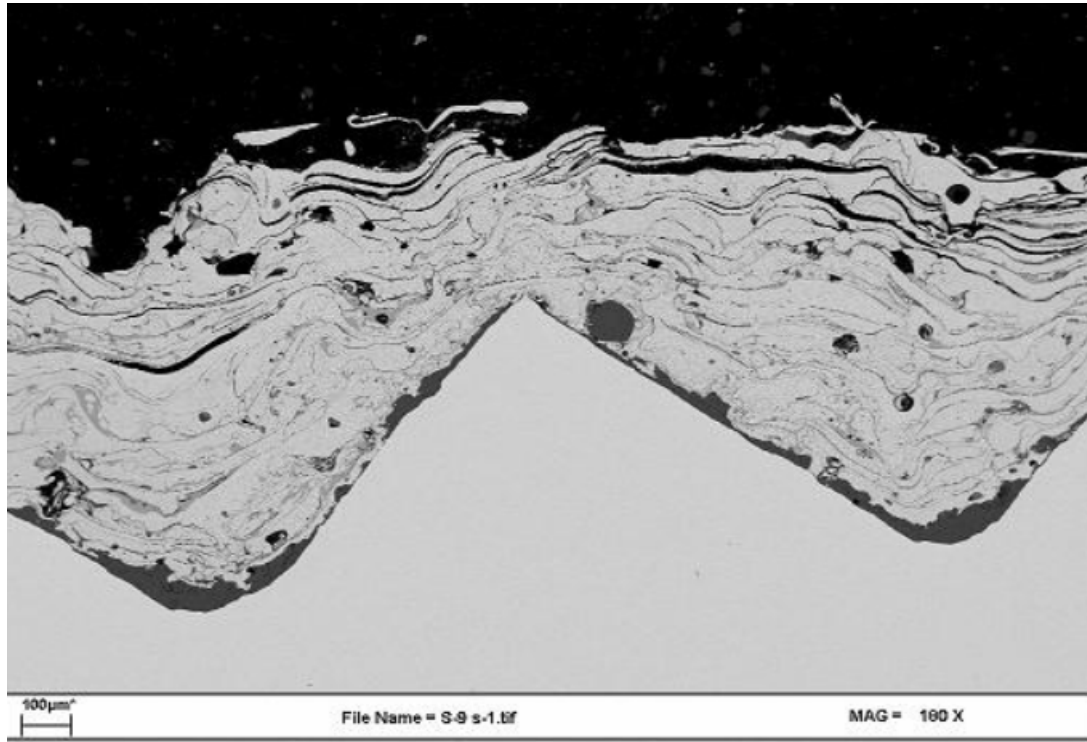


Рисунок 3.3 – Структура алюмінієвого покриття, нанесеного на поверхню
рваної різьби

3.2 Дослідження впливу попереднього підігріву основного металу на міцність зчеплення.

Для даної частини роботи використовувалися зразки зображення на рисунку 2.3. Напилення відбувалося за режимами таблиці 2.1. Попередня оцінка міцності зчеплення проводилася на зразках оброблених струминним способом. Абразивними матеріалами - нікель шлак із фракцією 0.5-1.5.

Проведені дослідження показали, що при нанесенні покриття без підігріву часто відбувається відшарування алюмінію від металу основи, відразу після закінчення напилення або під час нього або значення міцності зчеплення дуже низькі 1.2 МПа (таблиця 3.2). При попередньому підігріві основного металу вище 100°C алюмінієве покриття не відшаровується від основного металу. Однак міцність зчеплення покриття залежить від

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

температури попереднього підігріву. Збільшуючи температуру підігріву перед напилюванням, до 300 °С помічається значне підвищення міцності зчеплення алюмінію зі сталлю. Руйнування при витягуванні штифта під час випробування відбувається у даному випадку частково по покриттю, (рисунок 3.4).



Рисунок 3.4 – Зовнішній вигляд зразка №4 після випробування на міцності зчеплення при температурах підігріву перед напилюванням 300 °С.

При більш високих температурах підігріву основного металу відзначається зниження міцності зчеплення, що ймовірно пов'язане з підвищенням окислюваності вуглецевих сталей при температурах вище 350-400 °С (рисунок 3.5). Візуальний огляд зруйнованих зразків підтвердив наявність окисленого шару лінії руйнування зразків.

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

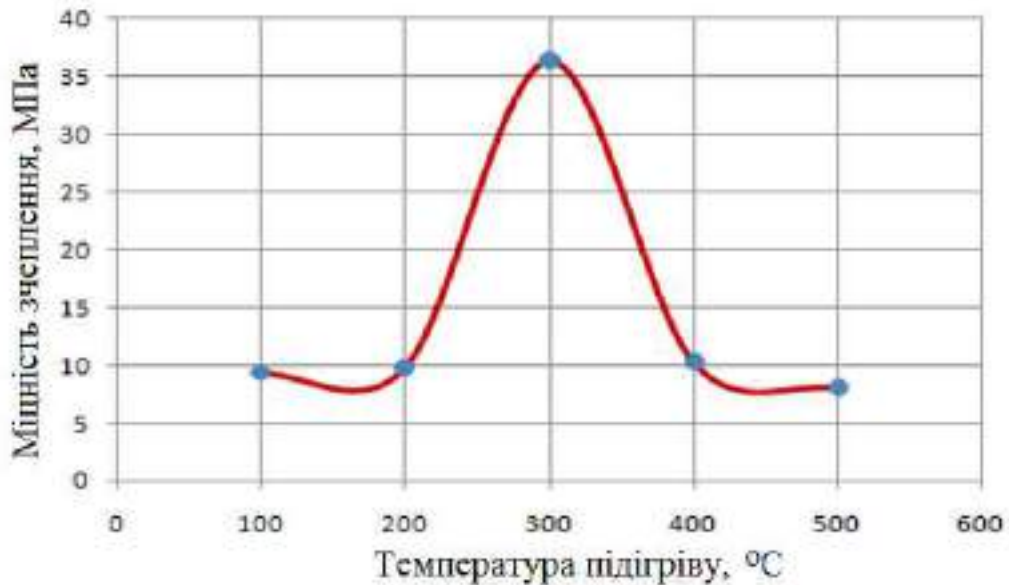


Рисунок 3.5 – Графік залежності міцності зчеплення алюмінієвого покриття зі сталлю від температури підігріву

Металографічні дослідження напилених зразків показали, що без попереднього підігріву на межі основного металу і покриття відсутня суцільний механічний контакт (рисунки 3.6 – 3.8). Попередній підігрів до 300 °C сприяє зменшенню кількості дефектів на межі контакту, покращується повторюваність рельєфу поверхні основного металу при напиленні, що, безсумнівно, сприяє підвищенню міцності зчеплення алюмінієвого покриття зі сталлю (рисунок 3.9). Хімічний аналіз основного металу при напиленні з попереднім підігрівом вище 300°C показав наявність алюмінію до 0,2 % у поверхневих шарах сталі, що є наслідком його дифузії з покриття при напиленні та забезпечує утворення адгезійного зв'язку між алюмінієвим покриттям та основним металом (рисунок 3.10).

У структурі зразків підігрітих до 500°C на межі контакту спостерігаються включення інтерметалідних фаз (рисунок 3.11), що утворилися в результаті реакційної дифузії алюмінію та заліза і які, ймовірно, також знижують міцність зчеплення покриття з основним металом.

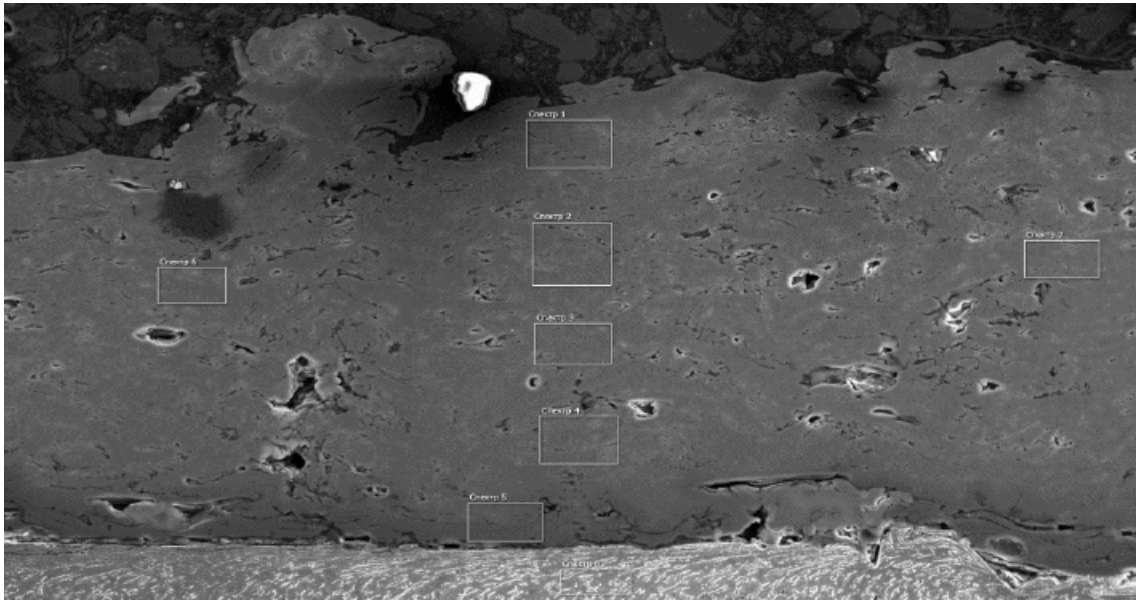


Рисунок 3.6 – Структура алюмінієвого покриття сталі 20 без попереднього підігріву

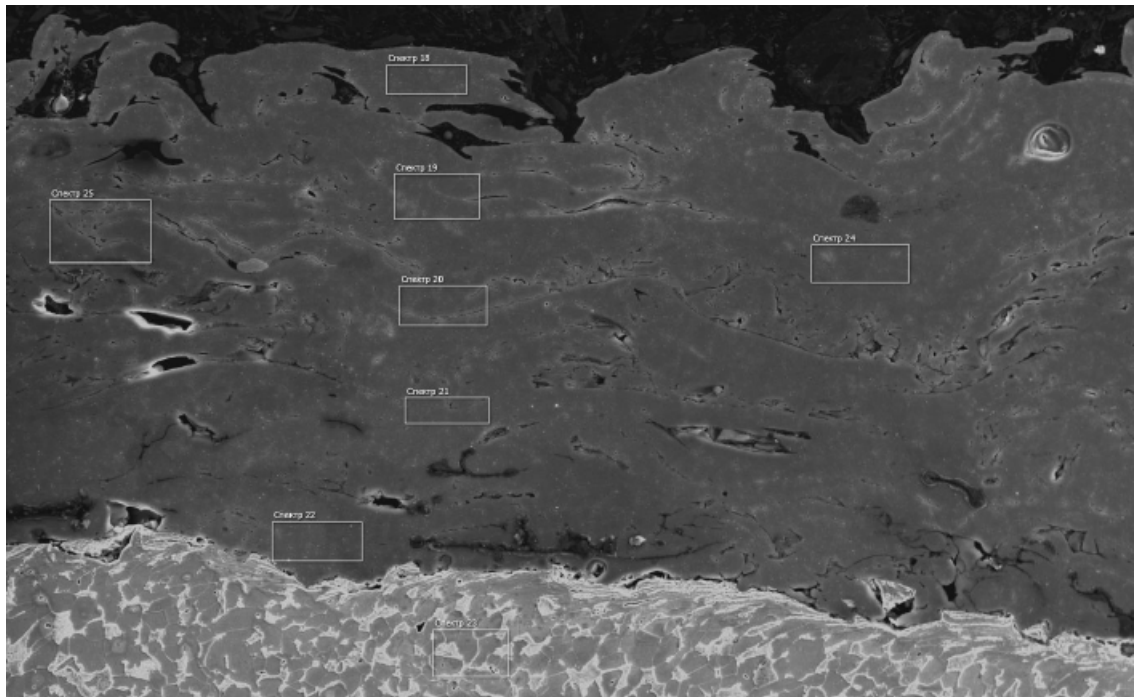


Рисунок 3.7 – Структура алюмінієвого покриття сталі 20 з підігрівом до 100 °C

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

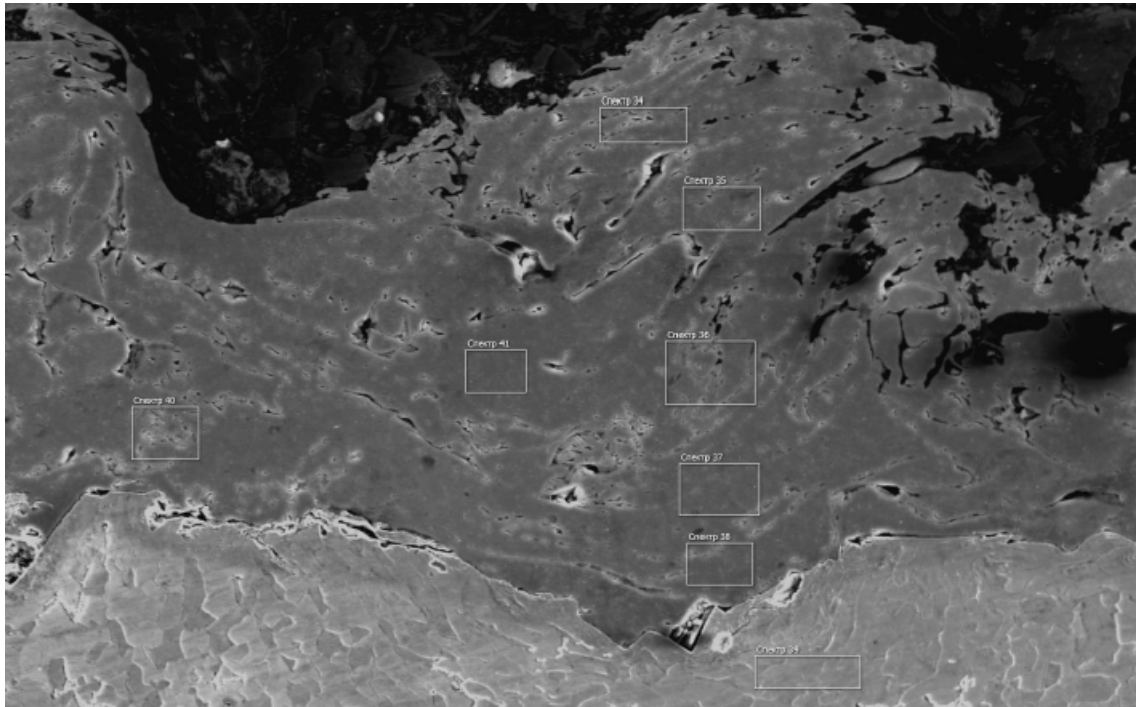


Рисунок 3.8 – Структура алюмінієвого покриття сталі 20 з підігрівом до 200 °С

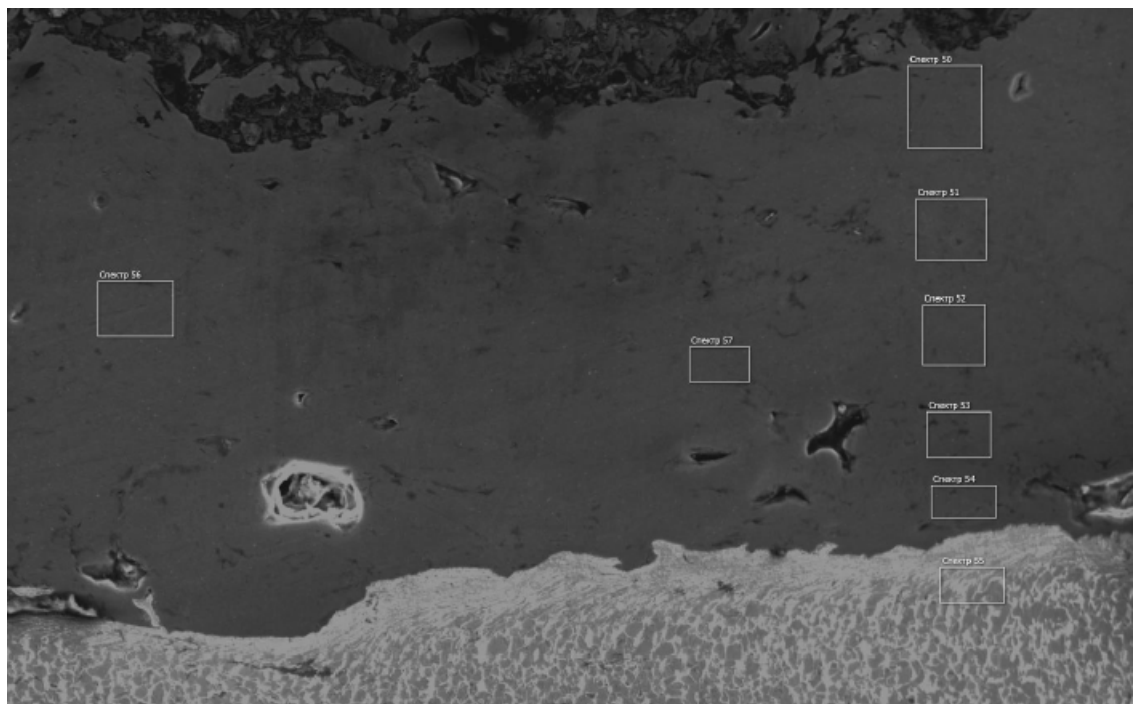


Рисунок 3.9 – Структура алюмінієвого покриття сталі 20 з підігрівом до 300 °С

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

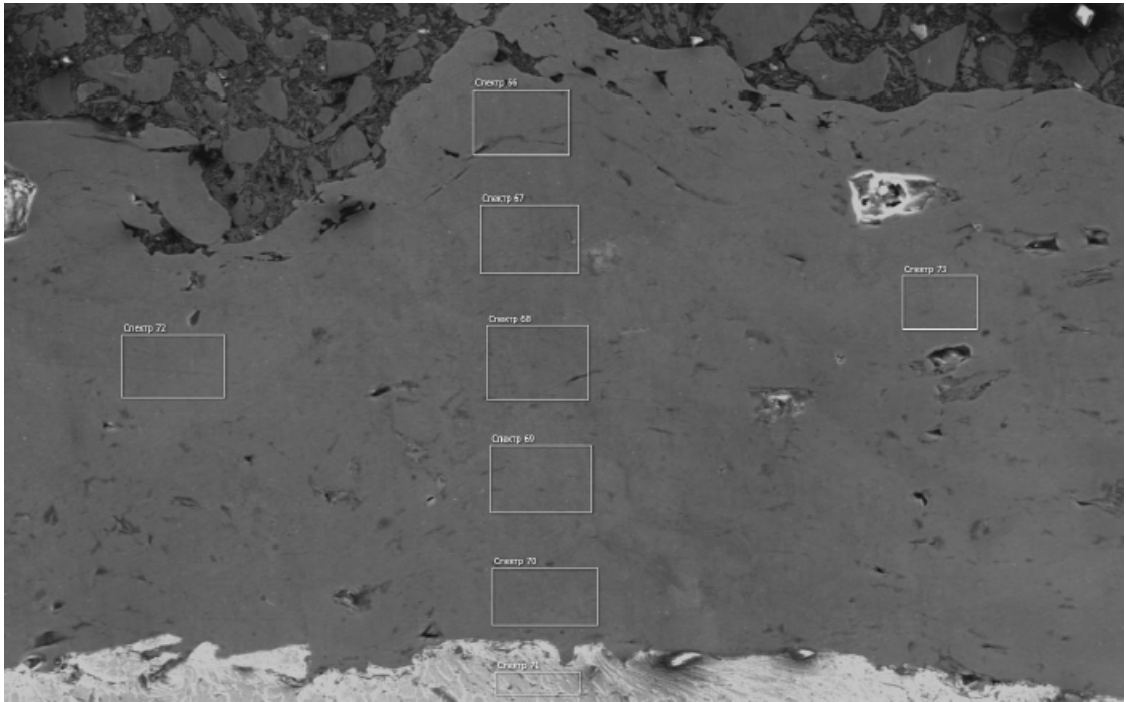


Рисунок 3.10 – Структура алюмінієвого покриття сталі 20 з підігрівом до 400 °С

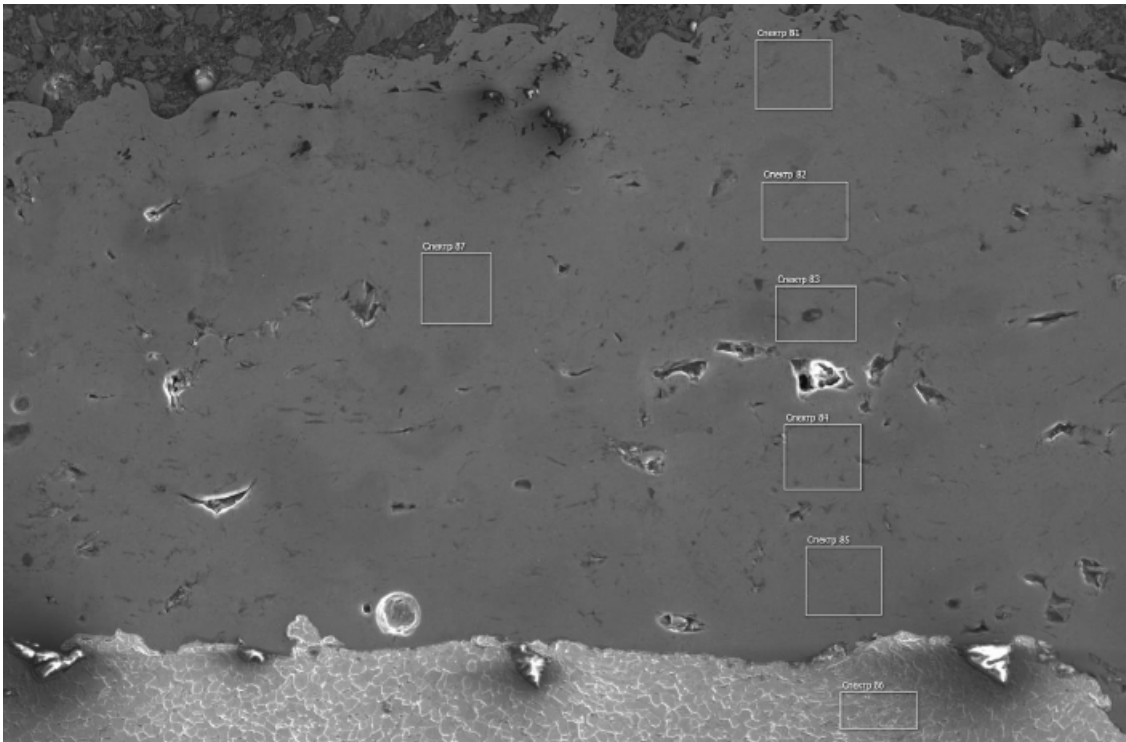


Рисунок 3.11 – Структура алюмінієвого покриття сталі 20с підігрівом до 500 °С

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

Попередній підігрів при газополуменевому напилюванні алюмінію на вуглецеві сталі сприяє підвищенню міцності зчеплення основного металу та покриття внаслідок покращення механічного зчеплення покриття з основним металом та утворення адгезійного зв'язку між ними. Найбільш висока міцність зчеплення основного металу з шаром, що напилюється, спостерігається при підігріві до 300 °С. При більш високих температурах збільшується товщина оксидного шару на основному металі та утворюються тендітні інтерметаліди по межі контакту, що знижує міцність зчеплення покриття.

Наступним етапом досліджень було поєднання способів надання поверхні підкладки складної структури та термічної обробки перед нанесенням на нього алюмінієвого покриття напиленням (таблиця 3.3). Для експериментів також використовувалися зразки діаметром 70 мм.

Застосування попереднього підігріву деталей за інших рівних параметрів обробки поверхні перед процесом металізації сприяє збільшенню зчеплення покриття з основою на 50%, 7,5 МПа. Нагрів зразків до 350°С зменшує різницю температур між підкладкою що сприяє більш тривалому часу кристалізації перенесених алюмінієвих частинок, покращує заповнення та повторюваність геометрії поверхні напиленням шаром, зменшує кількість пор (рисунок 3.12).

Максимальна міцність зчеплення досягається при застосуванні комбінованої обробки: рване різьблення та піскоструминна обробка нікель шлаком 0,5-1,5. Застосування попереднього підігріву деталей за інших рівних параметрів обробки поверхні перед процесом металізації сприяє збільшенню зчеплення покриття з основою на 50%. Нижчі значення міцності зчеплення порівняно з попередніми даними пояснюються великими розмірами зразків та нерівномірним шаром напиленого покриття [19].

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

Таблиця 3.3 – Результати дослідження міцності зчеплення алюмінієвого покриття зі сталлю.

Зразок	Матеріал зразка	Характер підготовки поверхні	Підігрів	Міцність зчеплення, МПа
10	Сталь 20	Токарна обробка	350 °С, 60 хв	менше 1
11	Сталь 20	Рване різьблення	350 °С, 60 хв	3,3
12	Сталь 20	Абразивно-струминна обробка кварцовим піском	350 °С, 60 хв	1,1
13	Сталь 20	Абразивно-струминна обробка	350°С, 60 хв	5
14	Сталь 20	Рване різьблення, Абразивно-струминна обробка, Нікель шлаком	350°С, 60 хв	7,4

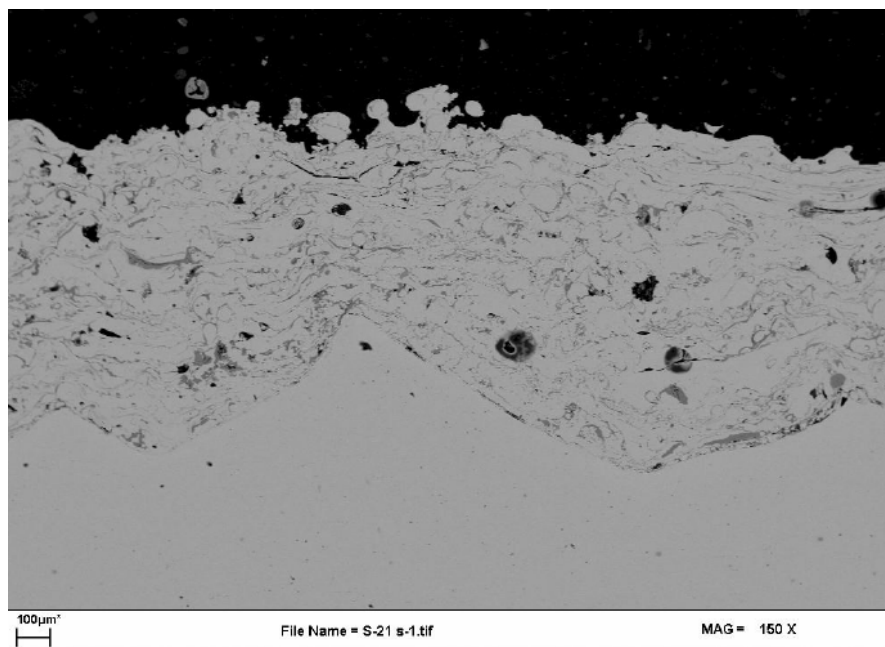


Рисунок 3.12 – Структура алюмінієвого покриття, напиленого на сталь 20 з "рваним" різьбленням, абразивно-струминною обробкою та підігрівом 350 °С

3.3 Дослідження процесів рідкофазного алітування.

Проведені дослідження алітування методом занурення в розплавлений алюміній показали, що середнє значення міцності зчеплення становить 3,2 МПа (таблиця 3.4).

Крім цього спостерігається закономірність зменшення міцності зчеплення зі зростанням температури алюмінієвого розплаву та часу знаходження деталі в ньому. Руйнування відбувається по межі сталь-алюміній при 700 °С (рисунок 3.13), а при температурі 900 °С у шарі алюмінію (рисунок 3.14). Це з утворенням межі сталеву пластину - розплавлений алюміній, інтерметалідного прошарку. При збільшенні температури кінетика зростання тільки збільшується, що збільшує товщину інтерметалідного шару та зменшує міцність з'єднання.

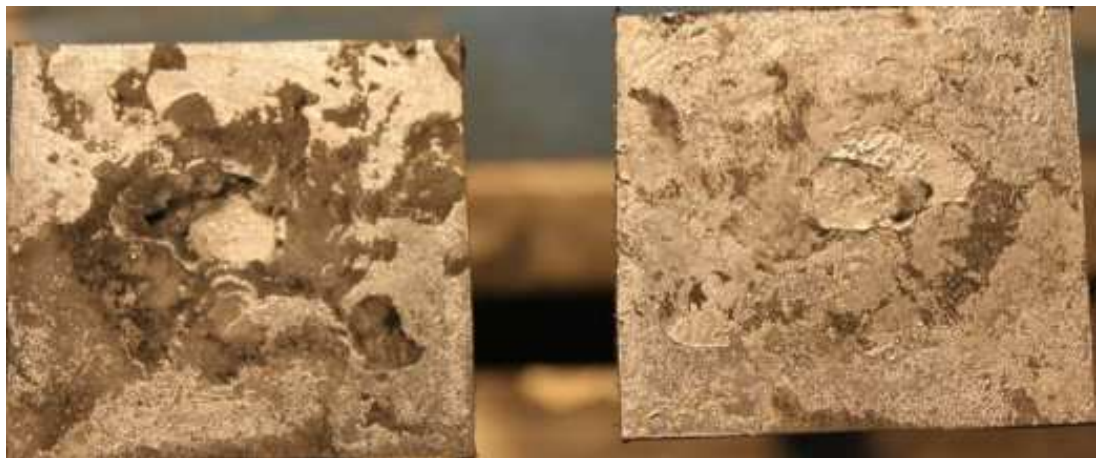


Рисунок 3.13 – Алюмінієве покриття на сталі після випробування зразка за температури 700 °С

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

Таблиця 3.4 – Результати дослідження міцності зчеплення алюмінієвого покриття зі сталлю

№ зразка	Матеріал зразка	Сплав	Температура, °С	Час витримки, хв	Міцність зчеплення, МПа
1	Сталь 20	Al	700	1	5,2
2				1,5	3,8
3				2	2,9
4			800	1	3,8
5				1,5	3,2
6				2	2,9
7			900	1	3,0
8				1,5	2,7
9				2	1,6

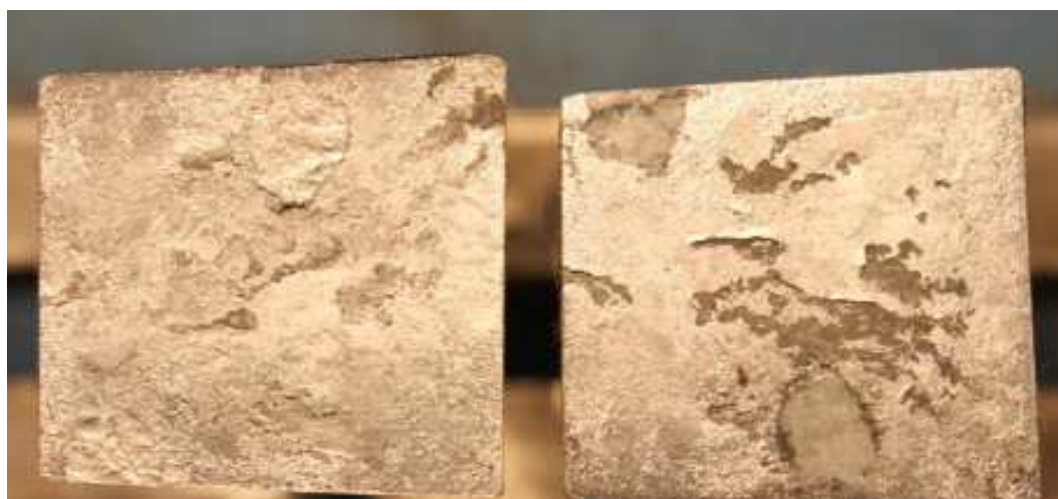


Рисунок 3.14 – Алюмінієве покриття на сталі після випробовування зразка при 900 °С

3.4 Дослідження дифузійного відпалу алюмінієвих покриттів, отриманих газополуменевим напиленням.

Проведені дослідження показали, що запропонована технологія газополуменевого напилення алюмінію на сталь забезпечувала формування адгезійного зв'язку між напилюваним та основним металом. Під час проведення хімічного аналізу основного металу при напиленні з попереднім підігрівом 300 °С, у поверхневих шарах сталі було виявлено до 0,2 % алюмінію, що є наслідком дифузії та сприяє збільшенню адгезійних сил між ними. На підставі цього проводилися дослідження дифузійного відпалу з метою визначення механізму утворення та зростання інтерметалідного шару (рис. 3.15).

Дифузійний відпал зразків з алюмінієвим покриттям вуглецевої сталі при температурах 300-400 °С і витримці протягом 5 годин не привів до утворення інтерметалідного шару.

При температурах дифузійного відпалу 400-500 °С на сталевих зразках спостерігається інтерметалідний шар з товщиною 18-25 мкм при 500 °С витримці протягом 5 годин (рисунок 3.15).

Збільшення температури відпалу до 600 °С призвело до стрибкоподібного зростання шару інтерметаліду. При витримці протягом 5 годин товщина шару становила 135 мкм. Збільшення температури відпалу до 650 °С дозволило одержати шар інтерметаліду товщиною 280 мкм при витримці 5 годин.

Мікрорентгеноспектральний аналіз шару інтерметалідів показав, що хімічний склад інтерметалідного шару на сталі 20 відповідає сфери існування фази Fe_2Al_5 [19].

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

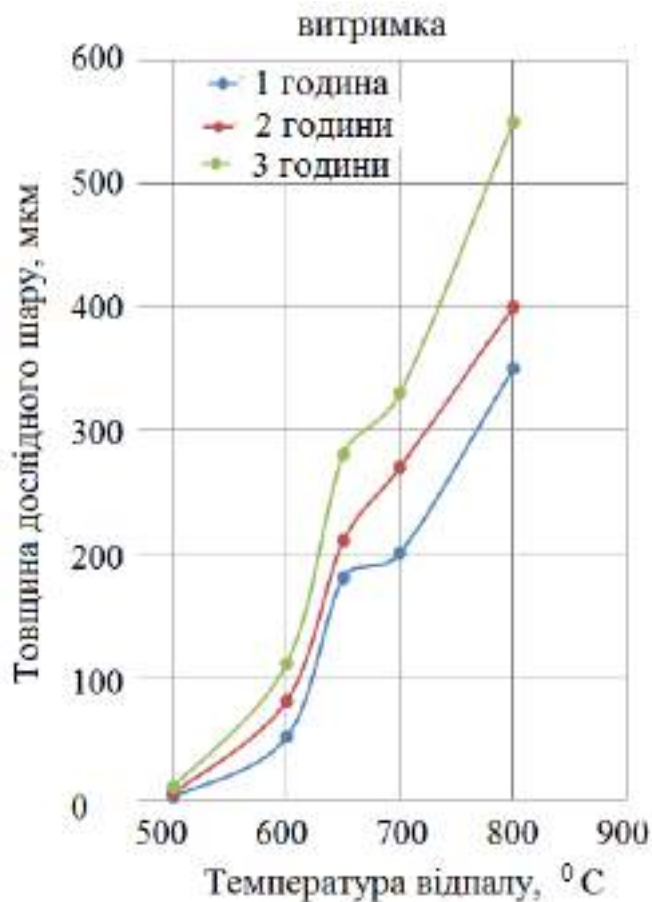


Рисунок 3.15 – Залежність товщини інтерметалідного шару від температури відпалу зразків зі сталі

При дифузійному відпалі сталі 20 з напиленим алюмінієвим шаром при температурі 700 °C протягом 1 години формується шар товщиною 200 мкм, а протягом 5 годин шар товщиною 330 мкм (рисунок 3.15). При температурі відпалу 800 °C товщина інтерметалідного шару після витримки протягом однієї години становить 350 мкм, а при 5 годинної витримки - 550 мкм.

Мікрорентгеноспектральний аналіз шару інтерметалідів показав, що при дифузійному відпалі сталі 20 з напиленим покриттям в результаті реакційної дифузії алюмінію та заліза формується двохшарове інтерметалідне покриття (рисунок 3.16). З боку сталі формується продовгуватий шар, який, виходячи з хімічного складу, є фазою Fe_2Al_5 [19]. З боку алюмінію формується шар незначної товщини 5-10 мкм, що відповідає хімічному

складу інтерметаліду $FeAl_3$. Товщина цього шару з підвищенням температури та часу витримки зменшується. [19-21]

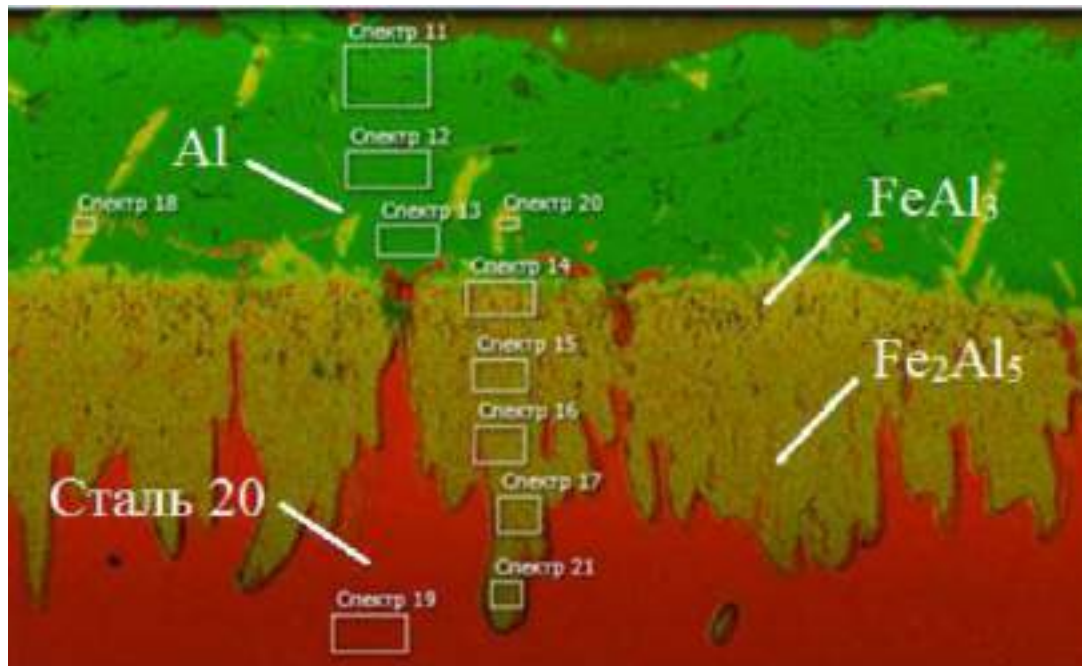


Рисунок 3.16 – Мікрорентгеноспектральний аналіз зразка із інтерметалідом $FeAl_3$

При температурі відпалу $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ і часу витримки 5 годин на сталі 20 спостерігається одношарове покриття на основі фази Fe_2Al_5 (рисунок 3.17). Алюмінієве покриття при цих режимах повністю витрачається формування алітованого шару.

На основі отриманих даних було визначено закономірність зростання перехідного шару. Закон зростання інтерметалідного шару має параболічний характер рівняння 3.1:

$$x^2 = Kt, \quad (3.1)$$

де x – товщина шару, K - коефіцієнт, пропорційний коефіцієнту дифузії.

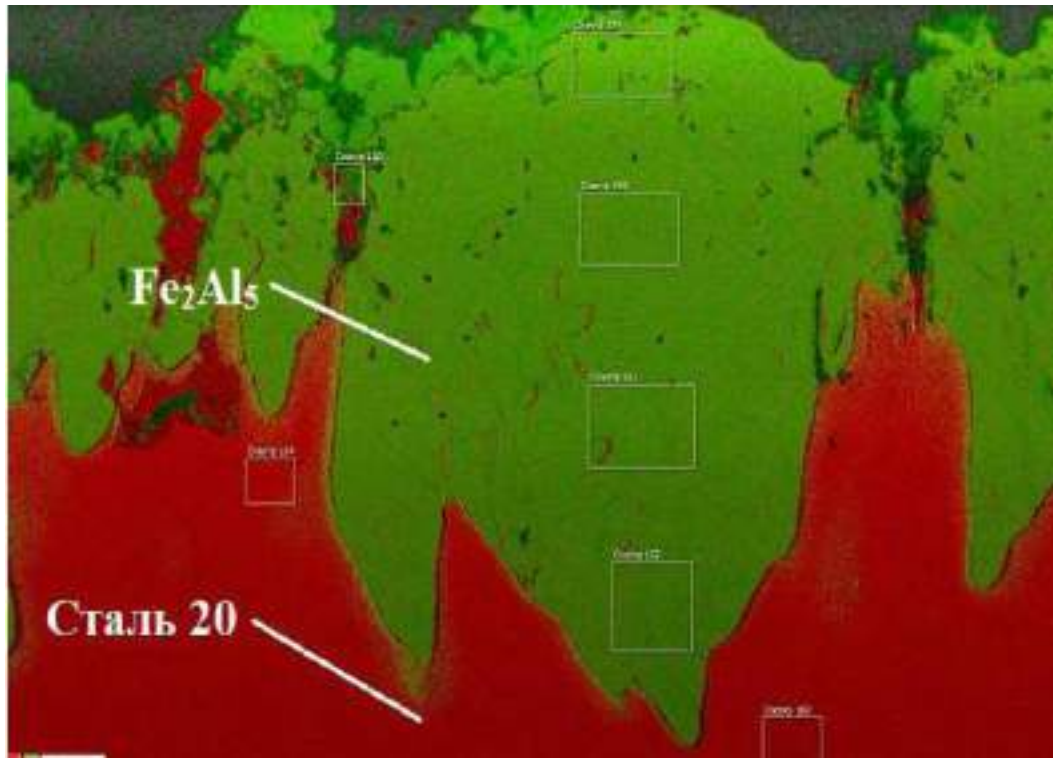


Рисунок 3.17 – Мікрорентгеноспектральний аналіз зразка на основі фази Fe_2Al_5

Виходячи з рівняння Арреніуса:

$$K = K_0 \cdot \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right) \quad (3.2)$$

Розмір енергії активації Q і K_0 визначаються залежно (3.3) побудованої за експериментальними даними (рисунок 3.18).

$$\ln k = f\left(\frac{1}{T}\right) \quad (3.3)$$

Виходячи з цього, закон зростання інтерметалідного шару при температурах 500-650 °С можна записати наступним чином (3.4):

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$x^2 = 0,023 \cdot \exp\left(-\frac{152100}{RT}\right)t$$

(3.4)

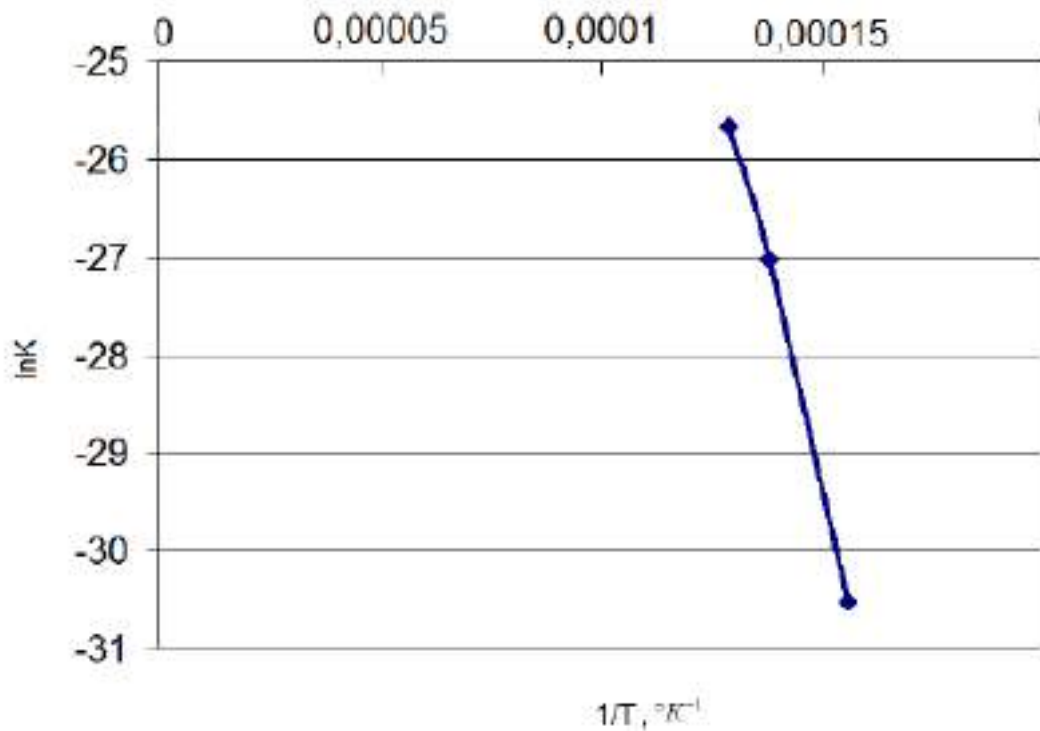


Рисунок 3.18 – Залежність $\ln k = f(1/T)$ при відпалюванні зразків сталь 20 - алюміній СвА5 при температурах 500-650 °С

Таким чином, в інтервалі температур 700-800 °С закон зростання інтерметалідного шару в системі Сталь 20-А5 матиме вигляд (3.5):

$$x^2 = 1,2 \cdot 10^{-4} \cdot \exp\left(-\frac{135700}{RT}\right)t$$

(3.5)

Тобто, залежність товщини алюмінієвих покриттів від режимів наплення описується рівняннями (3.4 і 3.5).

ВИСНОВКИ

1. Проведений аналіз способів формування алюмінієвих прокриттів на сталі показав, що найбільш універсальними простими, продуктивними способами є газополуменеве напилення та рідкофазне алітування. Основним недоліком газополуменевого напилення є низька міцність адгезійного зв'язку алюмінію зі сталлю. Для підвищення міцності зчеплення запропоновано використовувати попередню обробку поверхні та підігрів.

2. Для дослідження процесів газополуменевого напилення та рідкофазного алітування розроблено методику, використано механізовану установку для газополуменевого напилення на основі металізатора Плакарт FS-15.

3. Найбільш висока міцність зчеплення алюмінію зі сталлю спостерігається при використанні в якості попередньої підготовки поверхні «рване» різблення та абразивно - струменева обробка

4. Дослідження впливу попереднього підігріву на міцність зчеплення алюмінію зі сталлю показали, що максимальні значення міцності зчеплення спостерігається при температурах 300-350 °С.

6. Міцність зчеплення алюмінію зі сталлю при рідкофазному способі не перевищує значень ГПН, у зв'язку з цим газополуменеве напилення має суттєву перевагу.

7. Проведені дослідження процесів дифузійного відпалу сталі з алюмінієвим покритим нанесеним газополуменевим напиленням дозволили встановити вплив температури та часу процесу, на хімічний та фазовий склад, структуру та товщину інтерметалідного покриття.

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Селіверстов І.А. Дослідження структури та властивостей плазмових покриттів на основі Fe-Al / І.А. Селіверстов, Г.М. Троцан, І.В. Смірнов, С.Р. Селіверстова // Науковий вісник Херсонської державної морської академії No 1 (10), 2014 . – С. 249-254.

2. Yuanyuan Chen, Shaobo Shen, Quanqi Hou, Zhen Zhang, Jinlang Gu. Novel green manufacture of metallic aluminum coatings on carbon steel by sol–gel method / Yuanyuan Chen, Shaobo Shen, Quanqi Hou, Zhen Zhang, Jinlang Gu // RSC Adv. 2021. – 11(12). – pp. 720–734.

3. Bharat Kumar Allama. Recent developments and application of bimetallic based materials in water purification/ Bharat Kumar Allama, Neksumi Musa, Abhijit Debnathc , Usman Lawal Usmanb , Sushmita Banerjee, // Environmental Challenges. 2021. – 5 . – pp. 667-672.

4. Influence of heat treatment on interface of Cu/Al bimetal composite fabricated by cold rolling Composites Part B: Engineering Volume 42, Issue 6, September 2011, Pages 1468-1473

5. Lysak V. I., Kuzmin S. V. Explosive welding of metal layered composite materials / Ed. B. E. Paton. — Kiev: E. O. Paton Electric Welding Institute NASU, 2003. — 117 p.

6. O. M. Dubovyy, A. A. Karpechenko, M. M. Bobrov, O. O. Zhdanov, T. O. Makrukha, and Yu. E. Nedelko, Metallofiz. Noveishie Tekhnol., 39, No. 2: 209 (2017) (in Ukrainian).

7. SANKET DAWARE. Techniques & Methods for pesticide spraying. / SANKET DAWARE , YASH LOKHANDE // National Conference on "Recent Advances in Engineering and Technology" SAMMANTRANA 19 Organized by Government College of Engineering, Nagpur International Journal of Innovations in Engineering and Science, Vol 4 No.8, 2019

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

8. Sunitha K. A short note on the various thermal spray coating processes and effect of post-treatment on Ni-based coatings./ Sunitha K., Hitesh Vasudev // Materials Today: Proceeding, Volume 50, Part 5, 2022, Pages 1452-1457

9. Seetharama C. Deevi. Advanced intermetallic iron aluminide coatings for high temperature applications. / Seetharama C. // Progress in Materials Science Volume 118, May 2021, pp. 752-769.

10. В.І. Кальченко, В.В. Кальченко, В.І. Венжега К 17 Відновлення деталей автомобілів: Навчальний посібник.– Чернігів: ЧНТУ, 2013. – 192с.; іл.

11. Чередніков О.М. Технологічні основи ремонту машин і відновлення деталей: Навчальний посібник.– Чернігів:ЧДТУ, 2008. – 212с.

12. Hehenkamp Th., Scholz P., Kohler B., Kerl R. Vacancy formation and diffusion in Fe-Al alloys. Defect and Diffusion Forum, 2001, v. 194-199, pp. 389-394.

13. Лузан С.О. Обґрунтування та вдосконалення технологій відновлення деталей. Курс лекцій / С.О. Лузан, О.І. Сідашенко, С.О. Лузан. – Харків: ХНТУСГ, 2020. – 127 с.

14. Лузан С.О. Підвищення довговічності деталей машин під час їх відновлювального ремонту / С.О. Лузан, Д.М. Петренко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. – Харків: 2019. – Вип. 205. – С. 211-217

15. Лузан С.О. Теоретичні основи подрібнення і ме- 126 ханоактивації матеріалів для наплавлення і газотермічного напилення / С.О. Лузан, І. Сідашенко, А.С. Лузан, Д.М. Петренко // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. – Харків: 2019. – № 15. – С. 8-18.

16. Сідашенко О.І. Ремонт машин та обладнання: Підручник. / О.І. Сідашенко та ін.; за ред. проф. О.І. Сідашенка, О.А. Науменка. – К.: Агроосвіта, 2014. – 665 с

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

17. Luzan S. The study of possible application of plasma alumina coating on machine parts / S. Luzan, A. Sidashenko // MOTROL. Commission of Motonization and Energetics in Agriculture. – Poland: 2016. – Vol. 18. – No. 7. P. 15-18

18. Huang Y. D. Effect of thermomechanical processes on roomtemperature mechanical properties of Fe₃Al-based alloys / Y. D. Huang, W., Y. Yang, Z. Q. Sun // Journal of Materials Science Letters. – 1998. – Vol. 17. – No.1.– P. 1781 – 1784.

19. Є.Г. Афтанділянц, О.В. Зазимко, К.Г. Лопатько. Матеріалознавство: Підручник. К.: Вища освіта, 2012.- с 548.

20. Gang Ji, O.Elkedim, T.Grosdidier. Deposition and Corrosion resistance of HVOF Sprayed Nanocrystalline Iron Aluminide Coatings // Surface&Coatings Technology. – 190. -2005. -P. 406-416.

21. Gang Ji, J-P.Morniroli T.Grosdidier. Nanostructures in Thermal Spray Coatings // Scripta Materialia. -48. -2003. -P. 1599-1604.

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

ДОДАТКИ

					ДРМТВАТАМ 23.18041.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87